6C-1

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

神原 利彦 † 五十嵐 大斗 †

† 八戸工業大学 電気電子システム学科

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．だが，単眼の２次元画像から自己位置と自己姿勢の両方を精度良く推定するのは困難とされている．精度良く推定する手法としては，２台以上のカメラで同時に撮影したり，１台のカメラで時間差をつけて撮影し，対応付けを行い視差を手がかりとする手法が挙げられる．それに対し本研究では，対応付けを行わずに単眼の画像から自己位置を推定する手法の提案を目指す．

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．その位置が太線から外れていれば太線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．

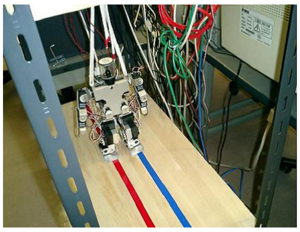

図 1: 二足歩行ロボットと床に敷かれた二本の太線

2.2 手法

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．以下に処理手順を示す．詳細は文献 [1][2][3] に示す．

(1) 画像処理によって，画像上に写った２本の太線の境界線画素の座標値 (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 $j = 1, 2, \cdots, N_i$ とする．

(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) から逆算で，全方位カメラを基準とした座標系における太線の方向ベクトル (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 $\boldsymbol{n_i}$ 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) 円周角一定の法則から，自己位置 (x_0, z_0) を推定する．

2.3 極座標による誤差の評価方法

手順 (4) において，平面を推定するには，平面の法線ベクトルを少しずつ変化させながら，画素点列 (u_{ij}, v_{ij}) との誤差が最小になるものを選ぶ探索処理を行う．この誤差を厳密に計算するには，法線ベクトルを仮定して想定される曲線と画素点ひとつひとつ (u_{ij}, v_{ij}) との最小距離を計算しなければならないが，曲線が非線形で解析解が求まらないため，数値解で求めるしかなく，その数値解導出の繰り返し計算に長い処理時間を要するという問題点があった．そこで，厳密な最小距離ではなく，ほぼ最小と近似できる距離で繰り返し計算の必要がない距離を誤差計算に使う手法を提案する．まず，画像計測で得られた境界線画素の点 (u_{ij}, v_{ij}) を偏

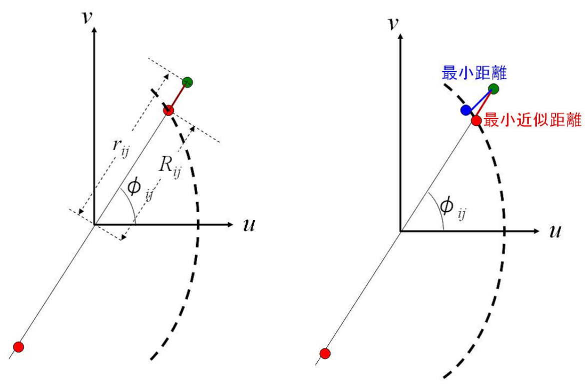

図 2: 最小近似距離

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

Toshihiko KANBARA†and Hiroto IGARASHI†
†Dept. of Electric and Electronic Systems, Hachinohe Institute of Technology
031-8501, Hachinohe, Japan
{kanbara,g082005}@hi-tech.ac.jp

角 ϕ_{ij} と長さ r_{ij} の記述に変換する．図2左では緑色の丸が境界線画素を表す．変換式は次式で表される．

$$\phi_{ij} = \tan^{-1}\left(\frac{u_{ij}}{v_{ij}}\right) \qquad r_{ij} = \sqrt{u_{ij}^2 + v_{ij}^2}$$

ここで，$Y_c = X_c \tan\phi_{ij}$ という平面の式を考える．この平面と $n_x X_c + n_y Y_c + n_z Z_c = 0$ で表される境界線を含む平面との交線を算出する．交線の式は次式となる．

$$-\frac{X_c}{n_z} = -\frac{Y_c}{n_z \tan\phi_{ij}} = \frac{Z_c}{n_x + n_y \tan\phi_{ij}} = \lambda$$

