

統計モデルに基づいた BLE 屋内測位システム Indoor Positioning Method based on BLE Location Fingerprint with Statistics Approach

中野 雅章¹⁾ 小室 信喜²⁾
Masatoshi Nakano Nobuyoshi Komuro

1 はじめに

近年、駅やショッピングモールなどの大規模な屋内施設での人流解析やナビゲーション、介護施設、児童施設でのお年寄りや子どもの行動把握、災害時の避難経路誘導などの用途で屋内位置推定の需要が高まっている。一般に屋外では GPS (Global Positioning System) を利用した位置推定が用いられている。しかし、屋内で GPS を利用すると誤差が大きくなるため、屋内で使用するには精度が不十分である。

屋内位置推定法として、普及率も高く、持ち運びもしやすい携帯電話やスマートフォンを利用した位置推定 [1] の方法が研究されている。一つの例として三点測量に基づいた位置推定 [2] があげられる。三点測量法では RSSI (Received Signal Strength Indication) を利用して距離を算出することで位置を推定する。しかし、屋内では電波が壁や障害物によってマルチパスの影響を受ける。これによって、位置推定に大きな誤差を生じさせてしまう。3 点測量法における課題解決策として、位置指紋法と RSSI を利用した方法が考えられている。

位置指紋法では事前に観測する環境の複数地点にて RSSI を計測する。各地点の RSSI を位置指紋として記録することで、実際に推定する際に取得した RSSI との比較により位置推定を行うことが可能になる。位置指紋法では電波のマルチパスの影響も考慮することができるなど、観測する環境の特徴を考慮することができる柔軟な手法であるため位置推定ではよく用いられている手法の 1 つである。文献 [3] では、取得した RSSI を位置指紋と比較して、一番値が近い点を推定位置とする手法が行なわれている。

文献 [4] では、位置指紋法と k-最近傍法を用いた位置推定法が提案されている。k-最近傍法は機械学習の一種であり、学習データを用いて位置推定を行う。よって、位置指紋を学習データとすることで位置推定をすることができる。しかし、k-最近傍法で正確な位置推定を行うにはコストが大きくなってしまふという欠点もある。

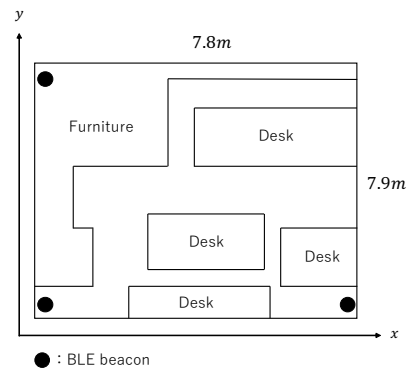
本研究では、屋内位置推定での推定精度の向上法として、パーティクルフィルタを用いた BLE 屋内位置推定システムを提案する。パーティクルフィルタ [5] は人物追跡のように状態方程式が線形でない場合にでも対応することができる。本研究では、BLE ビーコンの RSSI をもとに位置指紋を作成し、実測した RSSI から位置を推定するパーティクルフィルタを作成する。実験により、提案システムの有効性を示す。

- 1) 千葉大学融合理工学府, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University
- 2) 千葉大学統合情報センター, Institute of Management and Information Technologies, Chiba University

2 提案システムの構成

2.1 事前計測

位置指紋は、実験を行う環境の複数地点で RSSI の計測を行うことで作成した。計測する環境は本学の研究室で、7.8m × 7.9m × 2.8m の大きさである。環境内の障害物は机やロッカーなどがあり、計測中は人が計測者以外いない状況であった。環境の簡易図を図 1 に示す。電波の送信端末として三つの BLE ビーコンを利用し、受信端末として HUAWEI BTV を用いて RSSI を観測した。一地点につき 3 つの BLE ビーコンから得られる RSSI を三分間計測し、これを図 1 の 124 か所の地点で行った。また、障害物がある箇所においては計測はしなかった。これは図 1 の Furniture, Desk にあたる。



● : BLE beacon
図 1 実験環境

2.2 モデル構築

位置指紋を用いて、屋内位置推定をするためにパーティクルフィルタを利用する。ここで、 n 個のパーティクルの集合を $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ とする。時刻 t におけるパーティクル p_i の座標を $(x_i(t), y_i(t))$ 、重みを $\omega_i(t)$ とする。パーティクルフィルタを用いた位置推定のアルゴリズムを以下に示す。

Step 1: $t = 0$ において図 2(a) のように、 n 個のパーティクルの集合 P を生成して、それぞれランダムにばらまく。パーティクルそれぞれの座標を $(x_i(t), y_i(t))$ 、重みを $\omega_i(t)$ とする。

Step 2: n 個のパーティクルを図 2(b) のように移動させる。移動距離を d 、角度を θ とすれば、 $(x_i(t), y_i(t))$ は

$$x_i(t) = x_i(t) + d \cos \theta \quad (1)$$

$$y_i(t) = y_i(t) + d \sin \theta \quad (2)$$

で表せる。 d は実験者の歩幅の平均に基づき $d = 0.65(m)$ に $\pm 0.1(m)$ のノイズを加えている。 θ は $0 \leq \theta \leq 2\pi$ の範囲でランダムに動くようにした。

