

## Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた歩行者測位手法の提案 Proposal of Pedestrian Positioning Method Using Bluetooth Low Energy Beacon

古館 達也<sup>†</sup> 堀川 三好<sup>†</sup> 橋本和幸<sup>‡</sup> 工藤大希<sup>†</sup> 岡本東<sup>†</sup>  
Tatsuya Furudate Mitsuyoshi Horikawa Kazuyuki Hashimoto Daiki Kudo Azuma Okamoto

### 1. はじめに

近年, SNS やゲーム, ライフログなど様々なサービスで位置情報が利用されている. また, オフィスや工場, 倉庫等におけるレイアウト改善や物品管理, 小売店における顧客行動分析など産業用途での期待も大きい. しかしながら, 多くの位置情報サービスが利用する GPS は, 屋内での利用が困難であり位置情報サービス拡大の足かせとなっている.

著者らは, 多くのスマートフォンが対応しており, また IoT での利用も進む Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた歩行者測位手法を提案している[1]. しかしながら, 上記手法では, 歩行者の移動方向変化時に測位精度が悪化するという課題を残していた. 本稿では, ビーコンが通路など歩行経路上に設置されているものと仮定し, ビーコン配置を考慮した手法によって測位精度の向上を実現する. 提案手法は, マップマッチングと異なり地図を必要としないという利点があり, 検証実験からその有効性を明らかにする.

### 2. 関連研究

電波発信機を設置しその RSSI (Received Signal Strength Indicator) から三点測量[2]やフィンガープリンティング[3]を行う手法が提案されている. これらの手法は, 実証実験での利用も多いが, RSSI はスマートフォンの機種によって異なるため, 測位精度が機種に依存するという課題がある. 一方, スマートフォンが内蔵する加速度やジャイロ, 地磁気センサ値から歩行者の移動距離および方向を累積的に算出する PDR (Pedestrian Dead Reckoning) [4]が提案されている. PDR ではビーコンなどインフラを必要としないものの, 初期地点推定および誤差蓄積の点で課題を残している.

併せて, 歩行可能エリアを限定することで測位誤差を補正するマップマッチングが提案されている. しかしながら, マップマッチングには歩行可能エリアを識別可能な地図が必要であるため, 実利用には導入負荷が大きい.

### 3. 歩行者測位手法の概要

#### 3.1 従来の測位手法

本節では, 従来から提案している測位手法の概要を示す. 図 1 は測位全体のモデルを表しており, ビーコンに接近した場合のみそのビーコン座標を自位置と判定する近接推定 (初期地点推定・補正的作用) と, 歩行による移動量を累積的に算出する変位推定の 2 つのモジュールから構成される. また, 変位推定は移動距離および移動方向の推定に更に分かれており, それぞれが連動して動作する.

しかしながら, 従来手法では移動方向推定において測位精度上の課題を残している. 図 2 は従来手法による典型的な測位結果を表しており, 黒線は実際の歩行コースを, 赤点はビーコンの設置箇所を表している. A1, A2, A3 は 20m,

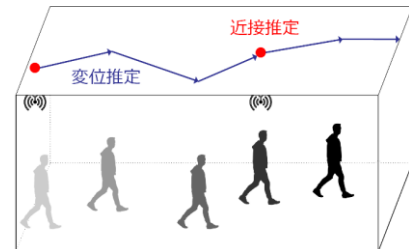


図 1 測位手法の全体モデル

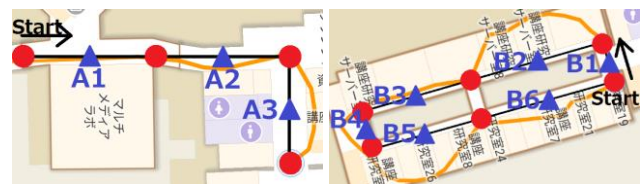


図 2.a 環境 1 図 2.b 環境 2

図 2 現状の測位精度

B1, B4 は 8m, B2, B6 は 27m, B3, D5 は 23m 離れており, 図 2.b の中央部は吹抜けとなっている. オレンジ線は推定結果を示しているが, 歩行者の移動方向が大きく変化するコーナーの直後では, 大きく外側に膨らみ極端に測位精度が低下していることがわかる.

