

追加学習可能な固有空間法を用いた移動ロボットの自己位置推定

野口 直樹[†] 高野 茂[‡] 新島 耕一[‡]

[†]九州大学 大学院システム情報科学府 情報理学専攻

[‡]九州大学 大学院システム情報科学府 情報理学部門

1 はじめに

移動ロボットが目的の場所に移動するためには自己位置情報が必要不可欠である。画像処理に基づく自己位置推定のアプローチとして、ロボットが取得した画像と、あらかじめ撮影しておいたデータベース画像とを比較照合し、位置を推定する方法がある。その多くは、固有空間法[1]を用いて画像を低次元の部分空間に写像することにより、効率よくデータベース画像との比較を行うものである。しかしながら、固有空間の構成には膨大な計算量が必要であるため、頻りに画像を追加して固有空間を構成しなおすことは得策ではない。

本稿では、リアルタイムに追加学習可能な固有空間法を利用し、固有ベクトル列の再計算の時間を短縮する。また入力画像を分割することにより推定精度の向上を計る。シミュレーションでは、移動ロボットとしてソニー製4足ロボット AIBO を使用し、追加学習可能な固有空間法を用いた自己位置推定の手法、および自己位置推定の実験とその結果について述べる。

2 追加学習可能な固有空間法

画像サイズが m の訓練画像 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ から固有空間を構成するためには、 $m \times m$ の共分散行列の固有値問題を解く必要がある。その際、訓練画像を追加するたびに、固有空間を再構成しなおすことは現実的ではない。

本稿では、追加学習可能な固有空間法[2][3]を用いて、主要な固有ベクトルの更新を高速化する。 n 枚の訓練画像から固有ベクトルを計算し、主要な固有ベクトルを k 個選ぶ。これらを並べて $m \times k$ 行列 \mathbf{U} を作成する。また、固有値を対角成分にもつ対角行列を $\mathbf{\Lambda}$ で表す。画像の平均を $\bar{\mathbf{x}} = \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i / n$ で表わし、追加する画像を \mathbf{x}_{n+1} で表す。 $\mathbf{a} = \mathbf{U}^T (\mathbf{x}_{n+1} - \bar{\mathbf{x}})$ とおき、残差ベクトルを $\mathbf{h}_{n+1} = (\mathbf{U}\mathbf{a} + \bar{\mathbf{x}}) - \mathbf{x}_{n+1}$ によって定義する。

\mathbf{h}_{n+1} を正規化したものを $\hat{\mathbf{h}}_{n+1}$ とする。ここで、

$(k+1) \times (k+1)$ 行列

$$\mathbf{D} = \frac{n}{n+1} \begin{bmatrix} \mathbf{\Lambda} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0}^T & 0 \end{bmatrix} + \frac{n}{(n+1)^2} \begin{bmatrix} \mathbf{a}\mathbf{a}^T & \gamma\mathbf{a} \\ \gamma\mathbf{a}^T & \gamma^2 \end{bmatrix}$$

を定義する。ただし、 $\gamma = \hat{\mathbf{h}}_{n+1}^T (\mathbf{x}_{n+1} - \bar{\mathbf{x}})$ である。

次に、回転行列 \mathbf{R} を、固有値問題 $\mathbf{R}^T \mathbf{D} \mathbf{R} = \mathbf{\Lambda}'$ を解くことにより求める。 \mathbf{D} は $(k+1) \times (k+1)$ 行列であり、 $k \ll m$ なので、 \mathbf{R} を高速に計算することができる。この \mathbf{R} を用いて

$$\mathbf{U}' = [\mathbf{U}\hat{\mathbf{h}}_{n+1}] \mathbf{R}$$

を計算する。 \mathbf{U}' は新しい主要な固有ベクトルからなる行列である。

3 自己位置推定法

3.1 画像の分割

固有空間を構成するために、図1に示すような水平方向に画角約10度毎に分割した画像を用いる。



図1 画像の分割

このように画像を分割する理由は二つある。ひとつめは計算時間の短縮である。画像の解像度が高いと画像一枚のピクセル数が大きくなり、固有ベクトル列の計算時間が膨大になる。逆に画像の解像度を低くすると画像の特徴が損なわれる。そのために、画像を分割して一枚の画像のピクセル数を少なくし、計算時間を短縮する。二つめの理由は、画像の位置ずれの影響を小さくするためである。AIBO のカメラは、一度に全方向を撮影することができないため、撮影した画像とデータベース画像とを比較照合する際に、画像の位置ずれにより類似画像が見つからない場合がある。そのため、図1のように画像を分割し、水平方向の位置ずれによる影響を小さくしている。また、分割画像を用いると、ロボットの方向の情報を細かく推定できる利点もある。

