

# 環境の形状情報と溜水におけるバイナリ属性を考慮したパーティクルフィルタによる移動ロボットの自己位置推定

## Localization of Mobile Robot by Particle Filter Considering Shape Information of Environment and Binary Attributes in Water Puddle

○学 田所 功 (中央大学) 学 片岡 良介 (中央大学)  
学 鈴木 龍紀 (中央大学) 正 池 勇勳 (北陸先端大学)  
正 梅田 和昇 (中央大学)

Isao TADOKORO, Chuo University, tadokoro@sensor.mech.chuo-u.ac.jp  
Ryosuke KATAOKA, Chuo University  
Ryuki SUZUKI, Chuo University  
Yonghoon JI, JAIST  
Kazunori UMEDA, Chuo University

In this paper, we propose a method to estimate robot pose accurately by considering environmental features for the particle filter. Particle filters have been widely used for pose estimation of mobile robots. However, the accuracy of the self-positioning estimation is degraded in the environment where the shape features are scarce. Therefore, a novel likelihood function is designed by taking into account the environmental features for the particle filter. We improve the accuracy of the pose estimation by fusing the likelihood of the shape information and the likelihood of the binary attribute information in the water puddle for the particle filter.

**Key Words:** Mobile Robot, Localization, Environmental Feature

### 1. 序論

2011年3月11日の東日本大震災で福島第一原子力発電所は放射性物質が漏れ出し、人が立ち入ることが困難になった。そこで、人の代わりにロボットによる探査や廃炉活動が注目されている。移動ロボットの運用において、ロボットの位置を常に把握する必要があり、距離計測センサからの情報を反映したパーティクルフィルタによる自己位置推定が一般的である[1]。しかし、これらの研究は環境の形状特徴量のみを考慮しており、形状特徴量に乏しい環境においては自己位置推定が困難である。そこで距離センサ以外のセンサを用いて取得した情報を既存のパーティクルフィルタに融合して、自己位置推定の精度を向上する研究が行われている。Ohnoら[2]は、オドメトリを用いて有効なGPSの観測の判別し、GPSから得られた情報をパーティクルフィルタに反映する手法を提案している。また西村ら[3]は、赤外線カメラを用いて上空を撮影することで、障害物領域と空領域を認識し、有効な観測を判別する手法を提案している。しかし、これらの研究では屋内でGPSによる有効な観測値を継続的に入力することが困難なため、原子炉建屋内では正確な自己位置推定が行えない。また、山口ら[4]は、魚眼カメラで撮影した画像をエッジ抽出することで白線や道路標識などをランドマークとして認識し、パーティクルフィルタに反映することで自己位置推定の精度を向上する手法を提案している。しかし、原発内ではランドマークになる白線や道路標識を観測することができないので自己位置推定の向上は難しい。また、畠山ら[5]は、デブスカメラから得られる距離画像を用いた自己位置推定手法を提案している。しかし、災害後の原子炉建屋内はカメラで観測するには光が不十分である。その為、有効な情報を得ることが出来ないため自己位置推定は不可能である。

そこで、本研究では、暗所でも有効なLiDARで環境の形状情報を観測する。また、被災した原発内は溜水が多数存在することが予想されるためそれらが持つ特徴量を近赤外センサで観測しパーティクルフィルタに反映させることで、災害後の原子炉建屋内での自己位置推定の精度を向上させる手法を提案する。

### 2. 提案手法

#### 2.1 提案手法の概要

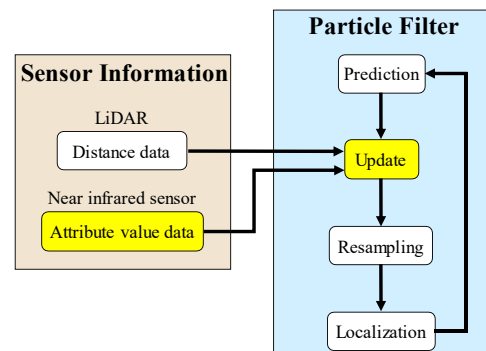


Fig. 1 Flowchart of proposed framework.

