

全方位画像の豊富差分を用いた移動ロボットの自己位置推定

北海道大学 ○高橋 大空 室蘭工業大学 高氏 秀則 北海道大学 金子 俊一

要旨

全方位カメラから得られた画像より照明変動にロバストなテクスチャの豊富さである豊富度を求め、その差分である豊富差分を画像間で求めることで位置が不明な入力画像の自己位置を推定する方法を提案する。

1 はじめに

我々は現在の自動化技術の中で美術館などのガイドロボットに注目する。現在多くのガイドロボットはタグやランドマークを用いているため費用がかかる等の問題がある。本研究では視野の広い全方位カメラから得られた画像のみを使用し、出来るだけ少ない学習画像より移動ロボットの自己位置を求めることを目的としている。提案手法では自己位置推定のために全方位画像より豊富度 [1] を求め、その差分を使い、ロボットの存在領域を選定する。次に選定した存在領域から位置補正画像を生成し、自己位置が不明である入力画像（以下未知画像）の位置を豊富差分を用いて推測する。

2 2枚の画像間の特徴量の豊富さの差分

特徴量の豊富さである豊富度を求めるにあたって照明変動にロバストな方向符号を用いる [2]。方向符号より豊富度を求めるのにあたり、画像パタンのもつエッジの方向性の分布を評価するエントロピーを導入する。画素 (x, y) を中心とする大きさ $M \times M$ の局所領域 l_{xy} に含まれる各方向符号 c_{uv} の出現頻度 $h_{xy}(i) (i = 0, 1, \dots, N)$ を次式で定義する。

$$h_{xy}(i) = \sum_{(u,v) \in l_{xy}} \delta(i - c_{uv}) \quad (1)$$

ここで、 δ はクロネッカーのデルタである。相対度数 $P_{xy}(i) = \frac{h_{xy}(i)}{M^2 - h_{xy}(N)} (i = 0, 1, \dots, N-1)$ を算出する。エントロピーを次式で定義する。

$$E_{xy} = - \sum_{i=0}^{N-1} P_{xy}(i) \log_2 P_{xy}(i) \quad (2)$$

エントロピーの名目的な最大値 E_{\max} は各方向符号が一様分布 $P_{xy}(i) = \frac{1}{N}$ に従うとき次式により得られる。

$$E_{\max} = - \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{N} \log_2 \frac{1}{N} \quad (3)$$

ここで、閾値 $\alpha_e (0 < \alpha_e < 1)$ を設定し、 $\alpha_e E_{\max}$ 以上の値を 1~0 に正規化し、それ以下の値を 0 と設定し、豊富度 R_{xy} を次式によって定義する。

$$R_{xy} = \frac{E_{xy} - \alpha_e E_{\max}}{E_{\max} - \alpha_e E_{\max}} \quad \text{if } E_{xy} \geq \alpha_e E_{\max} \quad (4)$$

豊富度の差分である豊富差分は環境が似通っている 2 枚の全方位画像を用いる。画像の中心を原点とした極座

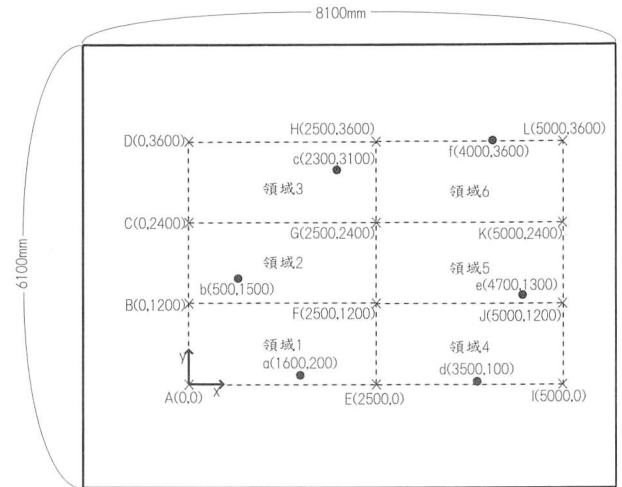


Fig. 1: 実験場所の見取図

標を (r, θ) としたときの 2 枚の画像の同じ座標での豊富度をそれぞれ $R_1(r, \theta)$, $R_2(r, \theta)$ とする。その座標での豊富差分 $d(r, \theta)$ は以下の式で表わすことができる。

