

二足歩行ロボットのための全方位カメラからの自己位置・姿勢の計測

A measurement method of position and orientation for a two-leg robot from an omnidirectional image

神原俊彦*, 谷川翼*

Toshihiko Kanbara*, Tsubasa Tanikawa*

*八戸工業大学

*Hachinohe Institute of Technology.

キーワード： 全方位画像 (omnidirectional image), 位置推定 (position estimation), 姿勢推定 (orientation estimation), 外積 (external product), 平面当てはめ (plane fitting)

連絡先： 〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開88 - 1 八戸工業大学 工学部 電子知能システム学科 神原研究室
神原利彦, Tel.: (0178)25-8133, Fax.: (0178)25-1430, E-mail: kanbara@hi-tech.ac.jp

1. 序論

頭部に全方位カメラを持つ二足歩行ロボットが自分の位置と姿勢を推定する新たな手法を提案する。Fig.1に示したように、ロボットの歩く床面は平面とし、その床面に平行な太線が2本敷かれているという前提の下で、その線からはずれないように線に沿った方向へ自律的に歩くことを目指す。

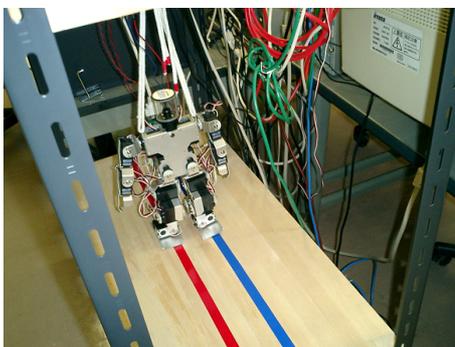


Fig. 1 二足歩行ロボットと歩行環境

2. 関連研究

全方位カメラを用いた自己位置・姿勢推定の研究としては、山澤ら¹⁾の研究がよく知られている。移動ロボットが自己の位置と姿勢を推定する手法はこの他にも数多く提案されている。その多くは、移動ステレオと呼ばれるもので、移動する前と後で観測点の対応付けを行って3次元の自己位置・姿勢を推定している。筆者らは²⁾にて移動ステレオを使わず全方位カメラの単眼視で3次元の位置と姿勢を推定する手法を提案した。本手法は、この手法²⁾における位置の不定という問題点を解決している。

3. 手法

3.1 問題設定

問題設定について、以下に述べる。二足歩行ロボットの頭部に全方位カメラを取り付けて、その

カメラからの映像を画像処理して、床面にある2本の太線の間を太線に沿った方向に歩かせる。太線の幅と位置は既知で太線の両側の境界線は平行である。Fig.2に既知の幅について示す。全方位カメラの双曲面ミラーの形状係数や焦点距離も既知とする。手法²⁾とは太線の数異なる。

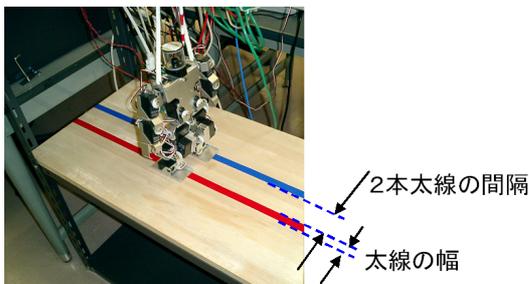


Fig. 2 既知の幅と間隔

3.2 姿勢の推定

まず、全方位画像上で、太線の境界線4本を検出する。それらの境界線を構成する画素の座標を (u_{ij}, v_{ij}) で表す。ここで、 N_j は j 番目の境界線を構成するの画素数を表し、 $i = 1, 2, 3, \dots, N_j$ で $j = 1, 2, 3, 4$ である。

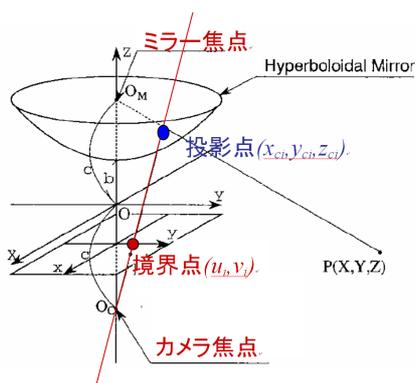


Fig. 3 全方位カメラの幾何モデル

最初に、この画素点とカメラ焦点とを結ぶ3次元直線 l_{ij} を計算し、その直線と全方位カメラのミラー双曲面との交点 (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) を算出する。この