Mobile Robot Localization by Incremental Eigenspace Method
Naoki NOGUCHI[†] Shigeru TAKANO[‡] Koichi NIJIMA[‡]

[†]Department of Informatics, Kyushu University

[‡]Department of Informatics, Kyushu University

3.2 自己位置推定の手順

ロボットの自己位置と方向の情報を推定する手順を以下に示す。

1. 訓練画像から主要固有ベクトルを求め、主要固有ベクトルと特徴ベクトルのデータベースを作成しておく。なお、訓練画像には、撮影した位置と方向の情報をラベル付けしておく。
2. ロボットが取得した画像を、水平方向の画角 10 度毎に分割し、その画像をデータベースに登録されている主要固有ベクトルで展開し、特徴ベクトルを計算する。
3. データベース上の特徴ベクトルと比較して、それぞれに最も類似した画像を探す。
4. 類似した画像には位置と方向の情報がラベル付けされているので、最も多く一致する位置と方向を記憶しておく。
5. カメラを回転させて手順 2, 3, 4 を繰り返す。最も多く記憶された位置と方向が自己位置と方向であると推定する。
6. 推定に失敗した場合には、その画像を追加画像とみなし、2 節の方法によって主要固有ベクトルと特徴ベクトルを計算しなおす。

提案した手法を用いると、データベースを高速に更新しながら位置推定の精度を上げることができる。また位置推定を行う範囲を逐次的に拡張することも可能である。

4 実験

4.1 データベース作成

室内を図 2 のように 14 箇所分割し、それぞれの中央で画角 10 度毎に 36 枚の画像を撮影した。合計 504 枚の画像を訓練画像とし、特徴ベクトルのデータベースを作成した。使用した画像のサイズは 16×72 である。

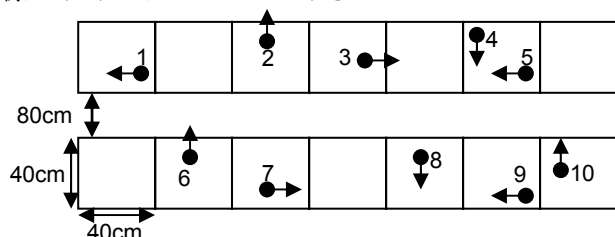


図 2 室内の分割と実験を行った位置

4.2 実験内容

図 2 に示された点の位置から、カメラを 30 度ずつ回転させながら矢印方向を中心に左右 90 度の範囲を撮影し位置の推定を行った。AIBO に搭載されているカメラの水平方向の画角は 57.6 度であるため、画像を 10 度毎に 5 分割し両端の余りの部分は使用しなかった。比較する特徴ベク

トルのサイズは 20 とした。

4.3 実験結果

表 1 に実験結果を示す。正答率とは、その場所を正しく推定できた割合である。この実験では追加学習は行わなかった。

表 1 実験結果

	正答率	位置推定の成否
場所 1	0.60	○
場所 2	0.80	○
場所 3	0.83	○
場所 4	0.40	×
場所 5	0.80	○
場所 6	0.80	○
場所 7	1.00	○
場所 8	0.75	○
場所 9	1.00	○
場所 10	1.00	○

4 以外のすべての場所において位置を推定することができた。AIBO の 384Mhz の CPU では、一枚の入力画像に対して固有空間法を用いて位置推定に要する時間は約 42ms であった。この結果から 1 秒間に約 24 回の推定を行えることを示している。このことは、位置推定を行うには十分な処理速度である。

この実験とは別に、追加学習に要する時間を測定する実験を行った。Pentium4, 1.8GHz の CPU では、特徴ベクトルのサイズを 20 としたときの固有ベクトル列の更新に要する時間は約 80ms であった。これは、新たな共分散行列から固有ベクトル列を求めるために要する時間 92sec に比べると、1000 倍以上高速であった。

5 おわりに

本稿では、追加学習可能な固有空間法を用いて移動ロボットの自己位置推定を行った。実験結果から、自己位置の推定はうまく行えることがわかり、処理速度も位置推定を行うには十分であった。今後の課題としては、位置推定の精度をさらに向上させ、AIBO のカメラを回転させることなく自己位置を推定できるようにすることがあげられる。

参考文献

- [1]EOja. "Subspace Methods of Pattern Recognition", Research Studies Press Ltd, 1983.
- [2]M. Artac, M. Jogan, and A. Leonardis. "Mobile Robot Localization Using an Incremental Eigenspace Model", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1025-1030, 2002.
- [3]P. Hall, D. Marshall, and R. Martin. "Incremental Eigenanalysis for Classification", Proc. of British Machine Vision Conference, vol. 1, pp. 286-295, 1998.