

動的環境における動領域・静止領域の認識に基づく 自律移動ロボットの自己位置推定

伊藤 明久 今井 順一 金子 正秀

電気通信大学 大学院電気通信学研究科

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自己位置推定を行うことが求められる。自己位置推定の手法として、レーザレンジファインダ (LRF) を用いてロボット周囲の距離情報を取得し、距離情報から得られる特徴量に基づいて推定する方法がある [1]。しかし、動的な環境では距離情報に動物体までの距離も含まれるため、全ての距離情報を利用すると誤った推定を行ってしまう可能性がある。また、オドメトリと LRF によってロボット周囲にある物体との相対速度から動物体を検出し、静止物体と区別することで自己位置推定を行う手法がある [2]。相対移動量を求めるために、正確なオドメトリ情報と観測領域において一定時間に渡り移動中の物体を観測する必要があるが、オドメトリは車輪のスリップ等で誤差が蓄積するために動物体を正確に検出できなくなる可能性がある。

本論文では、ロボット周囲の距離情報から観測領域が動的か静的かの度合を確率的にマッピングする。マップから静止領域に属する距離情報を取得し、動物体までの距離情報を排除することで頑健な自己位置推定を行うことが可能となる。

2. 動領域・静止領域の確率的マッピング

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。LRF を用いて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、観測点を中心とする 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 $P(M)$ を求める。

次にローカルマップを時系列方向で統合し、動領域・静止領域として確率的にマッピングする。領域が動的である事象を E 、あるグリッドが動的である確率を $P(E)$ で表現し、動領域確率マップを作成する。動領域確率マップは、式(1)の $P(E|M)$ を計算することで更新する。この更新はグリッド毎に独立に行われる。

$$P(E|M) = \frac{D_{th}P(E)}{D_{th}P(E) + P(M)P(\bar{E})} \quad (1)$$

ここで、 D_{th} は動領域と静止領域を記述する確率の境界を表す閾値であり、0.5 に設定している。また、 $P(E)$ は事前確率で、初期値は D_{th} である。式(1)より、 $P(M)$ が D_{th}

Localization of Autonomous Mobile Robot in Dynamically Changing Environment Based on Recognition of Dynamic and Static Regions

Akihisa ITO(ito@radish.ee.ucc.ac.jp)

Jun-ichi IMAI(imai@ee.ucc.ac.jp)

Masahide KANEKO(kaneko@ee.ucc.ac.jp)

Graduate School of Electro-Communications, The University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofushi, Tokyo 182-8585, Japan

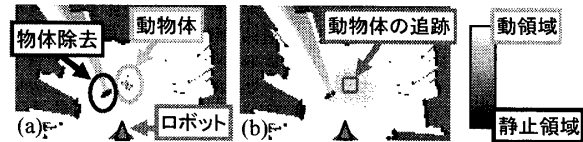


図1 動物体および物体除去の検出結果例

未満のとき静止領域方向に更新され、 D_{th} 以上のとき動領域方向に更新される。

3. 周囲環境の変化の検出

動領域・静止領域の確率的マップから、 $P(M)$ と $P(E|M)$ 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および物体の除去を検出する。

動物体については、動領域・静止領域の確率的マップ上で動領域として判定されるグリッドにおいて、ローカルマップ上の対応するグリッドに物体が存在するとき、該当グリッドに動物体が存在するものとして検出することができる。動物体が存在すると判定されたグリッドに対して、パーティクルフィルタ [3] を用いて検出された動物体を追跡する。

また、物体の除去については、動領域・静止領域の確率的マップ上で静止領域として判定されるグリッドにおいて、ローカルマップ上の対応するグリッドに物体が存在しないとき、該当グリッドから物体が除去されたものとして検出する。

図1に、ロボットに搭載された LRF から得られる距離情報によって検出した動物体および物体除去の結果例を示す。LRF は床面高さ 30[cm] の $x-z$ 平面を走査するように設置しており、角度ステップ 0.25 度で、ロボットの前 270 度を観測する。図1は室内を上方から見た状態である。図1(a)において、緑色は動物体として検出した領域、青色は物体の除去を検出した領域である。また、図1(b)に、図1(a)で検出された動物体を追跡した様子を赤棒で示す。黄色は追跡しているパーティクルフィルタにおける各パーティクルの散布状況を示している。

4. 自己位置推定に用いる観測点の選択

ロボットが自己位置を推定するために ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズム [4] を用いる。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、動領域・静止領域の確率的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、動領域・静止領域の確率的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。パーティクルが散布されるグリッドは、次状態において動物体が存在するグリッドである可能性があるため、サンプル点群から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

