

レーザリフレクタンス画像と Bag-of-features を用いた レーザ搭載移動ロボットの3次元位置同定

Laser-based global positioning using reflectance images and Bag-of-features

正 倉爪 亮 (九大) ○ 張 棟翔 (九大)
岩下友美 (九大) 正 長谷川勉 (九大)

Ryo Kurazume, Kyushu University, kurazume@ait.kyushu-u.ac.jp
DongXiang Zhang, Kyushu University, zhang@irvs.is.kyushu-u.ac.jp
Yumi Iwashita, Kyushu University, yumi@ait.kyushu-u.ac.jp
Tsutomu Hasegawa, Kyushu University, hasegawa@ait.kyushu-u.ac.jp

This paper proposes a global positioning method for a mobile robot which utilizes panoramic reflectance images and Bag-of-features technique. The reflectance image is acquired by a laser ranger finder (LRF) as a side product of distance information. Bag-of-features technique is a promising technique for generic object recognition or image categorization. We combine these techniques to recognize the place where the robot visited previously from the current laser measurement. We demonstrate the validity of the proposed technique through two preliminary indoor experiments.

Key Words: Localization, Bag of words, SLAM, Laser ranger finder

1. はじめに

移動ロボットにとって大域的な位置同定 (Global positioning) は基本的かつ重要な問題である。近年盛んに研究されているSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) においても、構築された地図から大域的な位置を新たに同定するのは、依然としてチャレンジングな問題である。ロボットの位置同定にはカメラやレーザレンジファインダ、超音波などが用いられるが、なかでも今後特にレーザレンジファインダを用いた位置同定は、従来の2次元データに対するスキャンマッチングをベースとした2D位置同定から、3次元データを用いた3D位置同定へ拡張されるものと予想される。我々もこれまで、移動ロボットの高精度な位置同定を実現する協調ポジショニング法 (Cooperative Positioning System, CPS) とレーザ計測システムを組み合わせた、3次元環境地図作成ロボットシステムを開発している[1]。しかし何らかの要因によりロボットの自己位置を新たに計測する必要が生じた場合や、新たなロボットが導入された場合などは、得られた3次元の環境地図を用いて広域3次元地図内の大域的な位置を決定する必要がある。

一般的な3次元データを用いた3D位置同定では、あらかじめ獲得され保存された広域な3次元環境構造モデル (環境マップ) と、移動ロボットが移動中に獲得した部分的な3次元環境構造モデル (部分マップ) を比較し、ICP法などを用いて両者が最も一致する環境マップ内の部分マップの位置を繰り返し探索する手法が一般的である。しかし3次元データを用いたICPは計算コストが高く、また正確に真値へ収束するには、探索の初期位置がある程度真値に近くなければならない。

さて、レーザレンジファインダには、レーザ光源から投射されたレーザ光が、物体へ反射し再びセンサへ戻るまでの伝達時間から距離を測定するTime-of-Flight方式がよく用いられるが、この際、距離データとともにレーザ光の反射強度 (reflectance値) も同時に得られる[2]。このリフレクタンス値は、カメラで撮影した画像と同様に、対象表面の反射率やレーザの入射角度に応じて強度が変化するので、各測定点のリフレクタンス値を並べて表示すると、写真と非常に似た画像 (リフレクタンス画像) が得られる。そこで、環境マップ

構築時に各測定毎にリフレクタンス画像を同時に計測、保存し、位置同定のための部分マップの計測時に得られるリフレクタンス画像と比較することで、環境マップ中の部分マップの位置の候補をある程度絞ることができる。本手法の特徴は、リフレクタンス画像は距離データの取得の副産物として得られ、リフレクタンス画像取得のための新たな計測やカメラなどが不要であること、環境の明るさに無関係に安定して画像が得られることなどである。

本稿では、一般物体認識で用いられるBag-of-featuresの手法を用いて、環境マップ計測時のリフレクタンス画像と部分マップ計測時のリフレクタンス画像を比較し、部分マップ計測位置の大まかな推定値を得る手法を提案する。

2. 提案手法

これまでに構築したレーザレンジファインダを用いた3次元環境地図計測ロボットシステムを図1に示す。本システムは親1台と子2台の3台のロボットからなり、親ロボットに搭載した2Dレーザレンジファインダは、100度の範囲で0.5度毎に2次元スリット状の距離データおよび距離データ毎のリフレクタンス値を得ることができる。このレーザを搭載した本体上部の回転テーブルを垂直軸周りにレーザスキャンしながら回転させることで、360度のパノラマ状の距離データおよびリフレクタンス画像を37.8秒で同時に得ることができる。

