

固有空間法を用いた警備ロボットのための異常検出

Abnormality Detection for Guard Robot using Eigen Space Technique

室谷 竜弘 (筑波大) 正 大矢 晃久 (筑波大)
正 油田 信一 (筑波大)

Tatsuhiko MUROYA, University of Tsukuba, Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki
Akihisa OHYA, University of Tsukuba
Shin'ichi YUTA, University of Tsukuba

The purpose of this study is to develop an image processing system for a guard robot. The system is able to detect abnormality by comparing the current image to the images which are obtained on the path of the robot a prior in the normal situation. In this report, the method for the abnormality detection using a fast comparison of the images based on the eigen space technique is described. The experimental results in a real indoor hallway environment are also shown.

Key Words: Guard Robot, Image Processing, Abnormality Detection, Eigen Space Technique

1 はじめに

自律移動ロボットの応用分野の一つに、夜間の建物内警備が挙げられる。これまでに、各種のセンサを用いて火災や漏水、侵入者などの検出が試みられているが [1]、画像を用いた自律的な警備行動は未だ実現されていない。そこで本研究では、視覚を持ったロボットにより、画像から得られる情報をもとに警備を行うシステムの開発を目的とする。

その具体的な方法としては、ロボットに搭載されたカメラを使い、警備を行うべき経路上であらかじめ正常な状態における画像を記憶しておき、警備する際には、その時に得られる画像と記録しておいた画像とを比較することで侵入者等の視覚的に認識可能な異常を検出できると考えた。つまり、得られた画像が記録しておいた画像と同じであれば正常、異なれば異常とする。ただし、多数枚の画像の蓄積には膨大なメモリ量が、またそれらとの比較には多大な処理時間を要するため、近年画像のマッチングを高速に行う方法として注目されている固有空間法 [2] を用いることにした。本稿では、固有空間法を用いた異常の検出方法と、これを実環境データに適用した実験の結果について述べる。

2 固有空間法による異常検出

固有空間法は画像のマッチングなどの処理を高速に行う方法として用いられている [3]。この方法は、2つのステップから構成されている。第1ステップは、マッチングを取るべき対象となるあらかじめ記憶された画像全体から固有値、固有ベクトルを求めて、固有値の大きいいくつかの固有ベクトルにより固有空間を生成する。そして、すべての画像をその固有空間上に投影し、その投影されたデータ点列の位置を求めておく。第2ステップは、マッチングを取りたい入力画像を同じ固有空間に投影し、投影された点に最も近い投影点を持つ画像がマッチングされた画像として抽出される。このように、画像を画素単位ではなく、それらを次元の低い固有空間に投影して、その中でマッチングすることにより、マッチング時に必要なメモリ量と計算量

を劇的に低減することができる。

一方で、画像による異常検出を考えると、あらかじめ正常状態の画像がどのようなものであるかを記憶しておき、入力される画像がそれらの画像のどれかと等しいか、あるいはどれとも等しくないかで正常/異常の判断をする方法が一つの簡単な方法として挙げられる。等しいかどうかは、画像どうしの相関や差を求めることで判断できるが、入力画像の種類、つまり正常な状態の画像パターンが増えてくると、それらすべての画像とマッチングを行って、最も似ているものをまず探し、それとどの程度似ているか(等しいか)を判断しなくてはならない。この「多数枚画像とのマッチング」の部分に固有空間法を用いれば、省メモリで高速な異常検出が可能となる。

もし、入力画像があらかじめ記憶された画像と同じであるなら、元の画像系列が投影された固有空間上のデータ点列の近傍に投影され異常がないとわかる。一方、入力画像にあらかじめ記憶した画像とは異なる予期せぬものが映っていると、画像の成分が大きく異なってくるので、元のデータ点列とは離れた場所に投影されて異常があることがわかる。このように固有空間法を用いて異常を検出する方法としては、ICのパターン検査に応用する例が提案されている [4]。本研究では、これを移動ロボットによる巡回警備のようなタスクに応用することを目標としている。

3 固有空間の生成と画像のマッチング方法

あらかじめ正常状態でロボットに警備を行うべき経路を走行させて、適当な走行距離間隔毎に画像を取得しておく。この画像の画素数を $M (= J \times K)$ 、枚数を N とする。本研究における具体的な固有空間生成の手順を以下に示す。

- 1つの画像の画素値を左上から走査しながら順に読み込み、それを縦に並べて $M \times 1$ のベクトルとする。
- それを N 枚の画像すべてについて同様に行う。
- 得られた N 個のベクトルを横にならべて $M \times N$ の行列を作る。



図 1: Indoor hallway environment for the experiment.

