

レーザレンジファインダを搭載した移動ロボットの

パーティクルフィルタに基づく人物位置推定

People Localization based on Particle Filters for
Mobile Robot with Laser Range Finder

河端 悟† 東原 智幸† 渥美 雅保†
Satoru Kawabata Tomoyuki Higashihara Masayasu Atsumi

1 はじめに

近年の情報システムの発展に伴い、自律移動ロボットの普及が注目されている。これまでのロボットの作業範囲は、産業用ロボットに代表される工場などのように非常によく整備された屋内環境に限定されていた。しかし、今後のロボットの活動の場となるのは、オフィスや家庭などの人間と共存する場所であり、移動物体が多く存在する動的環境である。静的環境内で自己位置推定や地図作成、障害物回避などを行うことができるロボット[1][2]は多く研究されている。本研究では自律移動ロボットの要素技術として、複数の人物が活動する環境において、ロボットが移動しながらレーザレンジファインダの観測範囲内外にいる人物の位置推定を行う手法を提案する。

ロボットが環境の地図を事前に把握していれば、レーザレンジファインダから得られる情報で対象が移動体であるか、固定物体であるかを区別することが可能である。そこで本手法では、与えられた占有地図のもとで、環境内の人物の観測情報を抽出し、この観測に基づき、人物の位置をパーティクルフィルタにより推定する。そして、複数の人物を識別し追跡するために、人物の推定位置付近のパーティクルに人物IDを付与し、推定位置情報を人物ごとに管理する。また、この人物IDに基づき人物が観測範囲から外れた場合にも、それらの人物の位置を予測する。

2 人物位置推定システム

2.1 システム構成図

自律移動ロボットの人物位置推定システムの構成を図1に示す。本システムは、自己位置推定機構、人物位置検出機構、人物位置追跡機構、及び経路計画機構から成る。

自己位置推定では、占有地図情報と観測結果からロボット自身の位置を推定する。人物位置検出では、自己位置推定、占有地図情報、観測結果から観測範囲内に新たに登場した人物を検出し、その位置を推定するとともに人物IDを付与する。人物位置追跡では、人物IDを付与された人物の追跡を、人物が観測範囲内にいる場合には観測に基づき、そうでない場合は予測に基づき行う。経路計画で

は、環境内を探索する計画を作成する。

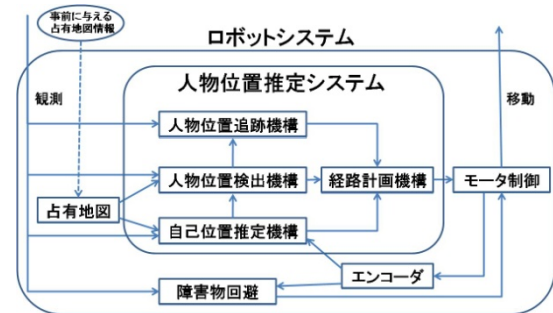


図1: システム構成図

2.2 人物位置推定

人物位置推定は、人物位置検出と人物位置追跡から成り、パーティクルフィルタを用いて行う。図2に全体の流れを示す。パーティクルの全体集合を

$$\mathcal{X}_t := \{x_t^{[1]}, x_t^{[2]}, \dots, x_t^{[M]}\}$$

とする。ここで、各パーティクル $x_t^{[m]}$ ($1 \leq m \leq M$) は、時刻 t における人物の位置と速度を表す。また、 M はパーティクルの総数である。パーティクルは、ロボットの観測範囲内に撒かれる。人物位置検出では、検出された人物を追跡するパーティクルにIDを付ける。この人物IDを付けられたパーティクルの集合を人物ID付きパーティクル集合と呼ぶ。人物ID付きパーティクル集合を \mathcal{X}_t^p ($p = 1, \dots, P$) とするとき、 $\mathcal{X}_t = \mathcal{X}_t^1 + \dots + \mathcal{X}_t^p + \mathcal{X}_t^s$ である。ここで、 P は人物の数である。また、 \mathcal{X}_t^s は新たに登場する人物を検出するためのパーティクル集合で、これを人物検出パーティクル集合と呼ぶ。

人物位置推定の概要は次のとおりである。まず、動作モデル(1)に基づき各パーティクルを移動させる。

$$y_t^{[m]} = y_{t-1}^{[m]} + v_{t-1}^{[m]} \Delta t \quad (1)$$

ここで、 $y_t^{[m]}$ は時刻 t における m 番目のパーティクルの位置、 $v_{t-1}^{[m]}$ は時刻 $t-1$ における m 番目のパーティクルの移動速度、 Δt は時刻 $t-1$ から時刻 t までの時間である。次に、レーザレンジファインダの観測情報から人物の観測情報を抽出する。この抽出は、自己位置推定情報と与えられた占有地図情報から計算される距離情報と実際の観測結果を比較することによりなされる。