#### 3.2 移動方向推定手法の改善

本稿では, ビーコンが通路などの歩行経路上に設置されていると想定し, 従来から提案している移動方向推定手法に対して, ビーコン配置を考慮する仕組みを取り入れることで高精度化を実現する. 提案手法は地図情報を必要とせず, 測位手法自身がマップマッチングの役割を含む点に特徴がある. 以下に,  $t$ 時点の自位置 $P_t$ が既知であり, 移動先である $t+1$ 時点の自位置 $P_{t+1}$ を推定するものとした場合の推定手順を示す. また,  $t$ 時点で観測しているビーコンに囲まれた区間を測位エリアと呼ぶこととする.

##### 手順 1: 変位ベクトルの作成

あるビーコン  $Beacon_i$  の  $t$ 時点における受信信号強度  $RSSI_{i,t}$  と  $t+1$ 時点の  $RSSI_{i,t+1}$  を比較した時,  $RSSI_{i,t} < RSSI_{i,t+1}$  であれば  $Beacon_i$  に接近したと,  $RSSI_{i,t} > RSSI_{i,t+1}$  であれば  $Beacon_i$  から遠ざかったと考えることが出来る.

そこで, ある  $t$ 時点の自位置  $P_t$  から  $Beacon_i$  への方角を向きとし,  $RSSI_{i,t+1} - RSSI_{i,t}$  を大きさとする変位ベクトル  $V_i$  を作成する.  $V_i$  はビーコン毎に作成されるため, 図 3 では赤実線および青点線で示したベクトルが該当する.

##### 手順 2: 有効変位ベクトルの抽出

変位ベクトル  $V_i$  から大きさがプラスのベクトル, 有効変位ベクトル  $W_j (j \in i)$  を抽出する. 図 3 では, 赤実線のベクトルが該当する. 図 3 の黄色線は測位エリアを示しており, 有効変位ベクトル  $W_i$  はビーコンの方角を向くことから測位エリア内に存在するのに対して, マイナスのベクトルは測

<sup>†</sup> 岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究所

<sup>‡</sup> 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

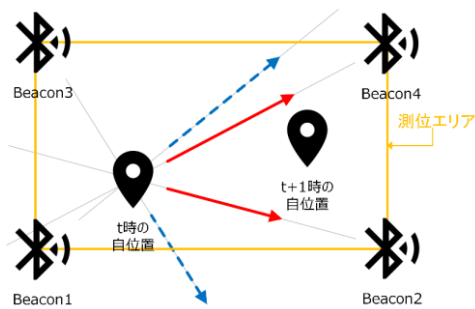


図 3 移動方向推定の概要

位エリア外に生成される場合がある。そこで、変位ベクトルの大きさがマイナスのベクトルを除外することで、測位エリア内に限定したベクトルのみを抽出することが出来る。

### 手順 3：合成変位ベクトルの作成

有効変位ベクトル $W_j$ を合成し、合成変位ベクトルを作成する。合成変位ベクトルは有効変位ベクトル $W_j$ から構成されるため、合成変位ベクトルも測位エリア内に作成される。即ち、合成変位ベクトルはマップマッチングの効果を含んだものとなっている。以上が、提案する移動方向推定の推定手順であり、合成変位ベクトルが歩行者の移動量を表す。

## 4. 評価

本章では、提案手法の有効性を確認するために行った検証実験について報告する。実験は比較的単純な通路および複雑な環境の2箇所で行う。測位端末には、実験用 Android アプリをインストールした Xperia Z3 Tablet Compact を用意し、ビーコンは表 1 に示す機器を利用する。計測は、胸付近でスマートフォンを保持した Hold および手振り Swing の 2 パターンについて、従来手法および提案手法にてそれぞれ 10 回観測を行う。また、推定値と実際の座標との誤差は図 2 内の▲で示した箇所 Ax, Bx で測定する。