交点を投影点と呼ぶ。Fig.3に全方位カメラ全体の幾何モデルを示す。この全方位カメラの幾何関係から、ミラー焦点とこの交点 (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) とを結ぶ線上のどこかに j 番目の境界線が必ず存在する。

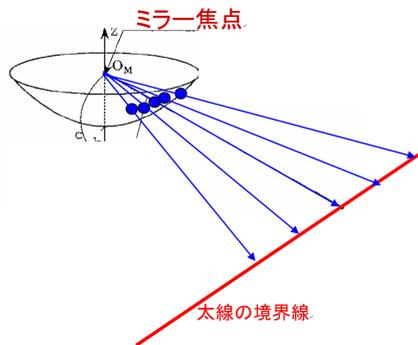


Fig. 4 平面フィッティング

次に、この投影点群 (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) とミラー焦点が張る平面の法線ベクトル $(p_j, q_j, 1)$ を推定する。Fig.4のように、平面を張る。すると、この平面の中に j 番目の境界線が必ず存在する。この推定には、最小二乗法を用いる。誤差関数 E_j を式(1)に示す。

$$E_j = \sum_{i=1}^{N_j} (p_j x_{ij} + q_j y_{ij} + z_{ij})^2 \quad (1)$$

この誤差関数 E_j を最小にする $(p_j, q_j, 1)$ を、 $\partial E_j / \partial p_j = 0$ と $\partial E_j / \partial q_j = 0$ の連立方程式で解く。こうして求めた法線ベクトルを単位ベクトルに正規化したものを $(\hat{p}_j, \hat{q}_j, \hat{r}_j)$ で表す。最後に、外積計算で姿勢を求める。Fig.5に示したように2つの平面の交わる交線の方向が、境界線の方向と等しいので、2平面の法線ベクトルの外積が境界線の向きを表していることになる。

3.3 位置の推定

位置の推定のためには、Fig.6に示したように、境界線の幅が既知であるという条件と、平面1と平面2のなす角度が計測されていることを前提にする。

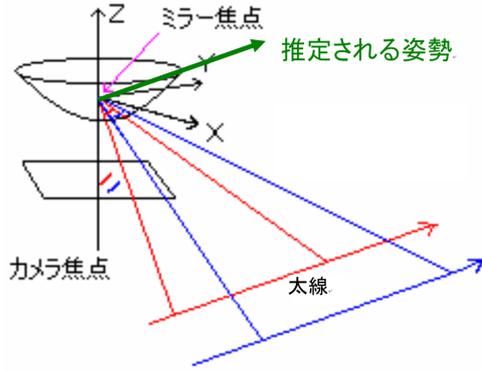


Fig. 5 姿勢の推定手法

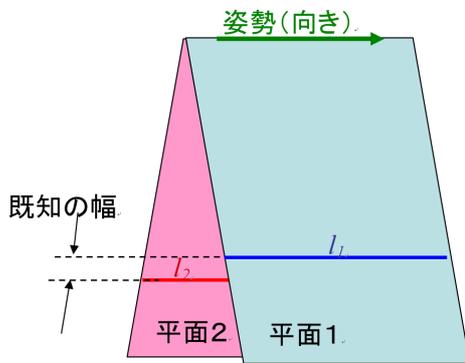


Fig. 6 位置の推定手法

まず、推定された $(\hat{p}_j, \hat{q}_j, \hat{r}_j)$ から平面1と平面2のなす角度 θ_1 と平面3と平面4のなす角度 θ_2 を求める。4本の太線境界線の位置は既知なので、左側太線の2本の境界線と空間上の一点とがなす角度が θ_1 となる拘束曲線を引く。この拘束曲線はFig.7のように円となる。円になる理由は、円周角一定の定理からも自明である。同様に、空間上の一点と右側太線の境界線2つとがなす角(円周角)が θ_2 になるように円2を描く。その結果、Fig.8のように2つの円が描かれる。

円1と円2の交点が推定された位置となる。交点は2つ存在するが、その点において平面2と平面3がなす角度 θ_3 を算出し、 θ_3 が平面から計算される角度に近い方を推定値とする。