図 2 に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示す。図 2 は図 1 と同様にして、ロボットに搭載された LRF から得られる距離情報によって作成された動領域・静止領域の確率的マップ

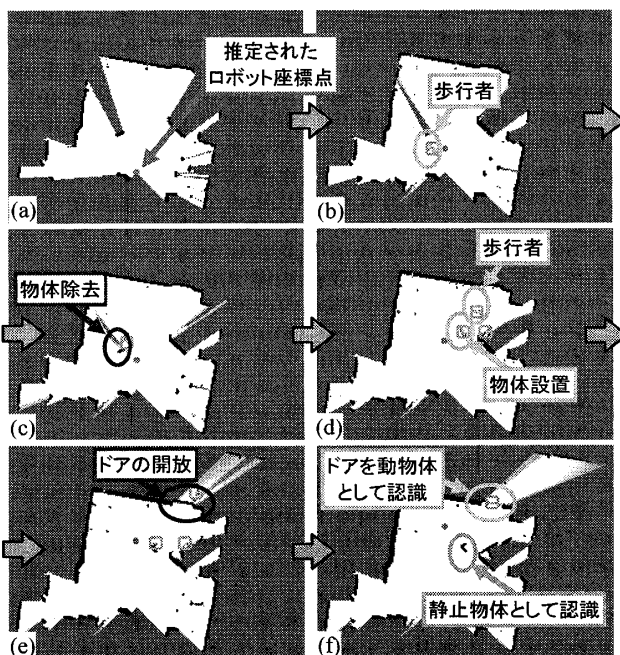


図 2 提案手法による自己位置推定結果例

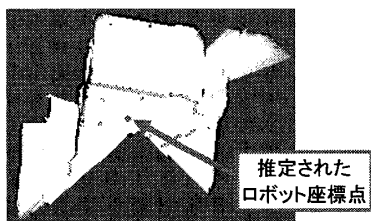


図 3 フレーム間対応点による自己位置推定結果例

である。ロボットが推定した自己位置を赤色の点で示す。また、物体の除去を検出した領域を青色、動物体として検出した領域を緑色で示し、検出した動物体の追跡結果を橙色の枠で示す。

ロボットは図 2 (a)の赤色で示す座標を出発点として、30[cm/s]の速さで移動した。図 2 (b)において、歩行者がロボットの左側 40[cm]を通過した。ロボットは歩行者の領域を検出し、追跡を開始した。図 2 (c)において、設置されていた物体が歩行者によって除去された。ロボットは物体の除去を検出し、物体によって隠れていた領域についても動領域・静止領域の確率的マップを更新した。図 2 (d)において、歩行者によって除去された物体が別の場所に設置された。物体は動領域に設置されたため、ロボットは動物体として検出し、追跡を行った。図 2 (e)において、歩行者がドアを開けて部屋の外に移動した。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 (f)において、歩行者が開けたドアが閉じた。ドアが開放されている間に、ドアが閉じていたときに観測されていた領域が動領域として更新され、再びドアが閉じるとドアを動物体として認識した。また、歩行者によって設置された物体は、長時間に渡って同じ位置で観測されたため、静止領域として更新された。

図 3 に、図 2 と同じ環境において直前フレームの観測点をモデル点群とし、現フレームにおける観測点をサンプル点群として ICP アルゴリズムによって自己位置推定を行った結果例を示す。図 3 は図 2 (f)と同じフレームにおける推定結果である。歩行者がロボット近傍を通過することや、物体の除去・設置に伴う観測点によって点群間で誤った対応点が発生し、自己位置を正しく推定できていないことが分かる。一方、図 2 より、提案手法によって動的環境下においてロボットの自己位置を頑健に推定できていることが分かる。

6. おわりに

本論文では、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己位置推定に有効な距離情報を選出することで、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, O. Aycard, and N. Appenrodt, "Online localization and mapping with moving object tracking in dynamic outdoor environments," Proceedings of IEEE on Intelligent Vehicles Symposium, pp.190-195, 2007.
- [2] C.-C. Wang, C. Thorpe, S. Thrun, M. Hebert, and H. Durrant-Whyte, "Simultaneous localization, mapping and moving object tracking," International Journal of Robotics Research, vol. 26, no. 9, pp. 889-916, 2007.
- [3] Isard M. and Blake A., "Condensation - conditional density propagation for visual tracking," International Journal of Computer Vision, vol. 29, no. 1, pp. 5-28, 1998.
- [4] 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.