表 1 ビーコン仕様

ビーコン	BLU250-H (欄ERi)
送信電力	+4dBm
発信間隔	100msec
データフォーマット	BLUETUS
電源	CR2032

### 4.1 単純な環境での検証 (実験 1)

図 2.a に示す比較的単純な環境で行った検証実験について報告する。表 2 は実験結果を示しており、A1, A2, A3 はそれぞれ図 2.a 中の座標を意味している。全体の誤差としては、Hold, Swing 共に従来手法以上の測位精度を実現しており、標準偏差から誤差のばらつきが極めて小さいことがわかる。また、従来手法では移動方向変更後にあたる A3 地点で大きな誤差が発生しているのに対して、提案手法では誤差の拡大を大幅に抑制できている。

表 2 測位結果 (実験 1)

	従来手法		提案手法	
	Hold	Swing	Hold	Swing
A1[m]	5.87	3.57	1.50	1.00
A2[m]	0.82	3.05	1.54	1.91
A3[m]	7.00	5.98	3.38	1.82
平均誤差[m]	4.56	4.20	2.14	1.58
標準偏差	2.69	1.28	0.88	0.41

### 4.2 複雑な環境での検証 (実験 2)

図 2.b に示す比較的複雑な環境において行った実験について報告する。表 3 は実験結果を表しており、実験 1 と同様に高い測位精度を実現している。特に、B2 や B5 など移動方向変更後の地点では、従来手法が大きな誤差となっているのに対して、提案手法では比較的小さな誤差を実現している。また、提案手法では従来手法以上に測位端末の持ち方 (Hold or Swing) に低依存度であり、平均誤差・標準偏差共に高い精度となっている。さらに、副次効果として提案手法では時間経過によってある程度誤差が収束する傾向があり、B5 や B6 地点では概ね 1m 程度の小さな誤差に収束していることがわかる。これは、ベクトルの生成が測位エリアに限定されるため大きな測位誤差が発生し難いことが原因と考えられる。

表 3 測位結果 (実験 2)

	従来手法		提案手法	
	Hold	Swing	Hold	Swing
B1[m]	3.94	3.68	4.00	4.00
B2[m]	9.79	4.48	5.05	4.97
B3[m]	1.93	2.39	1.76	2.82
B4[m]	2.76	2.81	1.71	0.87
B5[m]	5.09	4.67	0.81	1.32
B6[m]	4.81	2.55	0.99	1.00
平均誤差[m]	4.72	3.43	2.39	2.50
標準偏差	2.52	0.91	1.58	1.57

## 5. おわりに

本研究では、従来から提案している歩行者測位手法[1]に対して、ビーコンの配置を考慮する測位手法を提案し、異なる 2 箇所で行った検証実験から従来手法以上の測位精度を確認した。提案手法は、ビーコン配置のみを利用するため詳細な地図データを必要とせず、誤差が収束するなど副次的な効果も確認できた。また、ビーコン設置エリア外では合成変位ベクトルが作成されず処理が停止するという特徴がある。この特徴は、PDR 等と併用した場合に測位処理の切り替えを容易にし、ハイブリット型測位システムとの親和性も高いと考える。

今後は、歩行者以外を対象とした測位手法の検討を進める予定である。近年では、向上や倉庫、流通・物流センターにおける物品管理や、ロボットの自律制御など歩行者以外を対象とした測位技術への関心が高まっており、本研究においても歩行者以外を対象とした手法を提案する。また、本稿で提案した手法とその他の測位手法を組み合わせたハイブリット型測位についても検討を進める予定である。

### 参考文献

- [1] 古館達也, 堀川三好, 工藤大希, 岡本東: Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた屋内測位手法に関する研究, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 14, No.4, p311-312 (2015).
- [2] 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田晃: 無線通信網を用いた屋内向け測位方式, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム(ACS)Vol.44,No.SIG10(ACS2),pp.131-140(2003).
- [3] 伊藤誠悟, 河口信夫: アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリット位置推定手法とその応用, 電気学会論文誌. C. 電子・情報・システム部門誌, Vol. 126, No. 10, pp. 1212{1220 (2006).
- [4] 上坂大輔, 村松茂樹, 岩本健嗣, 横山浩之: 手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No.2, pp. 558-570(2011).