さらに，その交線の式と $\frac{X_c^2+Y_c^2}{a^2} - \frac{(Z_c+c)^2}{b^2} = -1$ で表されるミラー曲面の式との連立方程式から交点2つが求められる．その交点2つを画像平面上に投影すると，図2左の赤丸で示した位置となる．$Y_c = X_c \tan\phi_{ij}$ という平面の式を満たしているので，画像上では $v = u\tan\phi_{ij}$ という直線上に乗っているはずである．境界線を含む平面とミラー曲面の交点から算出しているので，画像上での曲線上に乗っているはずである．原点からこの点までの長さ R_{ij} を求めるには，媒介変数 λ を次式で求めて，

$$\lambda = \frac{-a^2 c(n_x + n_y \tan\phi_{ij})}{b^2(n_z^2 + n_z^2 \tan^2\phi_{ij}) - a^2(n_x + n_y \tan\phi_{ij})^2}$$
$$\pm \frac{a^2 b\sqrt{(n_x + n_y \tan\phi_{ij})^2 + (n_z^2 + n_z^2 \tan^2\phi_{ij})}}{b^2(n_z^2 + n_z^2 \tan^2\phi_{ij}) - a^2(n_x + n_y \tan\phi_{ij})^2}$$

となる．その λ を使って原点から曲線までの距離を次式で算出する．

$$R_{ij} = \frac{f n_z \lambda}{[-(n_x + n_y \tan\phi_{ij})\lambda + c]\cos\phi_{ij}}$$

誤差関数は次式となり，この A_{ij} を最小近似距離と呼ぶ．

$$A_{ij}(\theta) = |R_{ij} - r_{ij}|$$

図2右に示したように，最小距離は青い線で示した距離となるが，算出する計算コストが非常に高い．そこで，必ずしも最小ではないが，ほぼ最小と近似できる距離という意味で，赤い線で示した最小近似距離を使って誤差を評価する．

図3に法線ベクトルを少しずつ変化させた場合の誤差を示す．手順(3)で求めた方向 (ϕ, ψ) を回転軸とし，その回転軸に直交するという拘束の下でどれだけ回転させたら法線ベクトルに一致するかという回転角度が横軸である．縦軸は誤差を表す．二段階で探索を行う．

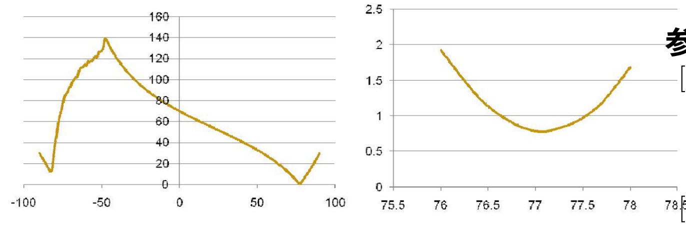

図 3: 誤差の変化の例 (右：粗い探索、左：細かい探索)

最初の段階では1 °刻みで粗く探索し，おおざっぱな最小値の場所を絞り込んでから，細かく 0.01 °刻みで探索し，誤差を最小とする法線ベクトルを推定する．

3 実験

実験には，近藤科学製二足歩行ロボット KHR-1 を，ヴイ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．実機実験の前に，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．本シミュレーションでは，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 °，-10 °，0 °，10 °，20 °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，推定のシミュレーションを行った．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4に示す．

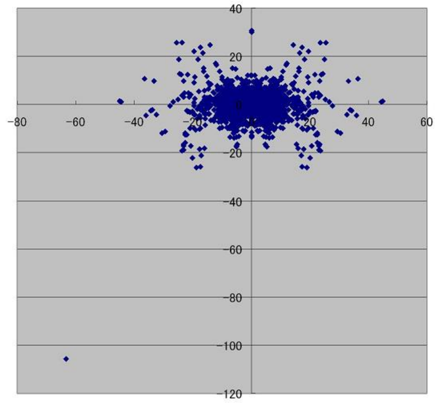

図 4: 3125 回の推定誤差の分布

この誤差の分布中心は，$(\overline{x_0}, \overline{z_0}) = (0.0103, 0.10551)$ であった．分布の共分散行列 Σ は次式となった．

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 55.46417 & 2.133949 \\ 2.133949 & 25.41783 \end{bmatrix} \tag{1}$$

この行列の固有値は，55.615 と 25.267 で，それぞれの平方根は 7.4575 と 5.0266 であるから，水平方向の偏差が約 7.5[mm]，垂直方向の偏差が約 5[mm] の推定手法と評価される．

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．今後は，ジャイロの誤差を考慮する．

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，電子情報通信学会 2010 年総合大会講演論文集,p.194,2010.

[2] 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.

[3] 神原利彦，沼沢祐一郎，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，電子情報通信学会 2011 年総合大会講演論文集,p.124,2011.