

姿勢センサと測距センサを用いたパーティクルフィルタによる 屋内位置推定システムに関する一検討

瀧 郁弥[†] 藤井 雅弘[‡]

宇都宮大学 地域創生科学研究科 工農総合科学専攻[†]

1. はじめに

近年、スマートフォン等の情報端末の普及にともない、ナビゲーションや商業施設での動線分析といった位置情報を用いた情報サービスの需要が増加している。このようなサービスを実現するために、屋内での位置推定手法として測域センサと呼ばれるデバイスを用いた研究が注目を集めている。我々はこれまでに、建造物の構造情報、姿勢センサから得られた姿勢センサ情報、測域センサから得られた距離情報を融合した新しい位置推定システムを提案してきた。本稿では、これまでの端末位置の推定アルゴリズムとして用いてきたグリッド探索[1]に代わり、パーティクルフィルタを適用することで歩行者の移動を考慮したパーティクル探索アルゴリズムを提案し、その実装実験の結果を報告する。

2. 提案手法

本研究では、部屋の壁や床が波長 900mm 程度のレーザー光を反射する反射面で構成されていると仮定する。各反射面は三角形の集合で表現され、反射面は複数が連結もしくは独立して存在する。本稿では、三角形で構成される反射面構造を事前の計測で得ていると仮定する。この部屋構造情報を \underline{b} と表す。この部屋構造情報は我々が検討している 3次元モデル作成手法によって将来的に容易に計測できると想定するが、本稿では手動での計測により部屋構造情報を得ている。部屋構造情報の変化(机等の配置変更など)の時定数は非常に緩やかであると想定できるので、時刻に依存しないものと想定する。一方で、歩行者が保持している端末の姿勢は時々刻々と変化するため、時刻 t において姿勢推定によって得た端末の姿勢情報を便宜上 \underline{a}_t と表すこととする。部屋構造情報 \underline{b} は部屋の計測から、端末の姿勢

情報 \underline{a}_t は姿勢センサから得られ、どちらも計測誤差を含むので、その実測値はそれぞれ $\hat{\underline{b}}, \hat{\underline{a}}_t$ で与えられるものとする。

時刻 t における移動端末の位置を $\underline{o}_t = [o_{t,x} \ o_{t,y} \ o_{t,z}]^T \in \mathbb{R}^3$ とする。ここで \mathbb{R} は実数の集合とする。 \underline{o}_t に存在する端末を原点とし、姿勢 \underline{a}_t で定まる回転座標系における $\hat{x}-\hat{y}$ 平面上で、原点から異なる方向に L 本の Ray を照射し、壁や天井を表す三角形に Ray が衝突するとき、Tomas Moller の交差判定法によって原点から壁や天井までの距離を定めることができる。このとき、第 l 番目の Ray によって定まる距離は $d_l(\underline{o}_t, \underline{a}_t, \underline{b})$ のように端末の姿勢情報 \underline{a}_t と部屋構造情報 \underline{b} によって定まる。また、 L 本の Ray によって得られる距離を $\underline{d}(\underline{o}_t, \underline{a}_t, \underline{b}) = [d_0(\underline{o}_t, \underline{a}_t, \underline{b}) \ \dots \ d_{L-1}(\underline{o}_t, \underline{a}_t, \underline{b})]^T \in \mathbb{R}_+^L$ と書く。ここで、 \mathbb{R}_+ は正の実数の集合とする。今、真の姿勢と真の部屋構造情報に基づく距離ベクトルと、それらの推定に基づく距離ベクトルの差を

$$\underline{u}_{t,1} \equiv \underline{d}(\underline{o}_t, \underline{a}_t, \underline{b}) - \underline{d}(\underline{o}_t, \hat{\underline{a}}_t, \hat{\underline{b}}) \quad (1)$$

と定義する。この $\underline{d}(\underline{o}_t, \underline{a}_t, \underline{b})$ は測域センサによって計測可能で、測域センサでの計測値を $\underline{s}_t \in \mathbb{R}_+^L$ とすると、

$$\underline{s}_t = \underline{d}(\underline{o}_t, \underline{a}_t, \underline{b}) + \underline{u}_{t,2} \quad (2)$$

と書くことができるとする。ここで、 $\underline{u}_{t,2}$ は測域センサの計測誤差とする。式(1)を式(2)に代入すると

$$\underline{s}_t = \underline{d}(\underline{o}_t, \hat{\underline{a}}_t, \hat{\underline{b}}) + \underline{u}_t \quad (3)$$

と書き直すことができる。ここで $\underline{u}_t = \underline{u}_{t,1} + \underline{u}_{t,2}$ とした。 \underline{u}_t は部屋構造の計測誤差、姿勢推定の誤差、測域センサの測距誤差をすべて足し合わせたものと捉えることができる。本稿ではこの \underline{s}_t を距離情報と呼び、本研究では距離情報、姿勢情報、部屋構造情報の三種の情報を融合させ