†創価大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

パーティクルの重み付けは、計測モデルに基づき行われる。パーティクルの重みは、パーティクルが観測範囲内にあるか否か、及び人物IDが付いているか否かに応じて、式(2),(3),(4)に従って更新される。

$$p(z_t|x_t) = \exp\left(-\frac{\text{dist}^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

$$p(z_t|x_t) = p(z_{t-1}|x_{t-1}) \quad (3)$$

$$p(z_t|x_t) = \epsilon p(z_{t-1}|x_{t-1}) \quad (4)$$

ここで、distは人物観測点から各パーティクルまでの距離、 ϵ は減衰率($0 < \epsilon < 1$)である。

①人物位置検出(図2(a))

人物位置検出では、計測モデルに基づいてパーティクルに重み付けをしてリサンプリングを行った後に、ロボットの観測範囲内にあるパーティクルをX-means法によりクラスタリング[3]して、推定した人物位置付近の一定数のパーティクルに人物IDを付与することで人物ID付きパーティクル集合を求める。ここで、クラスタリングする条件は、観測範囲内パーティクルが十分に収束していることである。また、新たな人物検出のために、一定数の人物検出パーティクルを観測範囲内にランダムに散布することで追加する。

②人物位置追跡(図2(b))

人物位置追跡では、検出された人物を、人物ID付きパーティクル集合を用いて追跡をする。計測モデルに基づくパーティクルの重み付けでは、人物ID付きパーティクルの重み更新を行うとともに、人物ID付きパーティクルの重心付近に存在する人物検出パーティクルの重みを減らすことで、人物検出パーティクルにID付き人物を追跡させないようにする。そして、更新された重みに基づき人物ID付きパーティクル集合をリサンプリングする。最後に、人物ID付きパーティクル集合の分散を計算し人物IDの管理を行う。人物ID付きパーティクル集合が観測範囲外にありかつ分散が閾値以上の場合は、人物位置推定不可能と判断し、IDを外して人物検出パーティクルに戻す。一方、観測範囲内にありかつ分散が閾値以上の場合は、人物ID付きパーティクル集合の再クラスタリングを行い人物IDの調節を行う。

3 評価実験

人物位置推定システムの評価実験をシミュレータ上で行った。図3(a)に実験環境を示す。ロボットが赤線の軌道で動くときの人物の位置推定を行い、経路上に存在する人物の数を変化させたときの人物位置検出数と誤検知数で評価を行った(表1)。図3(b)は人物数5の時の実験結果である。検出した4つの人物にそれぞれIDを付与して検出している結果である。

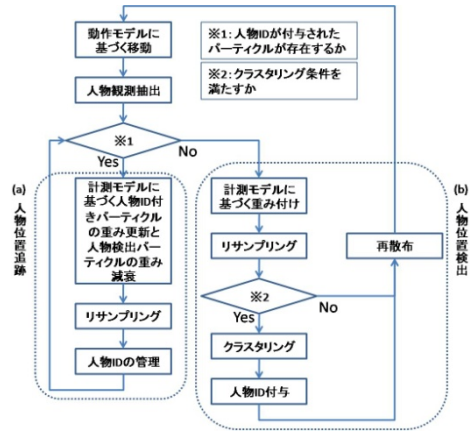


図2: 人物位置推定フロー

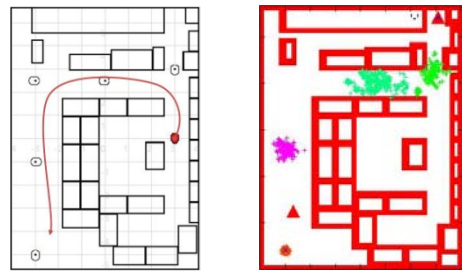


図3: (a)実験環境(左), (b)人物ID付きパーティクル(右)

人数	3人	4人	5人	6人
検出数	3	4	4	5
誤検知数	0	0	0	0

表1: 実験結果

4 まとめ

本稿ではレーザレンジファインダを用いて人物位置を検出し、検出した人物位置情報にIDを付与することでロボットの観測範囲内外で人物の位置管理が可能とするシステムを提案し、人物位置検出について評価を行った。今後の課題として、より多数の人物が存在し、オクルージョンが発生しうる環境での人物位置検出、及び人物位置追跡の評価をすることである。

参考文献

[1] Thrun, S., Burgard, W., and Fox, D.: "Probabilistic Robotics", The MIT Press, 2005.

[2] Dirk Schulz, Wolfram Burgard, Dieter Fox, and Armin B. Cremers: "Tracking Multiple Moving Targets with a Mobile Robot using Particle Filters and Statistical Data Association", Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on.

[3] Arthur, D. and Vassilvitskii, S. (2007). "k-means++: the advantages of careful seeding". Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. pp. 1027-1035.