

類似画像検索を応用した
ロボットナビゲーションのための環境認識手法とその評価
Evaluation of image matching based on image retrieval for robot navigation

内本友洋（未来大院） 鈴木昭二（未来大） 松原仁（未来大）

*Tomohiro Uchimoto(FUN) g3106002@fun.ac.jp

Sho'ji Suzuki(FUN)

Hitoshi Matsubara(FUN)

概要

The purpose of this research is development of a navigation method using vision sensor for leg type robots. In conventional methods, exact matching of features in captured images is required to get information from the vision sensor. However, it becomes difficult if the captured image is not stable because of vibration caused by robot's motion. We proposed a robust image matching method for robots based on image retrieval technologies. In this paper, we show experimental results and evaluate the proposed method.

1 はじめに

ロボットが実環境下で自律的な行動を行うためには、ナビゲーション機能が重要であり、その実現には、ロボットが現在位置を認識する自己位置同定機能が必要である。自己位置同定のための情報取得には、赤外線センサや超音波センサなどに加え、コンピュータの発達に伴い視覚センサも多く利用されるようになった。従来の視覚センサを用いた自己位置同定に関する研究では、カメラが水平な状態で撮影された画像を用いる場合が多く、実験用実機にも車輪式のロボットが使用されている [1]-[4]。このため、脚式移動ロボットや不整地移動など取得画像に大きなぶれが生じる場合には、従来の手法を適用しづらい。

この問題に対応するため、筆者らは類似画像検索技術を応用し、画像からぶれに強い特徴量を抽出して画像間の類似度を計算する画像比較手法を提案した [5]。本稿では、提案手法の有効性を確認する実験について述べる。

2 類似度に基づく画像比較手法

類似画像検索とは、指定された画像と類似した特徴を持つ画像をデータベースから検索する技術である。これを応用することで、ロボットが記憶している画像と現在取得した画像とを比較し、その類似度に基づいて現在位置の判定を行う自己位置同定が可能になる。特に、画像から抽出する特徴量としてぶれの影響を受けにくいものを用いることで、ぶれの小さな画像を取得しづらい場合にも適用可能となる。

本提案手法では、画像中から抽出するぶれに影響されにくい特徴量として、画像中のエッジの出現量（エッジ特徴量）と画像中の壁や床などといったオブジェクトの相対的配置（レイアウト特徴量）を主として用いる。

まず、取得画像を高周波帯と低周波帯に分離し、高周波帯から差分画像を、低周波帯から低解像度画像を生成する。生成した差分画像から変化量の大きい部分を取り出すことで画像のエッジ特徴量を得る。また、低解像度画像の隣接する画素の輝度値が近いものをひとまとまりとして小領域に分割し、各

小領域の重心間の距離および方向を求め、これをレイアウト特徴量とする。このとき、エッジ特徴量は画像中に現れる雑多な特徴の複雑さを表し、逆に、レイアウト特徴量はノイズや細かい特徴を取り除いた画像の大まかな構造を表している。

それぞれの画像ごとに特徴量同士の差をとり、それらを合計して画像間の相違度を計算する。相違度を0から1の間に正規化し、その値を1.0から引いて画像間の類似度とする。

以下に類似度の計算式を示す。

$$Layout = \begin{aligned} & 11 \left| \frac{g_{ref} - g_{cap}}{length_{max}} \right| + 12 \left| \frac{v_{ref} - v_{cap}}{value_{max}} \right| \\ & + 13 \left| \frac{n_{ref} - n_{cap}}{pixels_{max}} \right| + 14 |Angle_{ref} - Angle_{cap}| \end{aligned} \quad (1)$$

$$Edge = \begin{aligned} & 21 \left| \frac{edge_{ref} - edge_{cap}}{pixels_{max}} \right|_{horizontal} \\ & + 22 \left| \frac{edge_{ref} - edge_{cap}}{pixels_{max}} \right|_{vertical} \\ & + 23 \left| \frac{edge_{ref} - edge_{cap}}{pixels_{max}} \right|_{slant} \end{aligned} \quad (2)$$

