

Visual SLAM を用いたステレオカメラ搭載 2 足歩行ロボットによる動作計画と移動

浅井 智史[†] 山下 淳[‡] 金子 透[†] 浅間 一[‡]

[†] 静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

[‡] 東京大学大学院工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

E-mail: [†] {f0810003, tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp [‡] {yamashita, asama}@robot.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし 自律ロボットが目的地に移動するためには、環境認識と動作計画の機能を必要とする。本研究では、オドメトリによる自己位置推定ができない2足歩行ロボットのための自己位置推定手法を提案する。提案手法では、ロボットはステレオカメラで撮影された画像を使用して Visual SLAM を行い、3次元グリッドマップを生成する。そして、目的地までの動作計画と移動を行う。実験により、提案手法の有効性が示された。

キーワード Visual SLAM, 2足歩行ロボット, ステレオカメラ, SIFT

Motion Planning and Movement of a Biped Robot Equipped with a Stereo Camera System Using Visual SLAM

Satoshi ASAI[†] Atsushi YAMASHITA[‡] Toru KANEKO[†] and Hajime ASAMA[‡]

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

[‡] School of Engineering, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan

E-mail: [†] {f0810003, tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp [‡] {yamashita, asama}@robot.t.u-tokyo.ac.jp

Abstract An autonomous robot needs functions of environment recognition and motion planning when moving to a destination. In this paper, we propose a method to realize these functions for a biped robot which cannot accomplish self locating by odometry because of unstableness of its foot movement. In our method, the robot executes visual SLAM using images acquired with stereo camera, generates a 3-D grid map, and plans appropriate path and motions to the destination. Effectiveness of the proposed method was shown by experiment.

Keyword Visual SLAM, Biped Robot, Stereo Camera, SIFT

1. 緒言

近年、人の生活環境で機能するロボットに対する期待が高まっている。その例として介護用ロボットや、共同作業を目的としたロボットなどが上げられる。これらのロボットは大抵、人が活動している環境で共同作業や自律作業を行うことが目的である。

ロボットの1つの形態として車輪型ロボットがあるが、人の生活環境を車輪ロボットが移動することは難しい。例えば、車輪ロボットでは段差や階段を移動することはできない。一方、2足歩行ロボットは人と同じように段差や階段を移動することができるため、人の生活環境において移動に有利である。

ロボットが作業するためには自己位置・姿勢推定を

行う必要がある。しかも、人の生活環境は常に変化するため、リアルタイムで処理を行わなければならない。

ロボットのセンサとして、LRF (Laser Range Finder) やカメラが一般的である。LRFは高い精度で計測できるが、一点計測であるために計測に時間がかかり、また機器が高価である。そのため、本研究では比較的安価で一度に情報の得ることができるステレオカメラを利用して周辺環境の計測を行う。

ロボットが自己位置・姿勢推定を行う方法として、オドメトリやランドマークを用いた方法が一般的である。

オドメトリとはモータの回転量からロボットの移動量を知り、現在位置を推定する手法である。しかし、

2 足歩行ロボットでは足裏の摩擦による影響が大きく、オドメトリでは自己位置・姿勢推定を行うことが難しい。

ランドマークを用いた方法では環境中にランドマークを配置することで精度良く自己位置・姿勢推定を行うことができる[1]。しかし、常にランドマークが見えている状況になるとは限らず、また、ランドマークの配置されていない未知環境では自己位置・姿勢推定ができない。そのため、ロボットを導入する際に施設などの人の環境に準備が必要となる。

ランドマークに頼らずに自己位置・姿勢推定を行う方法として、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) という手法がある[2][3]。SLAM とは地図生成を行いながら、自己位置・姿勢推定を行う手法である。特に画像情報を用いて SLAM を行うものを Visual SLAM という[4]。

