

# 壁面学習画像群を用いた全方位カメラ搭載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

室内環境における移動ロボットの自己位置を推定する手法を提案する．全方位カメラで取得した画像の照明変動などにロバストな特徴量である豊富度の差分を定義し，壁面情報画像群より自己位置を推定する．

## 1 はじめに

我々は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センサ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，でき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．自己位置推定のために全方位画像より豊富度 [1] を定義し，その差分よりロボットの存在領域を絞り込む．絞り込んだ存在領域から任意地点画像を生成し，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自己位置を推測する方法を示す．

## 2 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， $\delta$  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．

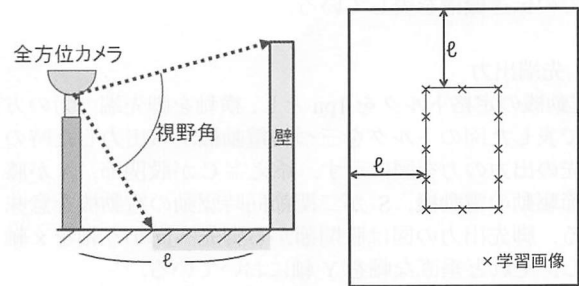
$$E_{xy} = - \sum_{i=0}^{N-1} P_{xy}(i) \log_2 P_{xy}(i) \quad (2)$$

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．

$$R_{xy} = \begin{cases} \frac{E_{xy} - \alpha_e E_{\max}}{E_{\max} - \alpha_e E_{\max}} & \text{if } E_{xy} \geq \alpha_e E_{\max} \\ 0 & \text{if } E_{xy} < \alpha_e E_{\max} \end{cases} \quad (4)$$



(a) 全方位カメラの視野角 (b) 部屋の見取り図

図 1: 学習画像取得イメージ

前節で求めた豊富度の差分である豊富差分について述べる．環境が似通っている 2 枚の全方位画像を用いる．これらの画像の同じ座標での豊富度をそれぞれ  $R_j(r, \theta)$ ， $R_k(r, \theta)$  とする．その座標での豊富差分  $d_{jk}(r, \theta)$  は次式で表わすことができる．

$$d_{jk}(r, \theta) = |R_j(r, \theta) - R_k(r, \theta)| \quad (5)$$

画像の中心を原点としたときの極座標系で  $\theta$  となる豊富差分の和  $L(\theta)$  を求める．全方位円の半径を  $h$  としたときの  $L$  は次式で表わされる．

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

## 3 豊富差分による存在領域の選定

ここでは前章で述べた豊富差分を用いて大まかに自己位置を絞り込むことを行う．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が一番小さい学習画像が未知画像の近傍に存在すると判断できる．今回の実験ではおよそ 6100mm × 10200mm の長方形の部屋において全方位カメラを搭載した移動ロボットで画像を取得した．学習画像を 15 枚取得し，任意の地点で 30 枚の未知画像を取得した．少ない学習画像で自己位置推定を行うために，図.1 に示されるように全方位カメラの視野角より部屋の壁面を全て撮影できる点で学習画像を取得した．

未知画像と学習画像の豊富差分による選定結果を図.2 に示す．図.2 では正しい画像を選定することが出来ている．今回未知画像として取得した 30 枚全てにおいて正しい近傍画像を選定することが出来た．この結果より未知画像と学習画像の豊富差分より未知画像が存在している場所の選定をできることが分かった．