$$degree_of_similarity = 1.0 - (31Layout + 32Edge) \quad (3)$$

g : the_center_of_mass

v : average_of_value_pixels

n : number_of_pixels

: weighting_value

$AngleX$: deferential_angle_to_other_regions

$pixels$: number_of_all_pixels_in_image

$value$: max_gradation_sequence

3 ぶれに対するロバスト性の検証

画像のぶれは、前後・左右・上下3方向の水平移動(図1)と、pan, tilt, rollの3方向の回転(図

2)の6自由度のカメラの変位によって発生する。提案手法で用いたエッジ特徴量とレイアウト特徴量が、実際に画像のぶれに対してロバスト性を持つかどうかを検証する。

基準となる水平画像と変位を加えた画像を含む画像群を用意し、それらから抽出される各特徴量の値の分散を求め、そのばらつきを確認する。ばらつきが十分に小さければ、水平画像と変位画像とで抽出される特徴量に大きな差が無いといえる。変位画像は、水平画像を基準として、10cm刻みで前後に50cmずつ、左右に50cmずつ、1cm刻みで上下に5cmずつの平行移動を加えたもの。また5度刻み±50度のpan, ±25度のtilt, 10度刻み±50度のrollの回転を加えたものをそれぞれ用意した。

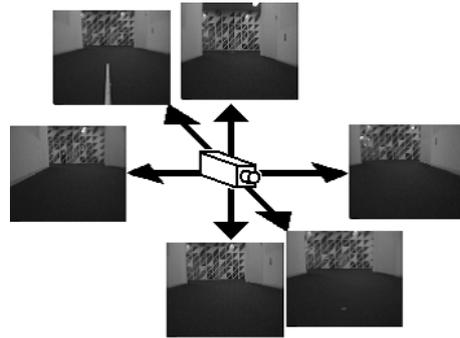


図1 degree of freedom of horizontal

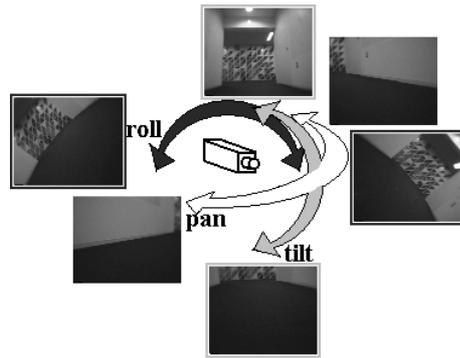


図2 degree of freedom of rotational

実際に公立はこだて未来大学研究棟内の廊下で撮影した画像群からエッジ特徴量、レイアウト特徴量を抽出し、各変位方向ごとにその値の分散と平均を求めた値を下表に示す。表1がエッジ特徴量、表2

がレイアウト特徴量についての結果である。

表 1, 2 とともに, いずれの方向に対しても平均に比べて分散が十分に小さくなっていることがわかる。これにより, 提案手法で使用したエッジ特徴量およびレイアウト特徴量は, 画像に変位が加えられてもその値がほとんど変化しないことが確認できた。よって, これらの特徴量は画像のぶれに対してロバスト性を持つと考えられる。

表 1 result of extract edge value

	分散	平均
前後方向	0.004852652	1.487818889
左右方向	0.002227021	1.589991818
上下方向	0.004623919	1.710246364
pan	0.074959611	1.087462286
roll	0.024956203	1.604569167
tilt	0.566080695	1.513307

表 2 result of extract layout value

	分散	平均
前後方向	0.011305003	0.766461333
左右方向	0.023360932	0.692249909
上下方向	0.019909069	0.858260545
pan	0.037434097	0.787424667
roll	0.013158835	0.842886083
tilt	0.021972465	0.874343167

4 類似度算出実験

前述の手法の自己位置同定手法としての有効性を確認するため, ある画像の撮影地点を画像類似度を基にして特定できるかという実験を行った。

4.1 実験手法

公立はこだて未来大学研究棟内の廊下を 1m 間隔で撮影した画像群に対し, 図 3 に示す基準画像に対する類似度計算を行い, 類似度が 0.75 以上の高類似度を示す画像撮影地点を確認した。図 4 に検索対象となる画像群の一部を示す。また図 5 に実験環境

の概観と画像群の撮影地点, 基準画像の撮影地点を示す。小さな矢印が画像群撮影地点, その指す方向がカメラの撮影方向を示す。また×印と同色の矢印が, 各基準画像撮影地点とその撮影方向を示す。