動作計画に関しては黒木らの手法[5]や鮫島らの手法[6]などがあるが、本研究では3次元グリッドマップの生成を行う我々の手法[7]を利用する。

2. 提案手法の概要

2.1. 処理の流れ

本手法の処理の流れを図1に示す。まず、2足歩行ロボットに搭載されたステレオカメラで画像を取得し、ステレオ計測と自己位置・姿勢推定を行う。次に、計測された結果から3次元グリッドマップを生成する。グリッドマップから最短経路を移動するように経路計画を立て、ロボットがその経路を移動するための動作を選択し移動する。

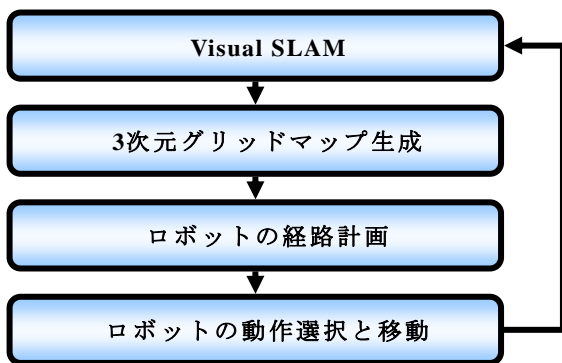


図1 処理手順

2.2. 前提条件

本研究では以下の前提条件を設ける。

- ・ カメラの姿勢の世界座標系の X_w 軸, Y_w 軸に沿った姿勢は既知である (図2)
- ・ カメラ座標系の X_c, Y_c 平面と世界座標系の X_w, Y_w 平面は平行である
- ・ 環境は平面のみで構成される

- ・ ロボットの初期位置・姿勢および、目的地の位置は既知である

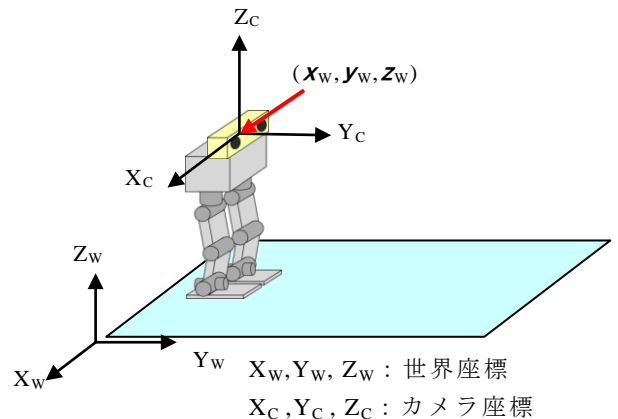


図2 ロボットの姿勢

3. Visual SLAM

3.1. ステレオ計測

図3のようにステレオカメラにより左右画像をそれぞれ撮影し、対象物のカメラ座標系における3次元座標点を取得する。得られた対象物の重心とステレオカメラの内部・外部パラメータを用いて、2足歩行ロボットと対象物との相対位置を算出する。

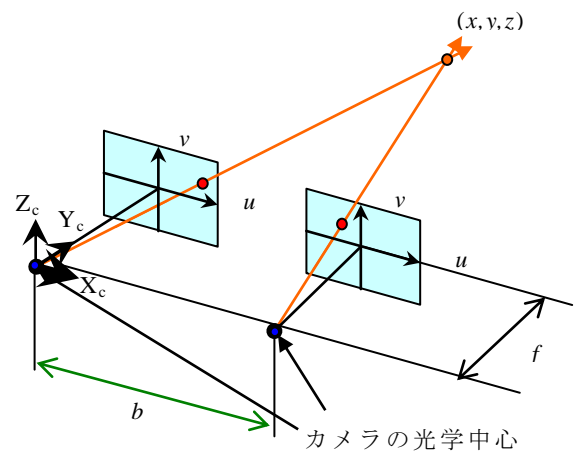


図3 ステレオ計測

3.2. 対応点探索

移動前後の2画像間で共通に写っている部分から対応点を得る。対応点の探索にはSIFT特徴量を用いる。図4に例を示す。図4(a)において対応点探索を行うと図4(b)のようになる。

