

全方位画像を用いた固有空間法に基づく自己位置推定

3K-3

栗飯原 述宏 岩佐 英彦 横矢 直和 竹村 治雄

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1 はじめに

自律移動ロボットの研究が盛んになるにつれて、視覚情報を用いて実環境を理解することに対する重要性が高まってきている。特に、環境内での自己位置を認識することは、ロボットの視覚誘導などを行なう上で不可欠なものである。これを解決する有効な手法として、近年、記憶に基づく認識法を用いた自己位置の推定法がいくつか提案されている [1] [2]。

記憶に基づく認識法とは、学習画像として多数の2次元画像をそのまま記憶し、記憶された学習画像とのマッチングによって未知画像の認識を行なう手法のことをいう。学習させる画像の枚数を単純に増やすことで認識性能の向上が期待できるため、非常に注目されている手法である。特に、記憶に基づく認識法の1つである固有空間法は、与えられた画像集合を分離するのに有効な特徴軸をKL展開に基づいて求める手法であり、認識の精度を下げることなく記憶量を大幅に削減することができるため、最近よく研究されている [3]。

本稿では、固有空間法を用いることにより、記憶に基づくカメラ位置の推定を行なう手法を提案する。提案手法では、入力に用いた全方位画像から位置に固有な自己相関画像を生成し、これを学習画像として記憶させることによって未知のカメラ位置の推定を行なう。

2 全方位画像による画像記憶

2.1 全方位画像からの自己相関画像の生成

本研究では、周囲360度の環境情報を一度に観測できるため位置推定を行なうのに非常に適しているという理由から、入力画像として全方位画像を使用する。全方位画像の取得には全方位視覚センサ HyperOmni Vision [4] を用いており、実際に取得された画像を図1に示す。

しかしこのような全方位画像は、同一位置で撮影されたものであってもセンサ軸まわりの回転により全く異なる画像となってしまう。このため、全方位画像をそのまま位置推定に用いることはできず、カメラ位置に固有な(すなわちセンサ軸まわりの回転に不変な)何らかの成分を抽出することが必要である。

そこで提案手法では、まず全方位画像を図2に示す



図1: 全方位画像



図2: パノラマ画像

ようなパノラマ画像に変換する。パノラマ画像自体はカメラ位置に固有なものではないが、その各水平ラインの自己相関値は、水平方向への周期性のため位置固有の値となっている。従って、この自己相関値の類似性を判定することにより、位置の推定を行なうことができる。実際にどのように自己相関値を求めるかを次に示す。

まず、入力された全方位画像を極座標変換し、 $M \times N$ のパノラマ画像を生成する。パノラマ画像の水平方向の画素ベクトルを、それぞれ $v_1, \dots, v_n, \dots, v_N$ で表す。ここで、 $v_n = (v_{n1}, \dots, v_{nM})$ とする。この時、各水平画素ベクトル v_n の自己相関ベクトル $r_n = (r_{n1}, \dots, r_{nM})$ を、次式により求める。

$$r_{nk} = \frac{1}{M\sigma_{v_n}^2} \sum_{m=1}^M (v_{nm} - \bar{v}_n)(v_{n(m+k)} - \bar{v}_n) \quad (1)$$

$$(1 \leq k \leq M)$$

ここで、 \bar{v}_n 、 σ_{v_n} は、それぞれ v_n の各要素の平均、および標準偏差である。式(1)は、自己相関ベクトル r_n の第 k 成分 r_{nk} が、ベクトル v_n とその各成分を k だけ右にシフトさせたベクトルとの相関値であることを示しており、 $-1 \sim 1$ の値をとる。すなわち $M \times N$ のパノラマ画像から、成分数 M の自己相関ベクトルを水平画素ベクトルとして持つ $M \times N$ の自己相関画像が生成される。ただし実際には自己相関ベクトルの対称性のため、 $1 \sim \frac{M}{2} - 1$ 成分と $\frac{M}{2} + 1 \sim M - 1$ 成分は折り返された値になることと、第 M 成分が常に1になることから、 $\frac{M}{2} \times N$ の部分画像だけを考慮すればよい。実際に図1の全方位画像に対して求めた自己相関画像を図3に示す。

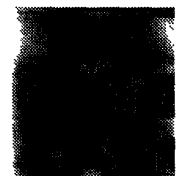


図3: 自己相関画像

2.2 固有空間の作成

2.1節の方法により、1枚の全方位画像から1枚の自己相関画像が生成される。次に、自己相関画像の集合から固有空間を作成する手法について述べる。

まず L 枚の自己相関画像を、画素値を要素に持つ画像ベクトル $\phi_j (j = 1, \dots, L)$ とする。そして、画像ベクトル集合 $\{\phi_j\}$ の共分散行列 C を次式により求める。

$$C = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L (\phi_j - \bar{\phi})(\phi_j - \bar{\phi})^T \quad (2)$$