$$d(r, \theta) = |R_1(r, \theta) - R_2(r, \theta)| \quad (5)$$

極座標系で θ となる豊富差分の和 $L(\theta)$ を求める。 $L(\theta)$ は次式で表わされる。

$$L(\theta) = \sum_{r=0}^h d(r, \theta) \quad (6)$$

3 豊富差分による存在領域の選定

ここでは前節で述べた豊富差分を用いてロボットが存在する領域を選定する。学習画像を撮影した場所を頂点として作られる長方形を領域とする。学習画像と未知画像の豊富差分を取る。それぞれの豊富差分の和をとり、一番小さい領域内に未知画像が存在していると選定する。今回、長方形の遮蔽物の無い部屋を想定して学習画像を取得した。Fig.1 に実験を行った部屋の見取図と観測位置を示す。Fig.1 において学習画像点 A から点 L と未知画像点 a から点 f を取得した位置に印をつけ、学習画像 4 点で作られたそれぞれの領域を示している。Fig.2 に学習画像と未知画像との豊富差分による存在領域の選定の結果を示す。Fig.2 を見ると、全ての点において豊富差分による存在領域の選定は有効であることが分かる。

4 位置補正画像の生成

前節で求めた 4 点の学習画像より、見かけ上位置をずらした画像を生成する。空間内の任意の点に対応する画

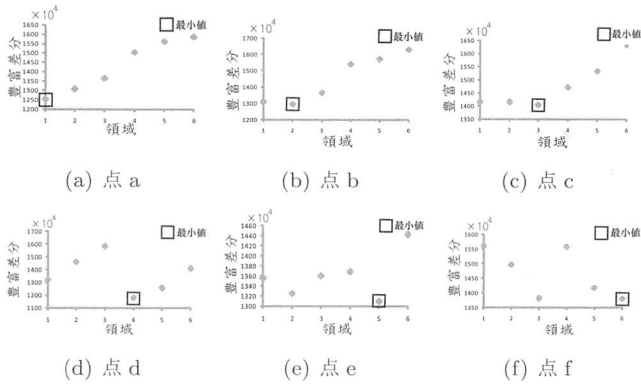


Fig. 2: 存在領域選定の結果

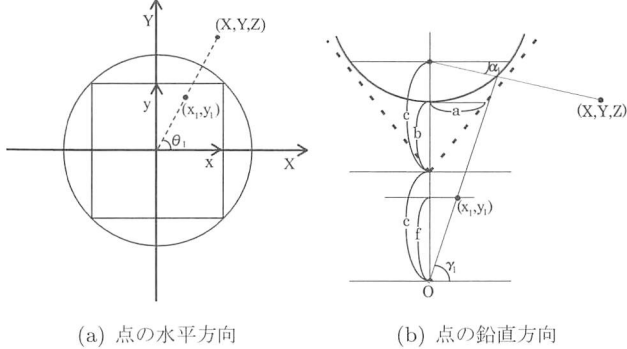


Fig. 3: 全方位カメラの仕組み

素 (x_1, y_1) の方位角 θ_1 は写像点の正接により求められる。ここで対象物体の方位角は、Fig.3(a) に示されるように θ_1 となる。また空間内の座標と写像点は Fig.3(b) に示されており、次式の関係が成り立つ。 a, b はミラーパラメータ、 c は双曲面の焦点、 f はカメラの焦点を表している。