提案手法のフローチャートを図1に示す。なお、本研究では1999年にDellaertらによって提案した手法を従来手法として採用する[1]。本研究の提案手法は、尤度計算以外の計算過程は従来手法と同様のため説明を割愛する。また、ロボットはLiDARと近赤外線センサを搭載しており周囲の距離値と属性値を取得することができると仮定する。属性値は溜水を観測することで得られるものとする。

#### 2.2 観測方法

溜水を観測するために、菅原ら[6]の研究を参考にする。菅原らの研究は、原発内の汚染された水漏れや溜水など水の存在を3次元的に視覚化するためのセンシングシステムを構築しており、溜水までの距離計測を可能とした。

#### 2.3 尤度計算

本研究では、2.2節で説明したセンサシステムでの計測を前提とし、LiDARのレーザごとの計測値は距離値とバイナリ属性値が含まれていると仮定する。パーティクルフィルタにおける各パーティクルの重みづけにおいて、LiDARのレーザ1本分の距離値における尤度関数 $g(p, \mu)$ を次式に示す。

$$g(p, \mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_g^2}} \exp\left\{-\frac{(p-\mu)^2}{2\sigma_g^2}\right\} \quad (1)$$

ただし、 $\mu$ は実際に計測した距離値、 $p$ は各パーティクルの姿勢から地図情報を利用し、レイトレースにより求めた距離値である。 $\sigma_g^2$ は距離値の誤差における分散を意味する。

また、LiDARのレーザ1本分のバイナリ属性値における尤度関数 $h(q, \lambda)$ を次式に示す。

$$h(q, \lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_h^2}} \exp\left\{-\frac{(q-\lambda)^2}{2\sigma_h^2}\right\} \quad (2)$$

ただし、 $\lambda$ は実際に計測した属性値、 $q$ は各パーティクルの姿勢から地図情報を利用し求めた属性値である。 $\sigma_h^2$ は距離値の誤差における分散を意味する。

最後に次式のように、式(1)と式(2)の尤度関数をレーザごとに計算、掛け合わせるにより各パーティクルの重み(尤度) $\omega$ を算出する。

$$\omega = \sum_{j=0}^n g(p, \mu)h(q, \lambda) \quad (3)$$

ただし、 $n$ はレーザの本数を意味する。式(3)の尤度関数により求めた重み $\omega$ は、距離値と属性値がそれぞれ一致している場合に高くなる。

### 3. シミュレーション実験

提案手法により、移動ロボットが形状特徴の乏しい環境でも正確な自己位置推定が行えることを検証するために、シミュレーション実験を行った。仮想的に生成した計測データを用いて、従来手法と提案手法のそれぞれで自己位置推定を実施し、ロボット位置とのユークリッド距離を計算することで評価を行った。

#### 3.1 シミュレーション条件

図2にシミュレーションの条件を示す。シミュレーション環境内に溜水を図2の水色の部分に仮想的に設置した。溜水の属性値はバイナリである0と1にした。ここで、0は一般的な壁であり、1は溜水を意味する。また、オドメトリの変位量は、自律走行のシミュレーション結果からロボットの変位量を計算した値に-15%~5%の範囲で乱数のノイズを加えている。

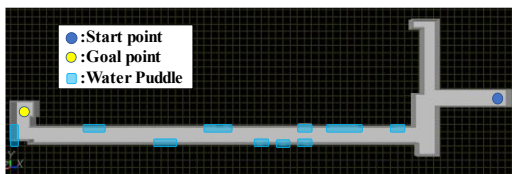


Fig. 2 Simulation map.

