

動領域・静止領域の確率的マッピングを用いた動的環境の認識 —自律移動ロボットにおける自己位置推定への応用—

伊藤 明久[†] 高橋 桂太[‡] 金子 正秀[‡]

[†]電気通信大学 大学院電気通信学研究科 [‡]電気通信大学 大学院情報理工学研究科

1. はじめに

ロボットの自律移動のためには、動的環境下においても安定した地図生成と自己位置推定を行うことが求められる。すなわち、地図生成においては動物体の影響を逐次反映すると同時に、自己位置推定においては動物体を排除し、静止領域の距離情報のみを参照する必要がある。従来手法として、地図生成に占有グリッドマップを利用し、各グリッド点で時系列方向の物点の観測履歴を確率として保持する手法が提案されている[1]。しかし、この手法では、静止領域と常に動いている動物体は区別できるもの、動いたり止まったりしている動物体の取り扱いに問題がある。本稿では、各グリッド点における物点の観測履歴に加えて、その物点がどのような属性を持つ物体に属するかを確率的に記述するステップを導入することで上記の問題を軽減する。さらに、動物体の影響を考慮してグローバルな地図を更新するだけでなく、動物体の運動予測モデルも同時に考慮することで、自己位置推定の頑健性を向上する手法を提案する。

2. 動領域・静止領域の確率的マッピング

動領域・静止領域の確率的マッピングによる地図生成手法について述べる。提案手法の特徴は、物点が属する物体の動きやすさを記述していることである。

まず、各フレームにおける距離情報からローカルマップを作成する。ロボット周囲の距離情報を取得し、 $x-z$ 平面にプロットする。このとき、 $x-z$ 平面をグリッドに分割し、プロット位置を中心とする2次元ガウス分布モデルにより、各グリッドにおける障害物の存在確率 $P(O)$ を求める。同時に、その物点が属する物体が動く確率 $P(M)$ を求める。 $P(M)$ は本来、人、椅子、壁など物によって異なる。 $P(M)$ を求める処理は物体認識に類するものであり困難なため、本稿では周囲物体を全て未知として $P(M)$ は0.5とする。

次にローカルマップを時系列方向で統合することで動領域・静止領域として確率的にマッピングし、グローバルマップを更新する。あるグリッド点が静的領域に属さない(動領域あるいは空き領域)確率を $P(E)$ とする。動領域確率マップは、式(1)より更新する。この更新はグリッド毎に独立に行われる。更新式は以下のように定めた。

$$P_{t+1}(E) = \frac{P_t(M)P_t(E)}{P_t(M)P_t(E) + P_t(O)P_t(\bar{E})} \quad (1)$$

ここで、 t は時刻を表す。 $P_t(E)$ は事前確率で、 $P_0(E)$ は0.5とする。また、 $P_t(\bar{E}) = 1 - P_t(E)$ である。

Recognition of Dynamically Changing Environment using Probabilistic Mapping of Dynamic and Static Regions
- Localization of Autonomous Mobile Robot -
Akihisa ITO, Keita TAKAHASHI, Masahide KANEKO {ito, takahashi, kaneko}@radish.ee.ucc.ac.jp
The University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofushi, Tokyo 182-8585, Japan

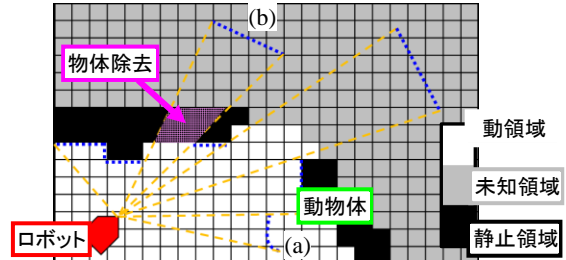


図1 周囲環境の変化の検出

3. 周囲環境の変化の検出

グローバルマップとローカルマップを比較することにより、ロボット周囲の環境の変化として動物体及び物体の除去を検出する。

グローバルマップ上のあるグリッドにおける $P(E)$ と、ローカルマップ上の対応するグリッドにおける $P(O)$ より式(2)を用いて環境の変化量 D を求める。

$$D = P(E) + P(O) - 1 \quad (2)$$

式(2)より、動領域であり、かつ物点が観測されたとき D は1に近い値をとる(図1(a))ため、動物体として明示的に検出できる。逆に静止領域、あるいは物点が観測されないとき D は小さい値をとる。特に、静止領域から物体が除去された場合に D は-1に近い値をとる(図1(b))ので、物体の除去を明示的に検出できる。