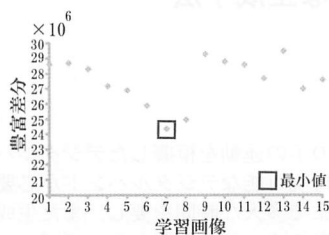


図 2: 選定結果

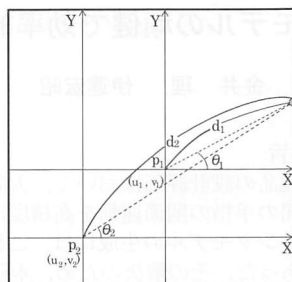


図 3: 移動時の角度

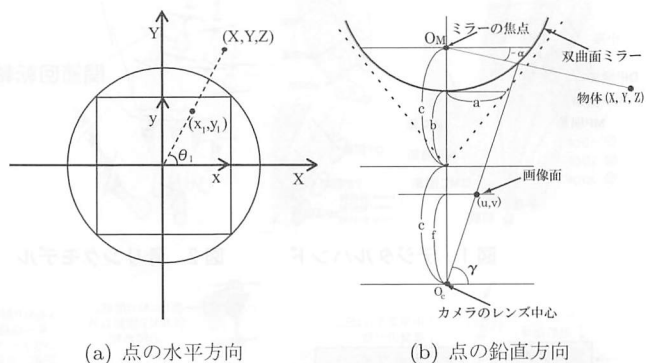


図 4: 全方位カメラの仕組み

## 4 任意地点画像の生成

前章で求めた存在領域の学習画像より、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写像点  $(u_1, v_1)$  の方位角  $\theta_1$  は写像点の正接で表すことができる。ここで対象物体は図.4(a) に示されるように  $\theta_1$  となる。また空間内の座標と座標点は図.4(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。

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

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (7)$$

今回の実験では撮影点から壁に向かう間に遮蔽物が存在しないと仮定したので、写像点は全てカメラから壁への直線上に存在する。移動前後の座標と角度を示した図.?? より分かるように、移動前のカメラ中心の点  $p_1$  から対象物までの距離を  $d_1$ 、移動後のカメラ中心の点  $p_2$  の写像点の角度を  $\theta_2$ 、壁までの距離を  $d_2$  とすると式 (7) より移動した後の角度  $\alpha_2$ 、  $\gamma_2$  が求められる。また、移動後の写像点  $(u_2, v_2)$  は式で求められる。

$$(u_2, v_2) = \left( \frac{f}{\tan \gamma_2} \cos \theta_2, \frac{f}{\tan \gamma_2} \sin \theta_2 \right) \quad (8)$$

以上より、任意の距離移動した場合の写像点の位置を計算することができる。作成された任意地点画像を図.5 に示す。

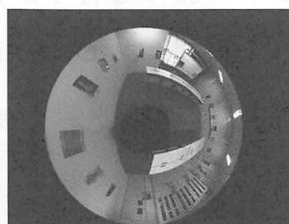


図 5: 任意地点画像

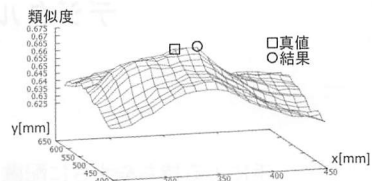


図 6: 自己位置推定結果

## 5 任意地点画像による自己位置推定

作成された任意地点画像より移動ロボットの自己位置を推定する。選定された学習画像の任意地点画像と未知画像との豊富差分を定数  $\beta$  から引いた値を類似度と定義する。類似度が最も大きい値の座標をロボットの存在する座標であると推定する。豊富差分による推定結果を図.6 に示す。未知画像 30 枚の内、16 枚が正しい自己位置を推定することが出来た。自己位置を推定することが出来なかった画像の平均誤差は 621.8mm であった。この実験による結果を見ると、未知画像の実際の位置近傍の類似度は大きい傾向にある。任意地点画像と未知画像の豊富差分による推定は信頼できるものではないが、改善の傾向が見られた。

## 6 おわりに

本研究では全方位カメラより得られた未知画像と学習画像の豊富差分より未知画像が存在する領域を選定し、選定された存在領域の学習画像より見かけ上任意の距離を移動した画像である任意地点画像を作成し、任意地点画像と未知画像の豊富差分により自己位置推定を行う方法を示した。今回の実験で示した存在領域選定は未知画像 30 枚全てにおいて正しい結果であったので有効であることが分かる。また、自己位置推定の結果は 30 枚中 16 枚のみが正しい結果を示した。これは、任意地点画像を生成する際に撮影範囲などを考慮しないため歪みが生じるからであると考えられる。今後の課題として、歪みの補正による自己位置推定の精度向上や人間が移動している状態での自己位置推定の結果を見る必要がある。

## 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トダンキング, 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