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{(b^2 + c^2) \sin \gamma_1 - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos \gamma_1} \right\}$$

$$\gamma_1 = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} \quad (7)$$

今回の実験では障害物が存在しない長方形の部屋と仮定したので、対象物体はカメラから壁への直線上に存在する。Fig.4に示されるようにカメラ中心 P_1 から空間内の点の延長線と壁までの距離を d_1 とする。カメラを (X_e, Y_e) 動かしたときの P_2 からの角度を θ_2 、壁までの距離を d_2 とすると式 (7) より移動後の角度 α_2, γ_2 が求められ、移動後の画素 (x_2, y_2) は以下の式より、位置補正画像を生成出来る。

$$(x_2, y_2) = \left(\frac{f}{\tan \gamma_2} \cos \theta_2, \frac{f}{\tan \gamma_2} \sin \theta_2 \right) \quad (8)$$

5 補正画像による自己位置推定

位置補正画像と未知画像の豊富差分を取り、自己位置を推定する方法を示す。未知画像より存在領域を求め、学習画像の位置補正画像を作ることによって擬似的に領域内の画像を生成する。位置補正画像と未知画像の豊富差分を取り、豊富差分が最も小さい画像が未知画像の自己位置と推定する。3節で未知画像とした点 a, c, d をここでも用

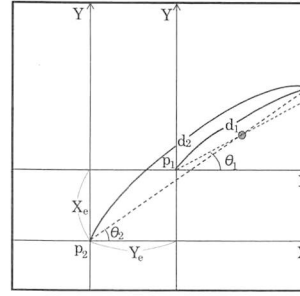


Fig. 4: 移動時の角度と距離

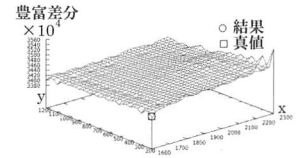


Fig. 5: 点 a 結果

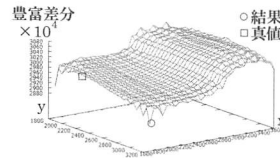


Fig. 6: 点 c 結果

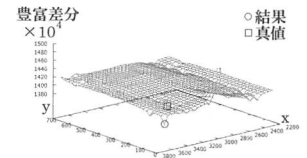


Fig. 7: 点 d 結果

いる。位置補正は部屋に障害物が存在しない前提で画像を生成しているが実際には机が存在している。机を出来るだけ考慮しないために式 (6) において r を 0 からではなく $\frac{h}{2}$ からとする。自己位置推定の結果を Fig.5, 6, 7 に示す。それぞれ求められた自己位置は点 a は (1600, 200)、点 c は (1700, 3100)、点 d は (3700, 0) となり、点 a のみ正しい結果を得ることが出来た。結果を見ると、点 c の誤差は 600mm、点 d の誤差はおよそ 220mm で、未知画像の実際の位置近傍の豊富差分は小さい傾向にある。現在の手法のみでは自己位置を推定するのは困難であるが、おおよその位置を推定することが出来た。

6 おわりに

本論文では全方位カメラより得られた画像と学習画像の豊富差分より未知画像の存在領域を求め、存在領域の頂点の画像の位置補正画像を生成することにより、未知画像の自己位置を推定する手法を示した。本手法では未知画像の自己位置を正確に求めることは出来なかったが、改善の傾向が見られた。今後の課題として、自己位置推定の精度を上げる必要がある。また、現在の手法では障害物が存在しない部屋を前提としているので、その他の条件の部屋にも対応することが課題である。

参考文献

- [1] 高氏秀則, 金子俊一, 田中孝之: 「未知環境におけるロボスタダンキング」 電気学会論文誌 (C), Vol.125, No.6, pp.926-934, 2005
- [2] F.Ullah, S.Kaneko, and S.Igarashi: 「Orientation Code Matching for Robust Object Search, IEICE Trans. On inf. & Sys」, E48-D, No.8, pp.999-1006, 2001