一例として、異なる2か所から撮影されたリフレクタンス画像を図2に示す。図2(a)は室内、図2(c)は廊下の画像であり、リフレクタンス値が大きいものほど明るく表示している。また原画像ではヒストグラムに偏りが大きいことから、コントラストを調整した画像を図2(b), (d)に示す。なお画像サイズは200x721である。

このリフレクタンス画像を環境内の多くの位置で計測し、リフレクタンス画像のデータベースを構築する。提案手法では、このデータベース構築に、一般物体認識で盛んに研究されているBag-of-features法を用いる。

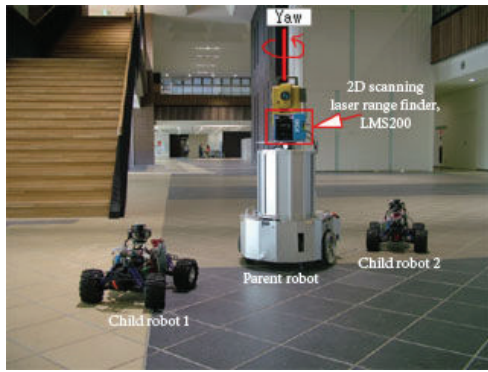


Fig. 1 CPS-V

具体的なデータベース作成手順は以下のようになる。

1. 環境内のN箇所から距離データとリフレクタンス画像を得る。
2. それぞれのリフレクタンス画像で、SURF (Speeded-Up Robust Features [3])、SIFT (Scale Invariant Feature Transform [4]) などの特徴量を計算する。ただし後述の実験ではSIFT特徴量を用いた。
3. すべてのリフレクタンス画像で計算されたSIFT特徴量を集め、特徴空間でk-means法によりクラスタリングする。ただし実験ではk=200とした。
4. リフレクタンス画像毎に、得られたクラスタ毎のSIFT特徴量の頻度分布を求める。
5. 得られた頻度分布を正規化し、各リフレクタンス画像の特徴量とする。

次に位置同定時の処理は以下のようになる。

1. ある位置で距離データとリフレクタンス画像を得る。
2. リフレクタンス画像から上記4と同様の処理を行い、得られたクラスタリング結果に対するSIFT特徴量の頻度分布を求める。
3. データベース内のリフレクタンス画像の特徴量と比較し、もっとも類似したM個の画像を選択する。
4. それらのM個の画像が得られた位置を、同定位置の候補とする。

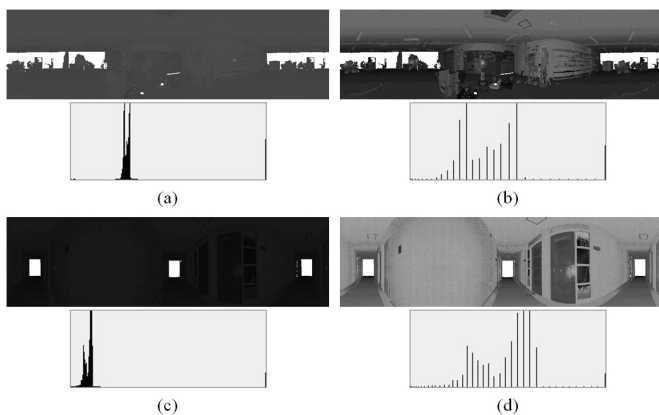


Fig. 2 Original images and their histograms

3. 位置同定実験結果

実際に図1のCPS-Vを用いて実験を行った。すなわち、まず建物内でCPS-Vを移動させながら、複数箇所から距離データとリフレクタンス画像を同時に取得し、CPSにより得られる計測位置と合わせて3次元地図を構築した。また同時に2章で示したBag-of-featuresの手法によりデータベースを構築し

た。次に新たにCPS-Vを構築した3次元モデル内の任意の位置に置き、同様に距離データとリフレクタンス画像を得た。その後、2章で示した方法により、データベース内で最も類似したリフレクタンス画像を求めた。

実験を行った2種類の環境を図3、図4に示す。図3は図2(b)で示した室内環境であり、図4は図2(d)で示した廊下環境である。

まず図3に示す環境では18か所で計測を行い、データベースを構築した。次にこれらの位置のうち、17か所で再度同様の計測を行い、同一の場所で計測された画像がデータベースから正しく選択されるか調べた。すなわち本実験ではM=1である。

