

二足歩行ロボットのための全方位画像からの自己位置推定手法

神原 利彦[†] 五十嵐 大斗[†] 関 秀廣[†]

[†] 八戸工業大学大学院 電子電気・情報工学専攻

1 序論

ロボットに搭載されたカメラで得られる画像から、自己位置を推定する研究は、数多く行われている。その多くは2眼視であり、画像間の対応付けを必要としている。単眼視の研究も多数あるが、中心射影カメラでの研究がほとんどで、全方位カメラからの画像を中心射影画像に変換して適用している例が多い。本研究では、中心射影画像への変換を行わずに、全方位カメラからの単眼画像を直接、自己位置の推定に適用できる手法を提案する。

2 手法

2.1 問題設定

図1のような、頭部に全方位カメラを、胸部にジャイロを搭載した二足歩行ロボットが、床平面に敷かれた2本の太い平行線をカメラで観測し、カメラの自己姿勢をジャイロで正確に計測し、自己位置を推定する。その位置が太線の中央から外れていれば中央の方へ歩みを戻すように歩行制御する。全方位カメラを構成する双曲面ミラーの形状パラメータ a, b や焦点距離 f を既知とし、太線の幅や太線同士の間隔も既知とする。

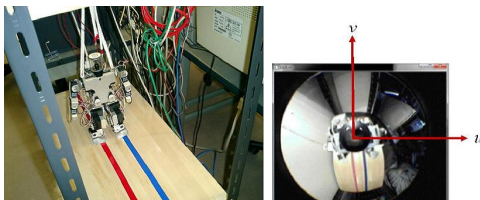


図 1: ロボット歩行環境と全方位画像の例

2.2 手法

筆者らは既に、[1][2]にて、単眼の全方位画像情報とジャイロセンサからの姿勢情報を用いて、自己位置を推定する手法を提案した。以下に処理手順を示す。

- (1) 画像処理で、画像上の2本の太線の境界線画素(図1右参照)の座標値 (u_{ij}, v_{ij}) を検出する。ただし i は境界線のID番号で $i = 1, 2, 3, 4$ とする。 j は画素の番号で $j = 1, 2, \dots, N_i$ とする。

An Estimation Method of Position from a Monocular Omnidirectional Image for a Two-leg Walking Robot

Toshihiko KANBARA[†], Hiroto IGARASHI[†] and Hidehiro SEKI[†]

[†]Doctor of Program in Electronic and Electrical and Information Engineering, Hachinohe Institute of Technology
031-8501, Hachinohe, Aomori, Japan
{kanbara,m12201,seki}@hi-tech.ac.jp

- (2) ジャイロセンサから全方位カメラの3次元の傾き角度 (α, β, γ) を計測する。
- (3) 角度 (α, β, γ) から逆計算で、全方位カメラを基準とした座標系における境界線の方向ベクトル (ϕ, ψ) を求める。
- (4) ミラー焦点を通り、ベクトル (ϕ, ψ) に直交するベクトルが法線ベクトルとなる平面4枚 n_i を、手順(1)で検出した (u_{ij}, v_{ij}) との平均誤差(1画素あたりの誤差)が最小になるように推定する。
- (5) 4枚の平面から円周角一定の法則を応用し、自己位置 (x_0, z_0) を推定する。

本研究では、手順(4)で平面の推定を誤っていた原因を見つけ出し対策を提案する。また、手順(5)における平面の選び方を検証し、最も推定精度の良くなる選び方を導出した。

2.3 平面の推定を誤る原因

手順(4)において、4枚の平面すべてが1つの交線で交わるという条件から、その交線に直交するベクトルを、交線を回転軸として角度だけ回転させたものを法線ベクトルとする。したがって、平面1は角度 θ_1 だけ回転させたものとなる。推定の過程で使用する誤差(縦軸)と角度(横軸)のグラフを図2に示す。最初

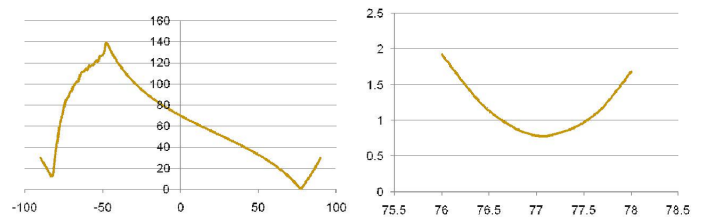


図 2: 誤差の変化の例(右:粗い探索,左:細かい探索)

の段階では1°刻みで粗く探索し、最小値の場所を絞り込む。第二段階では、第一段階で見つけた場所を中心に、前後1°だけを細かく0.01°刻みで探索する。頻度は少ないが、平面の推定を大きく誤る場合があったので原因を調べたところ、図2左に示したように、2箇所極小値が発生する。この2箇所の極小値が非常に近いと、粗い探索と細かい探索では大小関係が入り替わる可能性があることがわかった。図3の赤い線が図2左の左側極小値の拡大図で、青い線が図2左の右側極小値の拡大図とする。粗い探索では、左側極小値が選ばれてしまうが、その前後(赤い曲線部)を細かく探しても最小値とはならない。この問題を解決するために、最小値と二番目に小さい値の二つを見つけて、二つの前後を細かく探し、見つけた最小値ど

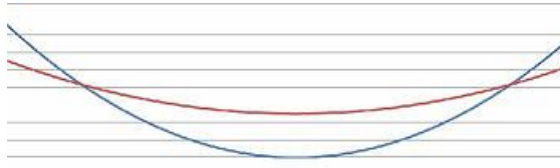


図 3: 極小値付近の拡大図 (赤: 左側, 青: 右側)

うしを比較して, 小さい方を推定値とする改良を提案する.