3.3. 剛体変換の仮定による誤検出除去

探索された対応点には測定誤差や計算誤差の大きい対応点が含まれることがある。これを除くために剛体変換の仮定を利用する。

静的環境で剛体変換を仮定すると、任意の2点間の距離は時刻 t , $t-1$ で同じである。これを利用して、誤

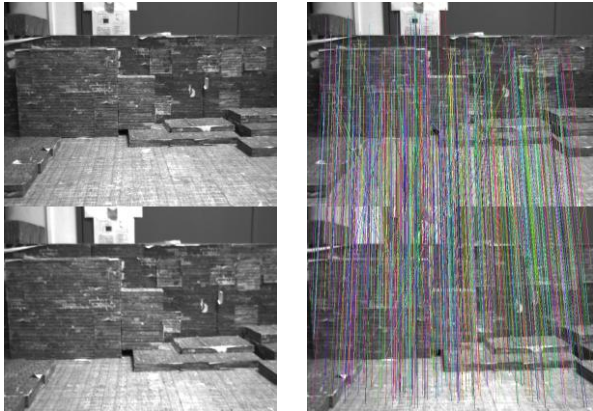


図4 SIFT対応点探索

図4 SIFT対応点探索

検出を除去することができる。これは時刻 t のときの特徴点の座標を $'C_1, 'C_2, \dots, 'C_n$ とすると、次式のように表される。

$$\| 'C_i - 'C_j \| = \| {}^{t-1}C_i - {}^{t-1}C_j \| \quad (1)$$

閾値を設け、式(1)を満たさない点を誤検出として除去する。

3.4. 自己位置・姿勢推定

取得した3次元点の対応から同次変換行列 \mathbf{M} を生成する。同次変換行列 \mathbf{M} によって移動前後の相対位置を表す。移動後の位置は、初期位置からの移動の連続で表される。つまり、 n 回目と $n-1$ 回目の相対位置を表す同次変換行列を \mathbf{M}_n とすると、 n 回移動したときの同次変換行列 \mathbf{M} は次式のように表される。

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_1 \mathbf{M}_2 \mathbf{M}_3 \dots \mathbf{M}_n \quad (2)$$

誤対応除去のために RANSAC を用いる[8]。 N 個の総データからランダムに n 個のデータを抽出し、変換行列を生成する。これを残りのデータの変換に用い、変換後の誤差を調べる。これを繰り返し、誤差が最小となる変換行列を正しいものとする。

4. グリッドマップの生成

計測データから3次元グリッドマップを生成する。移動するたびに新たな3次元グリッドマップを生成し、古い3次元グリッドマップと統合する。

新たに作成された3次元グリッドマップにはロボットを円筒近似したコンフィギュレーション空間を考慮する。図5(a)にグリッドマップの生成例、図5(b)に図5(a)からコンフィギュレーション空間を考慮した図を示す。

5. 経路生成・動作選択

3次元グリッドマップを利用し、A*探索と呼ばれる手法で経路の計画を行う。計測されたグリッドの高さで、床、段差、壁面、未計測領域のいずれであるかを判別する。あらかじめグリッドの種類や、動作にコストを定義しておく。そして、現在位置のグリッドから目的地のグリッドまで移動するコストを考え、最小コストで移動できる経路をロボットの移動すべき経路と

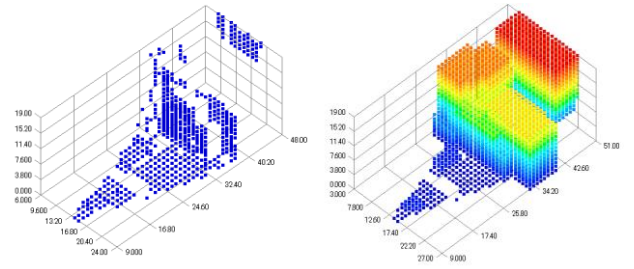


図5 3次元グリッドマップ

して取得する。次に、選択された経路を通るために最適なロボットの動作選択を行い、それに従って移動する。

動作は平面移動における前進、旋回と段差の上り下りの4種類が存在する。段差に対しては、ロボットが段差に対してまっすぐ向くよう自身で向きを調整した後、近付いて上る、あるいは下る。