Step 3: 各パーティクルの尤度を求める関数を式 (3) で表す。使用している j 番目のビーコンを b_j とす

る。式(3)の $\mu_{(x,y)}^{(j)}, (s_{(x,y)}^{(j)})^2$ は位置指紋作成時に地点 (x,y) にて b_j から観測されたRSSIの平均と分散である。位置指紋作成時に計測しなかった点では $\omega_i(t) = 0$ にするようにした。また、 $r^{(j)}(t)$ は時刻 t で b_j から観測されたRSSIの値である。式(3)中の N はビーコンの数を表し、 α は各パーティクルの尤度につける重みである。これは、 (x,y) と b_j の距離に基づいて設定した。図2(c)のパーティクルの大きさは尤度の大きさを表している。

$$\omega_i(t) = \alpha \sum_{j=0}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi (s_{(x,y)}^{(j)})^2}} \times \exp \left\{ \frac{-\left(r^{(j)}(t) - \mu_{(x,y)}^{(j)}\right)^2}{(s_{(x,y)}^{(j)})^2} \right\} \quad (3)$$

Step 4: Step3 で求めた尤度を正規化する。

$$\tilde{\omega}_i(t) = \frac{\omega_i(t)}{\sum_{i \in P} \omega_i(t)} \quad (4)$$

これを集合 P の各パーティクルに対して行う。

Step 5: リサンプリングを行う。Step4 で求めた $\tilde{\omega}_i(t)$ を基に多項分布を利用することでリサンプリングを行った。リサンプリングを行うことでパーティクルの偏りを防ぐことができる。このときのパーティクルの分布を図2(d)に示す。

Step 6: 時刻 t における各パーティクルの位置の平均をとることで位置推定を行う。この時のパーティクルの分布を図2(e)に示す。図2(e)の'x'が推定位置に当たる。もし、 $t + dt$ に b_j からRSSIが観測されれば、Step2に戻り、観測されなければ終了する。

3 実験結果

提案手法の推定精度と位置指紋法をもとにしたk-最近傍法による推定精度と比較することで提案手法の評価を行った。図3と表1は提案手法と位置指紋法に基づくk-最近傍法の推定誤差の比較を表している。図3と表1からわかるように、提案手法の有効性を示すことができた。実験の結果、提案手法は平均誤差1.74(m)で位置推定を行うことができている。

表1 提案手法とk-最近傍法の推定誤差比較

	提案手法	k-最近傍法
最小誤差 (m)	0.08	0.00
最大誤差 (m)	3.97	6.98
平均誤差 (m)	1.74	2.32
分散	0.85	2.53

4 結論

本研究ではBLEビーコンを利用した位置指紋を作成し、実測したRSSIから位置を推定する統計モデルを作成した。実験の結果、推定精度の向上がみられ、提案手法の有効性が確認された。さらなる推定精度向上のため

には、地磁気を使用した位置指紋の導入、統計モデルの改良、機械学習の導入、センサの利用などがあげられる。

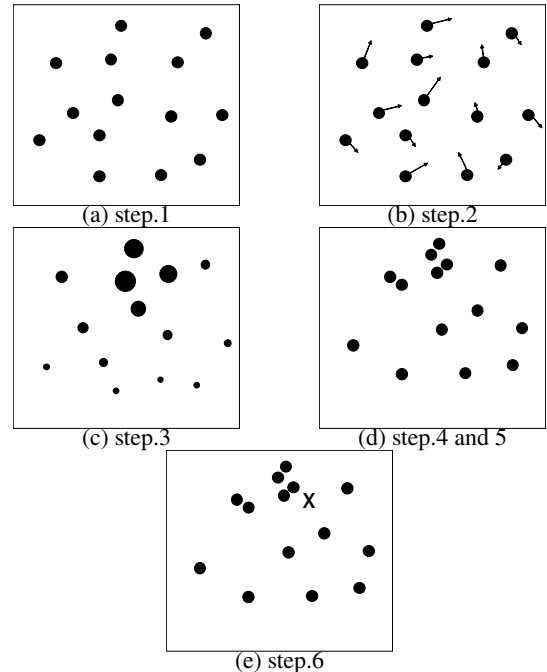


図2 パーティクルの分布

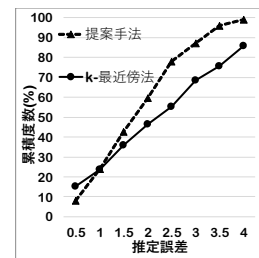


図3 提案手法とk-最近傍法の推定誤差の累積度数分布

謝辞

本研究の一部は電気通信普及財団の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] W.Kang, Y.Han, "SmartPDR: Smartphone-Based Pedestrian Dead Reckoning for Indoor Localization", IEEE Sensors Journal, Vol.15, Issue.5, pp.2906-2916, May 2015
- [2] M.E.Rida, F.Liu, Y.Jadi, A.A.A.Algawhari, A.Askourih "Indoor Location Position Based on Bluetooth Signal Strength", International Conference on Information Science and Control Engineering, April 2015
- [3] S.Hossain, S.H.S.Ariffin, N.Fisal, C.K.Neng, N.S.A.Hassan, L.A. Latiff "Accuracy Enhancement of Fingerprint Indoor Positioning System", 2012 Third International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation, February 2012
- [4] Y.C Pu, P.C You, "Indoor positioning system based on BLE location fingerprinting with classification approach", Applied Mathematical Modelling, Vol.62, pp.654-663, October 2018
- [5] Genshiro Kitagawa, "On Monte Carlo Filter and Smoother" Proceedings of the Institute of Statistical Mathematics, Vol.44, No.1, pp.31-48, November 1996