ここで、 $\bar{\phi}$ は $\phi_j (j = 1, \dots, L)$ の平均ベクトルである。この時、固有空間 E は、次式

$$C u_k = \lambda_k u_k (k = 1, \dots, K, \dots, L) \quad (3)$$

によって求められる固有ベクトル u_k を直交基底ベクトルとして構成される。そして、 $v_{nk} = (\phi_j - \bar{\phi}) u_k$ とするとき、画像ベクトル ϕ_j は固有値の大きい上位 K 個の固有ベクトルを用いて

$$\phi_j \approx \bar{\phi} + \sum_{k=1}^K v_{jk} u_k \quad (4)$$

と近似できる。これは、平均ベクトル $\bar{\phi}$ を原点とする K 次元の固有空間へ画像ベクトル ϕ_j を射影することを意味する。

3 自己位置の推定

自己位置の推定は、以下のような手順で行なう。まず、予め学習画像全体をある程度類似している画像同士からなる部分画像集合の組に分割しておく。ここで学習画像とは、固有空間を作成する際に用いる画像のことをいい、位置情報などが付加されているものとする。各部分画像集合に対して前節の処理を行ない、それぞれの固有空間を作成する。

次に、入力された未知画像を自己相関画像に変換し、各固有空間に投影する。そして、入力未知画像の射影成分が最大となる固有空間を検出し、その固有空間を生成する部分画像集合に推定すべき学習画像が含まれているとする [5]。

最後に、固有空間内での距離を元に未知画像に最も類似した学習画像を検出し、それに付加された位置情報から現在位置を推定する。

4 実験結果

本手法の有効性を確認するために、建物内の通路の画像を用いて実験を行なった。図 4(a) に、学習画像と入力未知画像の撮影地点を示す。隣接画像の間隔は 50cm で、学習画像と入力未知画像の方位差（センサ軸回りの回転）は約 120 度である。

まず、24 枚の学習画像 (646 × 486, 256 階調) をそれぞれ自己相関画像 (128 × 192) に変換し、8 枚ずつ 3 つの部分集合に分けて固有空間 A~C を作成した。各固有空間の次元数は 5 次元（寄与率: 約 90%）とした。次に、21 枚の未知画像を入力し位置推定を試みた。

図 4(b) に、入力未知画像の射影成分が最大になる固有空間と、その固有空間内で最も近接している学習画

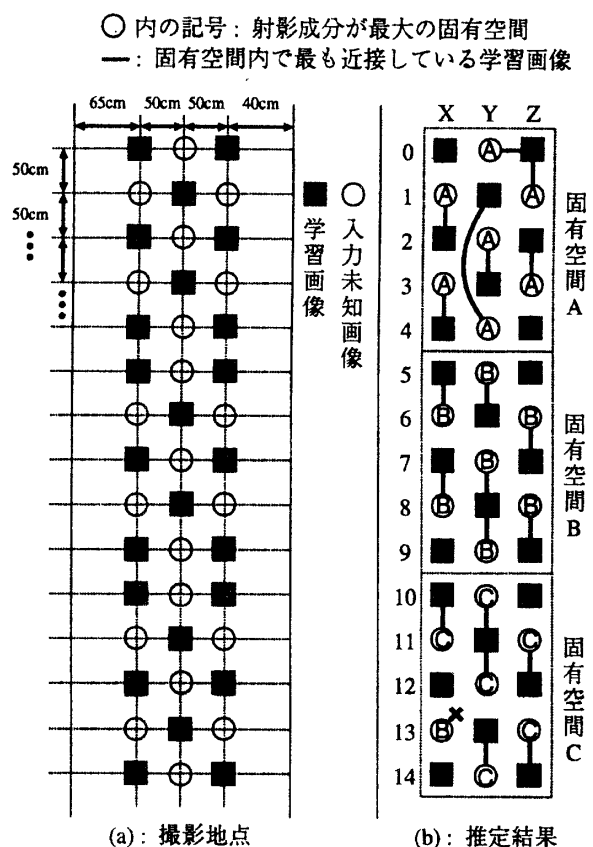


図4: 撮影環境と推定結果

像（すなわち推定された位置）を示す。4-Y と 13-X で誤認識が見られるものの、その他については、学習時とのセンサ方位のずれにも関わらず、通路において最も近い学習画像の撮影位置を自己位置として推定できている。

5 おわりに

本稿では、全方位画像からカメラ位置に固有な自己相関画像を求め、その類似性を固有空間内で判定することによって自己位置の推定を行なう手法を提案した。また、実画像を用いた実験を行なうことにより、本手法の有効性を示した。

今後は、局所的な背景の変化や人物などの出現があった場合にも対処できるような方法について検討する予定である。

参考文献

- [1] 前田, 石黒, 辻: “全方位画像を用いた記憶に基づく未知環境の探索”, 情処研報, CV92-10, pp.73-80, 1995.
- [2] 前田, 久野, 白井: “固有空間解析に基づく移動ロボットの位置認識”, 信学論 (D-II), Vol.J80-D-II, No.6, pp.1502-1511, 1997.
- [3] H.Murase and S.K.Nayar: “Visual Learning and Recognition of 3-D Objects from Appearance”, IJCV, Vol.14, pp.5-24, 1995.
- [4] 山澤, 八木, 谷内田: “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 HyperOmni Vision の提案”, 信学論 (D-II), Vol.J79-D-II, No.5, pp.698-707, 1996.
- [5] 石川, 有木: “正規化複数部分空間法による顔認識と話者認識の統合”, 信学技報, PRMU96-41, pp.31-38, 1996.