6. 移動実験

6.1. 実験設備

本研究では図6(a)のようなステレオカメラとロボットを組み合わせた実験装置を用いた。

ステレオカメラは、画像サイズが 800×600 pixels、左右のカメラの基線長が約 12cm のものを用いた。

ロボットは、大きさが約 $35\text{cm} \times 16\text{cm} \times 14\text{cm}$ であり、関節自由度が、足首2、膝2、股関節3、左右の脚で計12関節からなる2足歩行ロボットを用いた。

実験環境を図6(b)に示す。図のようにロボットを初期位置から前方 40cm の段差の上の位置に移動させる。

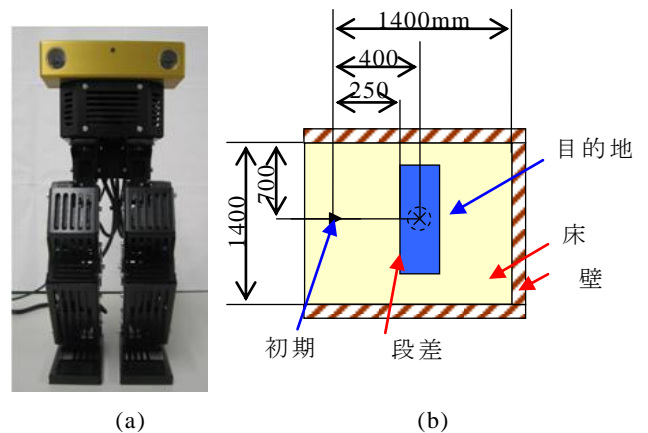


図6 ロボットと実験環境模式図

6.2. 実験結果

図7にロボットが移動する様子を示す。図8に、この実験で生成された3次元グリッドマップと計測データの一部を示す。図8(a)のグリッドのサイズは $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 3\text{cm}$ である。これはロボットの足の大きさ、および登ることのできる段差の高さによって決定した。図9、図10は図8(b)の計測データそれぞれを進行方向

の上、あるいは横から見て、自己位置・姿勢推定の結果を拡大した図である。計測データの矢印はロボットの位置と向きを示す。図9、10のようにロボットが進んでいく様子がわかる。以上のようにロボットが自己位置・姿勢推定をしながら移動することができた。