A study on Indoor Positioning System by Particle Filter using Attitude Sensor and Distance Sensor

[†]Fumiya Taki Utsunomiya University

[‡]Fujii Masahiro Utsunomiya University

て端末の位置推定を行う．ここでの目的は，距離情報 s_t が与えられたとき，真の端末位置 o_t を推定することである．パーティクル探索では，パーティクルフィルタの状態方程式として以下の式(4)

$$o_t = o_{t-1} + v_t \quad (4)$$

に示すように，一時刻前の端末位置 o_{t-1} に相対移動量を表す $v_t \sim \mathcal{N}(0, \sigma_{v,t} \mathbf{I})$ を加えたもので現時刻の端末位置が決まるという式を用いる．観測方程式は式(3)を用いる．本稿では $u_t \sim \mathcal{N}(0, \sigma_{u,t} \mathbf{I})$ とした．パーティクル探索の一時刻の推定を以下に示す．

- Step0. 一様分布に従い，候補点粒子を $x-y$ 平面上に N 個生成する．
- Step1. システムノイズ v_t を独立に N 個生成し各粒子に加える．
- Step2. 観測で得られた距離情報や姿勢情報より各粒子の尤度 w_t を計算し，正規化して重みとして各粒子に乘じる．
- Step3. 各粒子と重みの加重平均をその時刻の端末位置の推定値とする．
- Step4. 各粒子の重みに従い粒子をリサンプリングする．

このうち Step1 と Step4 を各時刻の歩行者の移動ごとに繰り返す．尤度 w_t は以下の式で定義される．

$$w_t \propto \frac{1}{(2\pi\sigma_{u,t}^2)^{L/2}} \exp\left(-\frac{\|s_t - d(\hat{o}_t, \hat{a}_t, \hat{b}_t)\|^2}{2\sigma_{u,t}^2}\right) \quad (5)$$

ここで， $\sigma_{u,t}^2$ は測域センサの測距誤差，姿勢推定誤差などを含めた計測誤差の分散を表す．

3. 実環境実験

提案手法の有効性を検証するため，検証実験を行った．推定を行う部屋は宇都宮大学工学部 9 号館 301 号室を対象とし，本稿では部屋を直線状に歩行する歩行者の位置を推定する．実験諸元を表 1 に示す．端末座標真値 o_z は 850mm とした．また真値は歩行ルート上を等速直線運動するものと仮定した．各時刻の真値 o と推定値 \hat{o} の差の絶対値を距離推定誤差とし，実験の評価指標とする．また比較のため，グリッド探索においてグリッド幅 $d_{gw} = 400\text{mm}$ とした場合での推定を行うこととする．

表 1. 実環境実験諸元

粒子数	256
推定回数	200
測域センサ走査角度[°]	270
測域センサ分解能[°]	1
システムノイズ v_t [mm]	$\mathcal{N}(0, 150 \mathbf{I})$
観測ノイズ u_t [mm]	$\mathcal{N}(0, 40 \mathbf{I})$
グリッド幅 d_{gw} [mm]	400

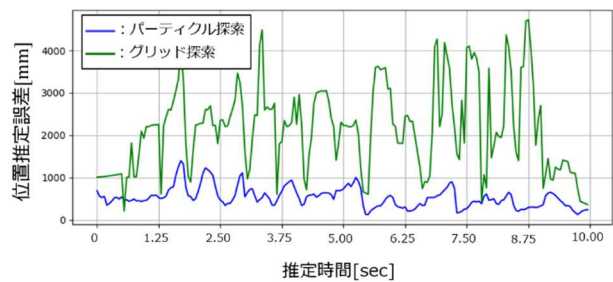


図 1. 実環境実験結果

実験結果を図 1 に示す．縦軸は位置推定誤差の値を，横軸は時刻を表している．位置推定誤差の推定時間全体での値は，パーティクル探索が 532mm，グリッド探索が 2164mm と，パーティクル探索はグリッド探索に比べて非常に小さな位置推定誤差での推定を行っていた．また，グリッド探索と異なり，推定値が真値近傍から大きく外れる誤推定が少なく，安定して推定が行えていることがわかる．

図 1 では状態方程式のシステムノイズの標準偏差を 150mm としたが，これを 30mm とした場合，位置推定誤差が線形に悪化した．これは推定が歩行者の移動に追従できなかったためと考えられる．よって，パーティクル探索においては，システムノイズの値の適切な設定が必要であると考えられる．

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP19K12037 の助成を受けたものである．

参考文献

- [1] Fumiya Taki, “A Study on Indoor Positioning Based on Attitude and Distance Estimations by Grid Search with Penalty Term”, in proc 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics, Oct. 2021.