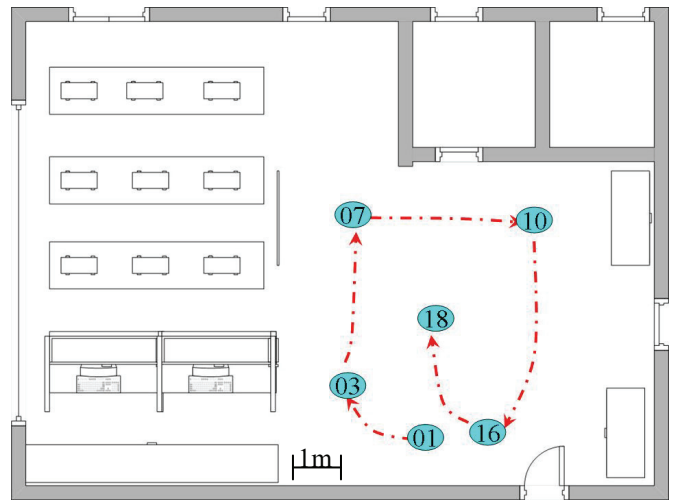


Fig. 3 Lab room

実験結果を表1に示す。17枚中15枚が正しく認識され、正答率は88.2%であった。

# of images	# of correctness	Correctness
17	15	88.2 %

Table 1 Correctness of experiment 1 (M=1)

また図4に示す環境では、55か所で計測を行い、データベースを構築した。次にこれらの位置とは異なる20か所で新たに計測を行い、最も近い位置から撮影されたリフレクタンス画像がデータベースから正しく選択されるか調べた。

実験結果を表2に示す。M=3のとき、すなわち最も類似した3枚の中に正しい画像(最も近い位置から撮影した画像)が含まれる割合は、20枚中13枚、正答率は65%であった。正答率が低下した原因として、廊下環境は特徴に乏しく、似通ったリフレクタンス画像が得られたことが考えられる。なお、赤線はデータベースを作成したロボットの移動軌跡、青丸が計測位置、青線はテストのためにロボットが移動した軌跡、緑丸が計測位置である。

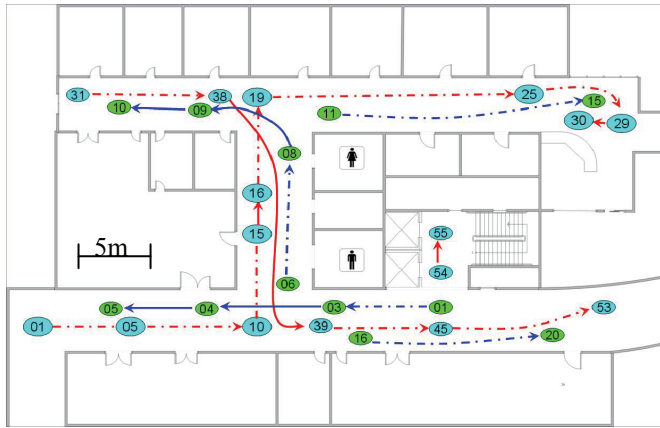


Fig. 4 Map of corridor

# of images	# of correctness	Correctness
20	13	65 %

Table 2 Correctness of experiment 2 (M=3)

4. 結論

本論文では、レーザリフレクタンス画像と Bag-of-features を用いたレーザ搭載移動ロボットの 3 次元位置同定手法を提案した。3 次元モデルを用いた 3 次元位置同定においても、本手法によりリフレクタンス画像を用いて大まかな位置を推定し、その後 ICP 等により正確な位置を計算することで、少ない計算量で大域的な位置同定が実現できる。今後は Markov Chain や Bayesian filtering などの統計的手法を用い、ノイズを多く含むリフレクタンス画像に対してより高精度なパノラマ画像を計測し、より高精度な位置同定の実現を目指す。

References

- [1] Ryo Kurazume, Yusuke Noda and Yukihiro Tobata, "Laser-based Geometric Modeling using Cooperative Multiple Mobile Robots," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.3200-3205, 2009.
- [2] 倉爪 亮, 西野 恒, M.D.Wheeler, 池内 克史, リフレクタンスエッジと濃淡エッジを用いたテクスチャのアラインメント, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J85-D-II, No.6, pp.1038-1046, (2002).
- [3] Bay, H., Ess, A. and Tuytelaars, T., "Speeded-Up Robust Features (SURF)," *Computer Vision and Image Understanding* 110(3), pp. 346-359, 2008.
- [4] D. Lowe, "Distinctive image feature from scale-invariant keypoint," *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, no. 2, pp. 91-110, 2004.