

# Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた 屋内測位手法に関する研究

## Indoor Positioning Method Based on Bluetooth Low Energy Beacon

古舘達也†  
Tatsuya Furudate

堀川三好†  
Mitsuyoshi Horikawa

工藤大希‡  
Daiki Kudo

岡本東†  
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. しかしながら, これらのサービスが用いる GPS (Global Positioning System) では, 人工衛星からの電波を利用するため屋内環境での利用が困難であり, 屋内利用を想定したサービスの導入は進んでいない.

こうした中, IoT (Internet of Things) の拡大に合わせて, 省電力無線通信である BLE (Bluetooth Low Energy) の利用が拡大している. BLE は消費電力が少ないことから長期間稼働に適しており, 屋内測位システムとしての利用も期待されている.

本研究では, 屋内位置情報サービスの実現を目的に, BLE ビーコンを用いた測位手法を提案する. 提案手法は, BLE ビーコンへの接近を判定する基準地点推定と, BLE ビーコン間の移動を推定する変位推定に分かれており, モバイル端末の性能差およびその保持方法に低依存な点に特徴がある.

本稿では, 屋内環境における歩行者ナビゲーションシステムおよび展示会等における位置運動型情報配信の利用を想定した検証実験から, 提案手法の有効性を明らかにする.

### 2. 関連研究

モバイル端末を対象とした屋内測位技術は, BLE ビーコンなどの電波発信機を用いる手法と, 端末内の加速度や地磁気, ジャイロセンサを用いる手法とが提案されている.

電波発信機を用いる代表的な手法として, 受信信号強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) を用いて, 三点測量[1]やあらかじめ実測した RSSI とマッチングする方法[2]が挙げられる. しかしながら, RSSI はモバイル端末の機種による性能差によって異なるため, 測位精度は各端末によって差が生じるという課題がある.

センサを用いる手法では, 歩行者の移動距離および移動方向をセンサ値から累積的に算出する[3]. そのため, 電波発信機など外部インフラを必要としないが, 移動方向はモバイル端末の保持方法によって異なる他, 測位誤差が蓄積するという課題がある.

### 3. 提案する屋内測位手法

#### 3.1 RSSIの基本性質

RSSI は, モバイル端末などの電波受信機が観測した電波の強さを表す指標であり, 理論値はフリスの伝達公式によって式1のように表せる.

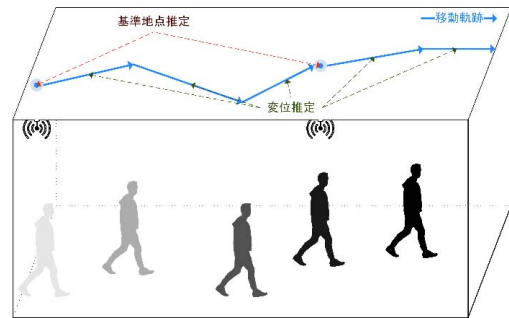


図1 提案する屋内測位手法の概念図

$$P_r = P_t + G_r + G_t - L \quad (1)$$

ここで,  $P_r$ が RSSI[dBm]であり,  $P_t$ は電波発信機の送信電力[dBm],  $G_r$ は受信アンテナの利得[dBi],  $G_t$ は送信アンテナの利得[dBi]を表している. また, 式2は自由空間損失  $L$ [dBm]を表しており,  $d$ は距離[m],  $f$ は周波数[Hz],  $c$ は光速  $2.99792458 \times 10^8$ [m/s]である.

$$L = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d f}{c} \right) \quad (2)$$

式1および2から, RSSIの機種による受信特性は受信アンテナの利得 $G_r$ によるものであり, また,  $G_r$ は電波の減衰率(傾き)に影響を及ぼさないことがわかる. そのため, RSSIの強さという絶対値を利用するのではなく, RSSI減衰率や, 電波発信機毎のRSSI比率を利用することで機種等による性能差に低依存な測位が可能となる.

#### 3.2 提案手法の概要

提案手法は図1のように2つの推定の組合せとなっている. 基準地点推定では, BLE ビーコンに接近した時点で, BLE ビーコンの設置座標を自位置と推定する. いずれのBLE ビーコンからも離れている状態では, 変位推定によって推定を行う. 変位推定は, ある時点から現在までのRSSI変化量から歩行に変位を連続的に推定する. そのため, 誤差が蓄積するという課題があるが, BLE ビーコンに接近することで再度基準地点推定が行われ, 誤差を修正することが可能なモデルとなっている.

#### 3.3 基準地点推定

基準地点推定では, 式1から算出した理論RSSIを成分とする理論RSSIベクトルと, 実測RSSIを成分とする実測RSSIベクトルとの類似度を算出する. このとき, ベクトルの大きさ(RSSIの強さ)ではなく, 向きの類似度を算出するため, 実測RSSIが全体的に小さい場合や多き場合であっても正しい類似度を算出できるという特徴がある.

†岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科

‡岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

**手順 1 : 類似度算出点の設定**

実測した RSSI から最も値の強い BLE ビーコンを選択し、選択した BLE ビーコンの設置座標とその周辺に類似度算出点を設定する。

**手順 2 : 理論値 RSSI ベクトルの作成**

ある類似度算出点から周辺 BLE ビーコンまでの距離から、式 1 によって理論 RSSI を算出し、理論 RSSI ベクトル  $\vec{e}$  を作成する。同様にすべての類似度算出点において理論 RSSI ベクトルを作成する。

**手順 3 : 類似度の算出**

実測 RSSI を成分とする実測 RSSI ベクトル  $\vec{a}$  と理論 RSSI ベクトル  $\vec{e}$  の類似度  $S$  を式 3 によって算出する。このとき、BLE ビーコン設置点の類似度が他の類似度算出点の類似度より大きい場合、BLE ビーコンの座標を自位置と判断する。

$$S = \frac{\vec{a} \cdot \vec{e}}{|\vec{a}| |\vec{e}|} \quad (3)$$

**3.5 変位推定**

変位推定では、ある  $n$  時点から  $n+1$  時点までの RSSI 変化量から歩行者の移動方向を推定し、加速度センサから移動距離を算出する。このとき、ジャイロや地磁気センサなどの方位センサを利用しないため、モバイル端末の保持方法に低依存な推定が可能である。

**手順 1 : RSSI 変位ベクトルの作成**

ある  $n$  時点の RSSI から  $n+1$  時点までの RSSI 変化量を大きさとし、 $n$  時点の自位置から各 BLE ビーコンの角度を向きとする RSSI 変位ベクトルを作成する。

**手順 2 : 変位ベクトルの作成**

RSSI 変位ベクトルの向きと、加速度センサから算出した移動距離から変位ベクトルを作成し、 $n$  時点からこの変位ベクトル分移動した座標を自位置と推定する。

**4. 提案手法の評価****4.1 歩行者ナビゲーションを想定した検証実験**

歩行者ナビゲーションの要件として、小部屋や通路幅程度の 3m 以内の測位精度が必要となる。また、一般的な歩行速度が 80[m/s] であることから、この歩行速度で 3m の移動に要する、2.25[s] 以内のリアルタイム性が必要となる。

実験は、十字路に 5 個の BLE ビーコンを設置し、直進 40m 右折し 20m する区間で実施する。また、基準地点推定は 0.1 秒間隔、変位推定は 2 秒間隔で実行する。

表 1 は測位端末とその保持方法ごとに 10 回の計測を行った平均値を表しており、いずれも誤差 3m 以内の測位精度を実現している。一方、基準地点推定直後の変位推定時に、進行方向とは真逆に進む現象によって測位精度が低下する。今後の課題としては、基準地点推定直後の変位推定について、実行タイミングの調整などを行う必要がある。

**4.2 位置連動型の情報配信を想定した検証実験**

展示会の各ブースなどに BLE ビーコンを設置し、BLE ビーコンへの近接に応じて情報配信などを行うサービスを想定する。要件として、展示ブースの最小単位は 1 小間 (3m×3m) であり、訪問者は展示商品がよく見えるように、展示ブースから 1m 程度以内の距離に近づき一時的に立ち止まると予想される。よって、3m 間隔程度に BLE ビーコンを設置した環境において、BLE ビーコンの 1m 以内に接近したことを感知できる必要がある。

**表 1 歩行者ナビゲーションを想定した実験結果**

測位端末	保持方法	誤差平均[m]	標準偏差
Nexus5	歩きスマホ	1.66	1.89
	手振り	1.26	1.24
	バッグ内	0.94	0.84
Nexus7	歩きスマホ	0.95	0.86
	手振り	2.48	2.39
	バッグ内	1.54	1.52

**表 2 位置連動型の情報配信を想定した実験結果**

測位端末	展示ブースからの距離[m]	正答率[%]
Nexus5	0.5	100.00
	1	81.67
Nexus7	0.5	98.33
	1	88.33

実験環境として、計 6 個の BLE ビーコンを、通路を挟んで 3m 間隔に設置する。また、今回の要件では変位推定は必要ないため、基準地点推定のみを 0.1 秒間隔で実行する。実験内容としては、BLE ビーコンから 0.5m と 1m 離れたラインを歩行し、BLE ビーコン付近では一時的に立ち止まる。

表 2 は実験結果を表しており、各組合せ 10 回計測を行っている。また、正答率は立ち止まったタイミングで正しく BLE ビーコンを判定できたかを示している。0.5m ラインでは極めて高い精度での推定を実現しており実用上十分な精度である。一方、1m ラインでは立ち止まっても推定が行われず、素通りしてしまうために測位精度が低下したが、誤判定の数は少なく実用上の大きな障害にはならないと考えられる。

**5. おわりに**

本研究では、屋内位置情報サービスの実現を目的に、BLE ビーコンを用いた測位手法を提案した。提案手法は、モバイル端末の機種等による性能差およびその保持方法に低依存な点に特徴がある。また、屋内環境における歩行者ナビゲーションおよび位置連動型の情報配信を想定した評価実験から、提案手法の有効性を明らかにした。

今後の課題として、吹き抜け構造や階段など様々な環境において検証を行い、より実利用に近い実証実験を行う必要がある。また、BLE ビーコンの送信電力や設置方法は測位を行う環境や要件によって異なるため、測位精度への影響について検証を行う必要がある。

**参考文献**

- [1] 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).
- [2] 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 ハイブリッド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).
- [3] 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).