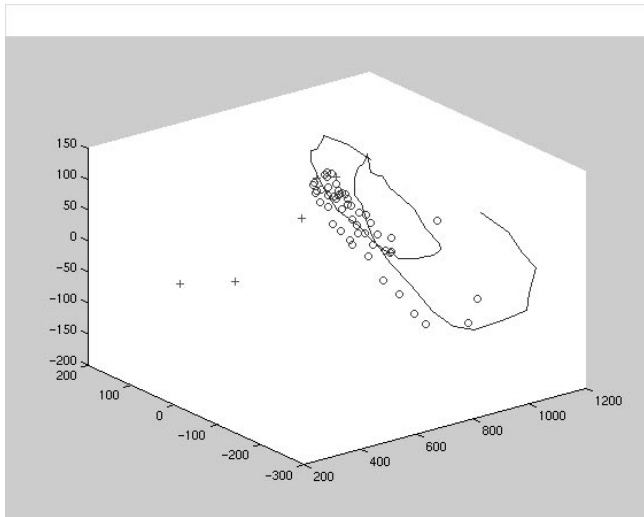


図 2: Data points projected on the generated eigen space.

- その行列に、その転置をかけて $M \times M$ の共分散行列を求め、その固有値、固有ベクトルを求める。
- その中から固有値の大きな順に 3 つの固有ベクトルを選び、それらを基底として固有空間を生成する。

N 個の $M \times 1$ ベクトルと基底として採用した 3 つの固有ベクトルとの内積をそれぞれ求めて、 N 個のベクトルを固有空間に投影しておく。そして、実際の警備時にはカメラより入力される画像を同じ固有空間に投影してあらかじめ求めておいた N 個の投影点との距離を算出する。もしも、近い点があれば現在その点を得た位置にロボットがいて正常な状態であることを示し、近い点がなければ現在異常状態にあると判断される。異常と判断された時点で人間のいるセンターに通報する。

4 実環境中での実験

以上のことをふまえ、ロボットにビデオカメラをのせて、実際に図 1 に示すような廊下環境中で直進走行させて画像を記録し、その画像を使って固有空間を生成した。ここでは、ロボットが 30cm 走行する毎に取得した 50 枚の画像を使い、それから固有値を求め、1 ~ 3 番目に大きな固有値に対応する固有ベクトルを基底として固有空間を生成した。ただし、得られる画像 (512×480 画素) をそのまま使うと巨大な行列の演算を行う必要があるため、本研究では得られる画像をあらかじめ 10×10 画素の小さなサイズに圧縮



図 3: Example of the image for normal(left) and abnormal(right) situation.

してから固有空間の生成と異常検出をすることとした。

その結果を図 2 に示す。実線がこの固有空間を生成するのに用いた画像列を固有空間に投影したデータ点列を、ロボットの進行に伴って繋げて表示したものである。また、‘+’ は同じ走行経路をもう一度走行させた時に得られた画像列を投影したデータ列である。2 回の走行位置は微妙に異なっていたが、固有空間上ではほぼ同一の領域に存在していることがわかる。これに対して‘+’ は異常時の画像が投影された点であり、正常時から離れていることがわかる。図 3 に、正常時(左側)と異常時(右側)の画像例を示す。

5 問題点と今後の課題

本方式では、画像の比較によって異常検出を行っている。この方法では、画像の平均的な明るさの影響を大きく受けてしまう。これに対して、輝度の正規化を行ったり、微分した画像を用いたり、固有値が一番大きな固有ベクトルを用いずに固有空間を生成する方法を試してみたが、これまでのところ最適な方法は見出せていない。夜間の建物内の警備では、比較的画像の明るさは安定していると考えられるが、今後はこの問題を解決して、本方式の適用可能範囲を拡大していきたいと考えている。

また、固有空間法は原理的に画像のずれに対して弱いという問題を有しているが、移動ロボットにとってある程度の位置のずれは避けがたい。現状では、かなり粗い画像を用いているので、あまり影響を受けていないが、今後はより確実な異常検出を行うためにも画像の解像度を上げ、それともなって生じてくる画像の横ずれの問題に対しても正しく検出が行えるようにしていく必要がある。

なお、現在この異常検出システムをロボット上に実装する作業を進めており、今後は種々の環境中における自律的な異常監視実験を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 袴田 他: “自律移動型ロボットの警備分野への応用”, 第 14 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.143-144 (1996)
- [2] 村瀬 他: “2 次元照合による 3 次元物体の認識とその学習 – パラメトリック固有空間表現 –”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRU93-120, pp.31-38 (1994)
- [3] 村瀬: “古くて新しい画像認識法 – 固有空間法による画像認識 –”, 情報処理, Vol.38, No.1, pp.54-60 (1997)
- [4] S.K. Nayar, et al.: “Subspace Methods for Robot Vision”, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vo.12, No.5, pp.750-758 (1996)