動物体を追跡するため、 D を尤度分布として SIR/MCMC パーティクルフィルタ [2] を用いる。SIR/MCMC パーティクルフィルタは、MCMC パーティクルフィルタによって観測領域全体を粗く探索し、尤度の高い領域に対して SIR パーティクルフィルタを用いて追跡することで、複数の追跡対象を同時に追跡することが可能である。

4. 自己位置推定

地図生成及び周囲環境の認識の結果を用いて動的環境に対応した自己位置推定を行う。自己位置推定は、静止領域にあると判断されたグローバルマップ上の点を参照するモデル点群とする。また、モデル点群にマッチングするサンプル点群に対して、動物体の運動予測モデルを用いることで不適切な点を除去する処理を行う。

ロボットは ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズム [3] を用いて自己位置推定を行う。ICP アルゴリズムは、複数の距離データ間で重複して観測された部分を利用して、繰り返し計算により誤差関数を最小化することで解を求める手法である。まず、環境のモデルとして与えられるモデル点群と、観測によって得られるサンプル点群の2つの点群について、モデル点群に対してサンプル点群で最も近い点を対応点とする。そして、各対応点間の距離の2乗和が最小となる移動パラメータを求める。こ

の移動パラメータがモデル点群とサンプル点群の位置関係であり、ロボットが移動した距離である。

モデル点群は、グローバルマップ上で静止領域として判定されるグリッドの座標点を用いる。ロボットが移動することで新たに観測される領域に対しては、グローバルマップを更新することによって、各グリッドが動領域または静止領域として判定される。静止領域として判定されるグリッドの座標点をモデル点群に追加することで、新たな観測領域にも対応するモデル点群を生成できる。また、物体の除去が検出されたグリッドの座標点をモデル点群から削除することで、動的に変化する環境に対応することができる。

サンプル点群は、ローカルマップで物体が存在するグリッドの座標点を用いる。ここで、パーティクルフィルタによって追跡している動物体がある場合には、運動予測モデルによるリサンプリングでパーティクルが散布されたグリッドを、サンプル点群から削除する。運動予測モデルは位置と速度を考慮し、次状態において動物体が存在する可能性があるグリッドを求める。対象となるグリッド上に存在するサンプル点群を削除することで動物体に対する観測点を除去することができる。

5. 実験結果

車輪型ロボットとして MobileRobots 社製の PIONEER 3-DX を用いた。このロボットでは車輪オドメトリを取得できる。距離情報はロボットに搭載されたレーザレンジファインダ (LRF) によって取得した。LRF は北陽電機社製の UTM-30LX を用いた。LRF は床面高さ 30[cm] の $x-z$ 平面を走査するように設置し、角度ステップ 0.25 度で、ロボットの前方向 270 度を観測できるようにした。

動的環境下で移動ロボットが提案手法によって自己位置推定を行った結果例を図 2 に示す。図 2 は屋内を上から見た状態で、白色は動領域 (空き領域も含む)、黒色は静止領域として判定したグリッドである。ロボットが推定した自己位置を赤色の点、その軌跡を水色で示す。また、動物体を検出した領域を緑色、物体の除去を検出した領域を紫色で示す。

ロボットは図 2 (a) の赤色で示す座標を出発点として移動を開始した。図 2 (b) において、ロボットが室内を一周した後には歩行者がドアを開けて部屋の外に移動し、ロボットは歩行者に続いて廊下に出た。ドアが開けられたことで、ロボットはドアの領域から物体が除去されたことを検出し、部屋の外についてもマッピングを開始した。図 2 (c) において、ロボットは 2 名の対向歩行者を検出し、追跡することで歩行者に影響されることなく自己位置推定を行った。図 2 (d) において、往路では閉じていたドアが復路では開いていた。ロボットは既に生成していた地図と整合性を保ったまま変化した領域の地図を生成した。図 2 (e) において、ロボットは出発した部屋に帰還した。