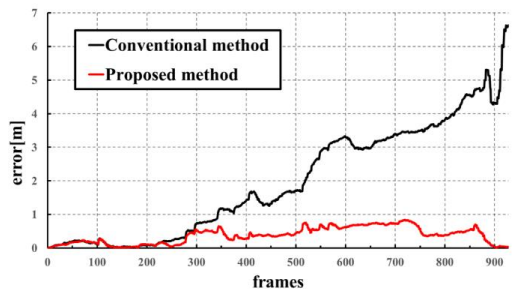


Fig. 3 Simulation results

### 3.2 シミュレーション結果

図3にシミュレーション結果を示す。縦軸はユークリッド距離の誤差を表しており、単位はmである。横軸はフレームを表しており、本シミュレーションでは928フレームで移動ロボットがゴール地点に到達した。また、黒色のグラフが従来手法によって推定された自己位置のユークリッド誤差を示し、赤色のグラフが提案手法によって推定された自己位置のユークリッド誤差を示している。

#### 3.3 考察

図3より、全体的に従来手法より提案手法の自己位置推定は誤差が小さいことが分かる。0から300フレーム間では従来手法と提案手法の誤差がほとんど変わらず誤差を抑えられる。このフレーム間での移動ロボットの走行経路周辺は形状情報が豊富であったためと考えられる。そのため、従来手法の長所である形状情報が豊富な環境においては高精度な自己位置推定を行うことが出来た。また、提案手法も従来手法の長所を生かすことが出来ているため高精度な自己位置推定を行うことが出来た。

300から928フレーム間の自律走行では、約50mの直線的な廊下を走行している。移動ロボットの走行経路周辺は形状特徴が乏しいが、属性情報は豊富である。よって、形状情報だけを考慮している従来手法では逐次的に誤差が大きくなっていく。一方、提案手法では形状情報だけでなく属性情報も考慮しているため、形状情報乏しい環境でも属性情報を取得することが出来たので誤差を抑えることが出来た。結果として、提案手法を用いて自己位置推定を行った場合、約70mの走行でも1m以内の誤差で自己位置推定を行うことができた。

## 4. 結論

本論文では、パーティクルフィルタの尤度関数において形状情報の尤度と溜水におけるバイナリ属性情報の尤度を融合することによって、自己位置推定の精度を向上させる手法を提案した。

今後展望としては、実環境での自律走行を行い、提案手法による自己位置推定の精度を検証する予定である。

## 参考文献

- [1] F. Dellaert, D. Fox, W. Burgard and S. Thrun, "Monte Carlo Localization for Mobile Robots," *In Proc. of IEEE ICRA*, pp. 1322-1328, 1999.
- [2] K. Ohno, T. Tsubouchi, B. Shigematsu and S. Yuta, "Differential GPS and Odometry-based Outdoor Navigation of a Mobile Robot," *Advanced Robotics*, vol. 18, no. 6, pp. 611-635, 2004.
- [3] 西村 英敏, 日黒 淳一, 村田 大志, 天野 嘉春, 橋詰 詰匠, 瀧口 純一, "赤外線全周カメラを用いた GPS 測位の高精度化," *GPS/GNSS シンポジウム*, vol. 2006, pp. 133-139, 2006.
- [4] 山口 一郎, 古城 直樹, 安藤 敏之, 古性 裕之, 柳 拓良, "前周囲魚眼カメラによるロバストな自己位置推定技術の開発," *自動車技術会論文集*, vol. 45, no. 3, pp. 597-602, 2014.
- [5] 島山 龍, 金井 理, 伊達 宏昭, "GPUプログラミングによるデブスカメラを用いた屋内自己位置推定の高速度化," *精密工学会学術講演会講演論文集* 2014, pp. 391-392, 2014.
- [6] 菅原 岬, 藤井 浩光, 河野 仁, 池 勇勲, "遠隔操作ロボットによる水源サーベイマップ構築のための近赤外線情報の3次元可視化," 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2019), 2019.