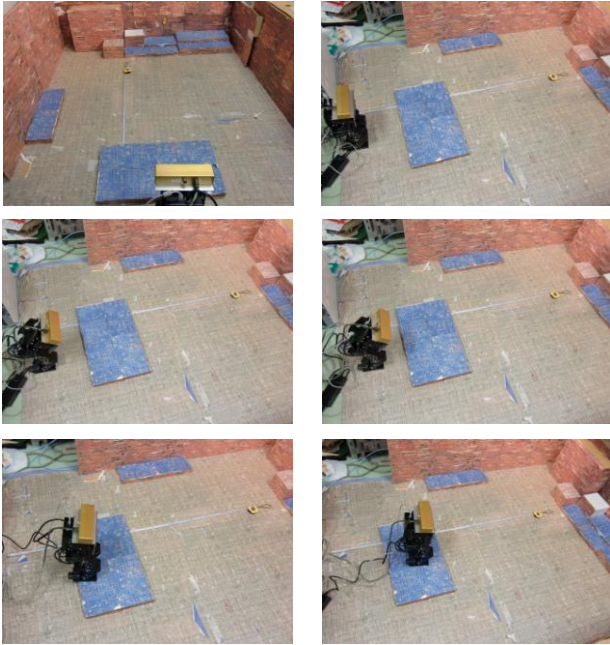


図7 ロボット移動の様子

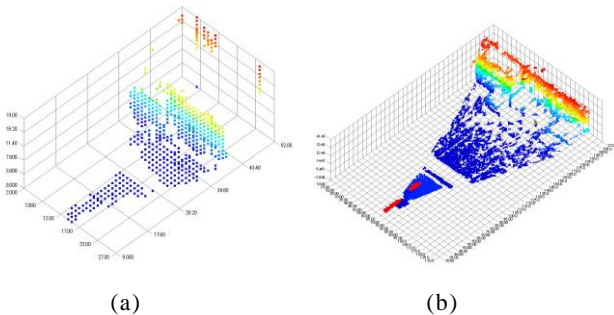


図8 3次元グリッドマップと計測データ

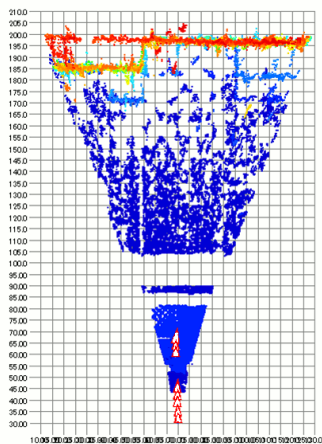


図9 自己位置・姿勢推定結果 上面図

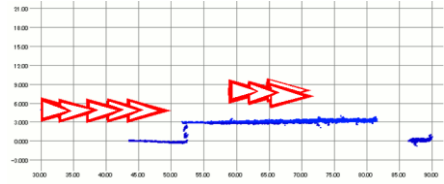


図10 自己位置・姿勢推定結果 側面図

7. 結言

本研究では、ステレオカメラ搭載2足歩行ロボットによる Visual SLAM を用いた自己位置・姿勢推定を行い、動作計画及び、移動システムの構築を行った。

現在、対応している環境は平面、段差のみだが、ゲートやスロープに対応できるようにする必要がある。

また、本手法では移動前後の2枚の画像間での共通部分がある程度必要である。そのため壁面に近づきすぎると共通部分が取れない状況では自己位置・姿勢推定することができない。そのような状況でも自己位置推定できるシステムに改善することが今後の課題である。

文 献

- [1] 町田直人, 喜多岡雅明, 山下淳, 金子透: “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”, 映像情報メディア学会技術報告 Vol.35, No.8, pp. 97-100, 2011
- [2] 山崎俊太郎, 持丸正明, 金出武雄: “一人称ビジョンシステムのための自己位置推定法”, 電子情報通信学会技術研究報告, IE, 画像工学, pp. 73-78, 2010
- [3] 荒木天外, 竹村憲太郎, 怡土順一, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司: “汎用三次元環境地図を用いた移動ロボットナビゲーションのための地図生成”, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.1, pp. 106-111, 2010
- [4] David Schleicher, Luis M. Bergasa, Member, Rafael Barea, Elena Lopez, Manuel Ocana, Member, and Jesus Nuevo: “Real-time wide-angle stereo visual SLAM on large environments using SIFT features correction”, Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 3878-3883, 2007
- [5] 黒木崇博, 寺林賢司, 梅田和昇: “マルチスリット光を用いた小型距離画像センサによるヒューマノイドの障害物回避”, 第16回ロボティクスシンポジウム, 1B1, pp. 38-43, 2011
- [6] 鮫島一平, 濱田薫, 福島安秀, 加賀美聡, 溝口博: “人環境情報地図の生成とそれを用いた移動ロボットナビゲーション”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 講演論文集, pp. 2P2-K16(1)-(4), 2011
- [7] Masaaki Kitaoka, Atsushi Yamashita, and Toru 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, pp. 38-43, 2010
- [8] Martin A. Fischler. and Robert C. Bolles, “Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography”, Communications of the ACM, Vol.24, No.6, pp.381-395, 1981