2.4 拘束円を生成する組み合わせ

手順 (5) では, 平面 2 つから拘束円と呼ばれる円を生成する. 残りの平面 2 つからも, 2 つめの拘束円を求め, 2 つの円の交点が推定値となる. この拘束円を生成する組み合わせは 3 通り存在する. それらのうち, どの組み合わせが最も高精度で推定できるのかを検証する. 図 4 の左から, Case-1, Case-2, Case-3 と呼ぶ.

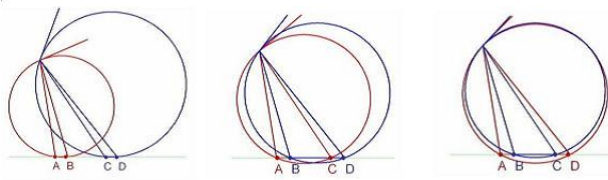


図 4: 拘束円を生成する 3 通りの組み合わせ

Case-1 では, A と B の境界線から拘束円 1 を, C と D の境界線から拘束円 2 を生成し, その交点を推定値とする. 誤差幅, すなわち円の半径方向の誤差が等しいと仮定すれば, 交点における誤差は, 交点における円の接線のなす角度が 90° に近いほど高精度であると言える. 図 4 に上側交点において接線を引いた例を示す. Case-1 ~ Case-3 を比較すれば, 最も 90° に近いのは Case-1 なので, Case-1 が最も高精度に推定できると予想される.

2.5 パーティクル・フィルターによる境界線抽出

境界線のように, 色が急激に変化する部分を抽出する方法のひとつとして, パーティクル・フィルター (以下 PF と略) が挙げられる. PF は, 動画処理の一種であり, 多くの粒子 (パーティクル) を画像上にランダムに散布した初期状態から, 尤度を高めていく方向へそれぞれの粒子を移動させていく手法である. 画像上の点を (u, v) とし, その画素点における赤の輝度成分を $r(u, v)$, 緑の輝度成分を $g(u, v)$, 青の輝度成分を $b(u, v)$ とすると, 赤い境界線に近ければ近いほど大きな値となる尤度関数 $p_r(u, v)$ は次式で表される.

$$p_r(u, v) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_r \Delta r_u^2 + 2\sigma_v \Delta r_v^2}\right) \quad (1)$$

ただし, $\Delta r_u = r(u, v) - r(u - 1, v)$ であり, $\Delta r_v = r(u, v) - r(u, v - 1)$ である. また, 青い境界線を検出するパーティクルに対しては, 式の $r(u, v)$ の部分を $b(u, v)$ に置き換えた式を $p_b(u, v)$ として定義し, 組み込んでいく.

3 実験

実験には, 近藤科学製二足歩行ロボット KHR-1 を, ヴィストン製全方位カメラ VS-14N を使用する. ジャイロには NEC トーキン製 MDP-A3U9S-DK を使用する. 実験の前に, 量子化誤差のみを加えたシミュレーションを行い, 推定精度を算出した. 計算では上記の実験機器の装置パラメータを使用した. 姿勢 α, β, γ は, $-20^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ の 5 通りについて, 水平方向位置 x_0 は, $-100, -50, 0, 50, 100$ の 5 通りについて, 垂直方向位置 z_0 は, $250, 275, 300, 325, 350$ の 5 通りについて, 推定した. 長さの単位は [mm] である. $5^5 = 3125$ 通りの推定計算を行った結果を図 5 に示す. ただし, 拘束円の組み合わせは Case-1 を用いた.

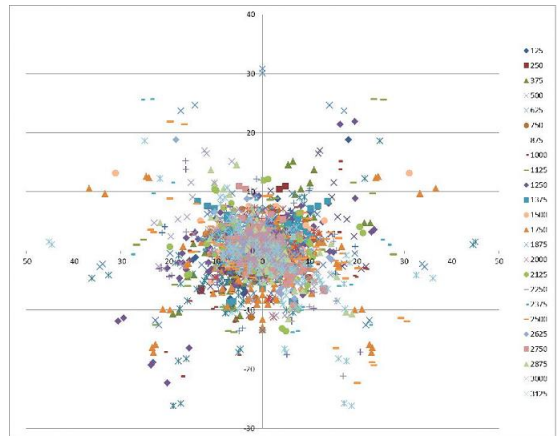


図 5: 3125 回の推定誤差の分布

この 2 次元誤差の分布中心は, $(\bar{x}_0, \bar{z}_0) = (-0.02567, 0.06824)$ であった. 分布の共分散行列 Σ は次式となった.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 55.21073 & -0.07002 \\ -0.07002 & 22.10527 \end{bmatrix} \quad (2)$$

次に, Case-2 で推定実験を行った. 詳細は省略するが, Case-1 よりも推定誤差が小さい結果になった.

4 結論

単眼の全方位画像情報とジャイロの姿勢情報を統合して, 自己位置を推定する手法を提案し, 統計的に精度を評価した. 仮説では, Case-1 が最も高精度だと予想されたが, 実験では Case-2 が最も高精度という結果になった.

参考文献

[1] 沼沢祐一郎, 神原利彦, 関秀廣: 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推定手法, 情報処理学会東北支部研究会講演資料, 2010.
 [2] 神原利彦, 五十嵐大斗: 二足歩行ロボットのための全方位単眼画像からの自己位置推定手法, 情報処理学会第 74 回全国大会講演集, pp.2-41 42, 2012.