図 2 と同じ距離情報を用いて占有グリッドマップによって自己位置推定を行った結果例を図 3 に示す。歩行者及びドアの開閉による自己位置推定の誤差で、出発した部屋と隣の部屋が繋がってしまっていることが分かる。

6. おわりに

本稿では、距離情報から観測領域を動領域・静止領域として確率的にマッピングし、このマップを利用して自

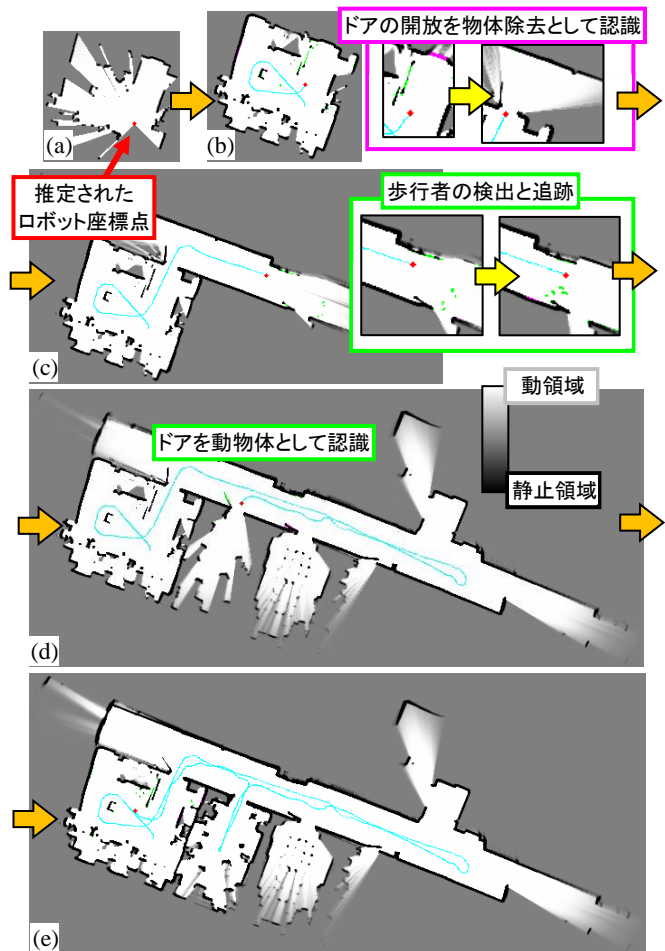


図 2 提案手法による自己位置推定結果例

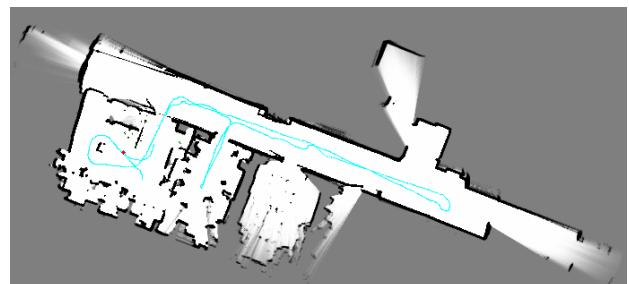


図 3 占有グリッドマップによる自己位置推定結果例

己位置推定に有効なサンプル点群を選出することで、動的環境下においても頑健に自己位置を推定できる手法について述べた。今後の課題としては、動物体の追跡を基に、ロボットが周囲の物体に対して衝突を回避できるようにすることが挙げられる。

参考文献

- [1] T.-D. Vu, et al., "Online localization and mapping with moving object tracking in dynamic outdoor environments," Proceedings of IEEE on Intelligent Vehicles Symposium, pp.190-195, 2007.
- [2] 倉爪ら, "SIR/MCMC パーティクルフィルタを用いた分散カメラとレーザによる複数移動体の同時追跡," 日本ロボット学会, vol. 28, no. 1, pp. 65-76, 2010.
- [3] P. J. Besl and N. D. McKay, "A method for registration of 3-D shapes," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 2, pp. 239-256, 1992.