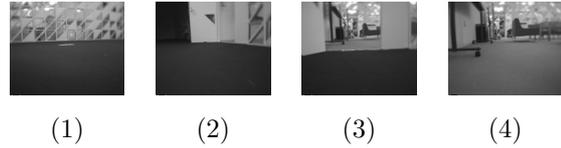


図 3 reference images

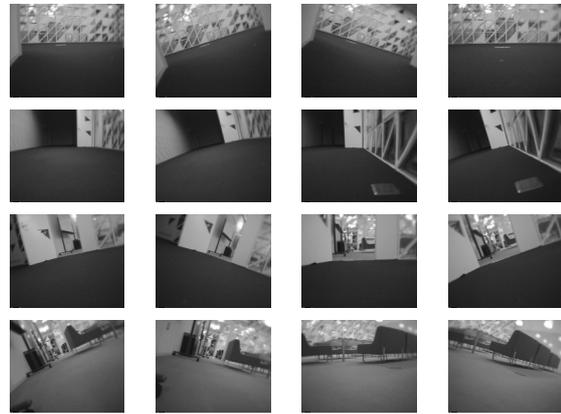


図 4 example of targets images

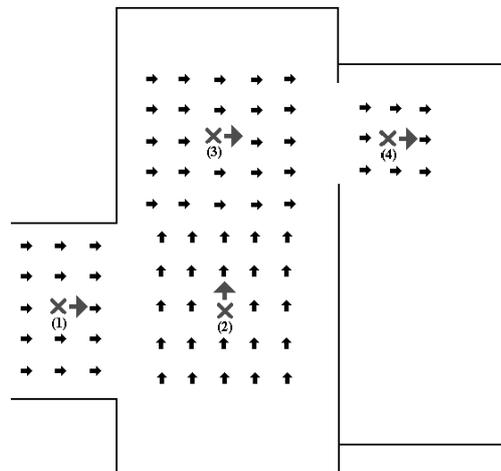


図 5 location of taken images

4.2 実験結果

各基準画像に対して 0.75 以上の高類似度を示した地点を図 6 に示す。ただし、基準画像(1)に対して高類似度を示した点を (1)、(2) に対する点を (2)、(3) に対する点を (3)、(4) に対する点を (4) で示す。

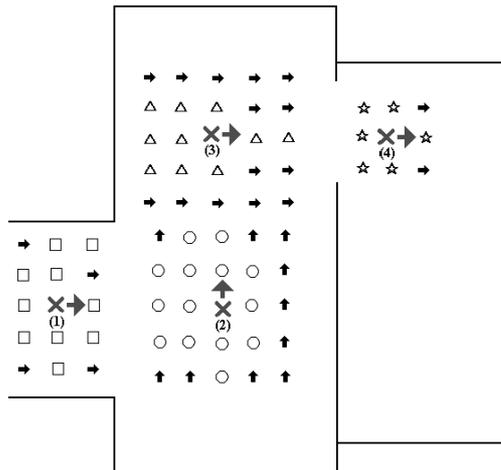


図 6 result of calculated similarity

各基準画像撮影地点周辺において高類似度が示されること、またある基準画像に対して高い類似度を示す点がある基準画像周辺に限定されることから、本提案手法を用いて取得画像の撮影地点を特定することが可能であるといえる。よって、これを応用することで類似度を基にした自己位置同定が可能であると考えられる。

5 まとめ

本研究では、移動の際の機体の振動が、取得画像のぶれとして現れ、画像認識の障害となる課題の解決のために、画像のぶれに対して影響を受けにくい特徴量として、レイアウト特徴量とエッジ特徴量を各画像から抽出し、画像間でこれらの特徴量を比較する手法を提案した。

今後の研究における課題として、まずは本研究で提案された機能を実際のロボット実機に搭載し、実環境での実験を行う。この実験においては、本研究での提案手法によって得られた類似度をどのように扱えば適切なナビゲーションを行えるかが課題とな

る。環境中のどのような地点を知識として保存しておけばよいか、環境全体を認識するのにどの程度の量の画像が必要か、類似度の変化に対してどのようなタイミングで行動の切り替えを行うのか、もし位置同定に失敗し自己位置を見失った場合の復帰はどうするのかなどを検討する必要がある。

参考文献

- [1] Stephen Se, David Lowe, Jim Little: "Local and Global Localization for Mobile Robots using Visual Landmarks", 2001 Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2001, pp.414-420, 2001.
- [2] 松本吉央, 稲葉雅幸, 井上博允: "視覚画像列を利用した経路表現に基づくナビゲーション", 日本ロボット学会誌, vol.15, no.2, pp.74-80, 1997.
- [3] J. Wolf, W. Burgard, H. Burkhardt: "Using an Image Retrieval System for Vision-based Mobile Robot Localization", In Proc. of the International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR), CIVR 2002, LNCS 2383, pp.108-119, 2002.
- [4] Stephen Se, David Lowe, Jim Little: "Mobile Robot Localization and Mapping with Uncertainty using Scale-Invariant Visual Landmarks", International Journal of Robotics Research, Vol.21, no.8, pp.735-758, 2002.
- [5] 内本友洋, 鈴木昭二: "脚式ロボットのナビゲーションのための類似画像検索を応用した環境認識", 第 23 回日本ロボット学会学術講演会, 1B32, 2005.