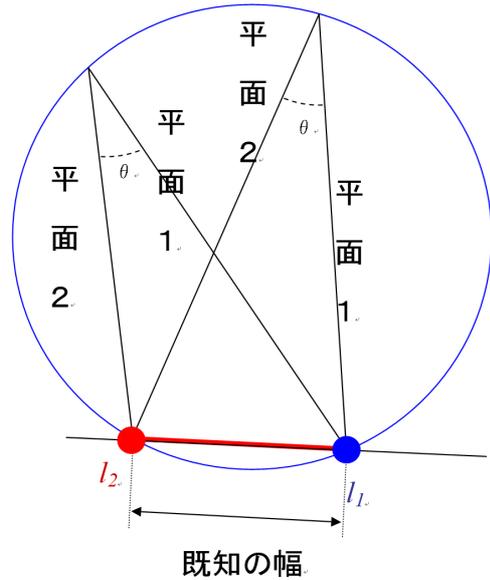


Fig. 7 円周角

4. 実験

本手法をシミュレーションで実装した。実装モデルで使用した座標系をFig.9に示す。

姿勢の推定結果をFig.10に示す。画像における量子化誤差のみを加えただけだが、推定誤差が大きかった。画像上のわずかな誤差が双曲面ミラーに反射する段階で、大きく拡大されるという欠点が明らかになった。横軸が時間で、縦軸は正解の角度値と推定の角度値との差である。

位置の推定結果をFig.11に示す。平面の傾き角度を基に位置を推定する手法なので、平面の傾き角度の推定精度が悪いために、正しく推定されなかった。

5. 結論

単眼の全方位画像から、3次元の姿勢と位置を推定する手法を提案した。実験結果はあまり良くなく、平面フィッティングの段階で、推定誤差がかなり大きいことがわかった。精度向上のために、画像上での量子化誤差の分布を考慮に入れた最尤

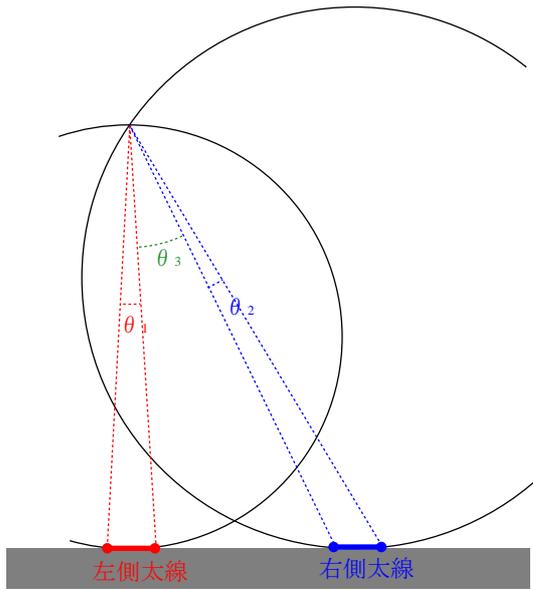


Fig. 8 円周角が θ_1 と θ_2 になる2つの円

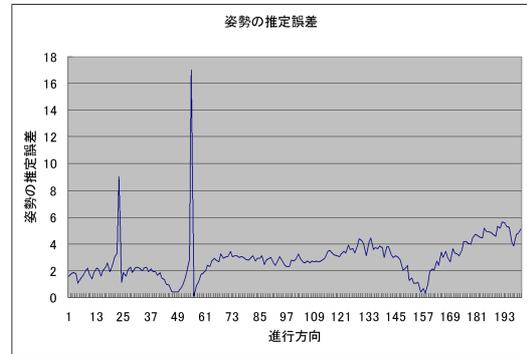


Fig. 10 姿勢の推定結果

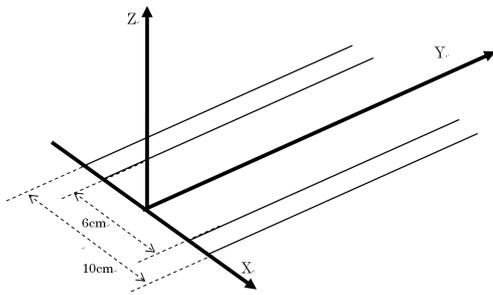


Fig. 9 座標系

推定を実装することを今後の課題とする。

参考文献

- 1) 山澤ほか「移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚センサ」信学論D-II, Vol. J79-D-II, No. 5, pp. 698-707, 1996
- 2) 神原ほか「二足歩行ロボットのための自己位置・姿勢推定手法」信学大会論, p. 231, 2006

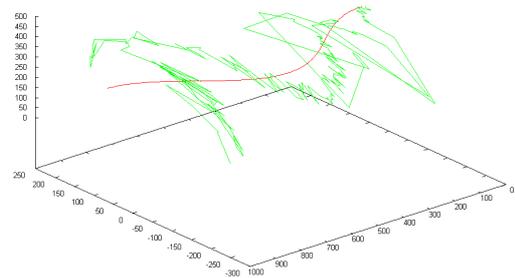


Fig. 11 位置の推定結果 (赤: 真値、緑: 推定値)