

BLE 測位および PDR を用いたハイブリッド型屋内測位手法の提案

工藤大希[†] 堀川三好[†] 古舘達也[†] 岡本東[†][†]岩手県立大学ソフトウェア情報学研究科

1. はじめに

近年、屋内測位技術は Internet of Things や Online to Offline など、多様な領域での活用が期待されている。研究グループでは、これまでに Bluetooth Low Energy (BLE) ビーコンを用いた独自の測位手法 (BLE 測位) を提案し、駅などの公共交通機関への導入を進めてきた[1]。しかしながら、BLE 測位は対象施設全域に BLE ビーコンを設置する必要があり、測位インフラの整備にかかるコストが課題になっている。一方で、端末に内蔵される各種センサを用いた歩行者自立航法 (PDR) が提案されている。PDR は測位インフラ不要で測位できるが、磁場の乱れや端末の保持姿勢により測位精度が低下するという課題がある。本稿では、BLE 測位と PDR を併用することで双方の測位手法における課題を解決し、従来手法よりも低コストかつ高精度な測位手法を提案する。

2. 関連研究

一般的に、ビーコンを用いた測位と PDR を併用した測位手法では、ビーコンを用いて絶対位置を推定し、絶対位置からの相対的な移動を PDR で推定する手法が多い。この手法は、PDR における初期地点の推定や累積誤差の解消が期待できる。しかしながら、ビーコンを用いた絶対位置の推定は、RSSI のばらつきや端末の性能差が影響し精度が低い。解決策として指向性を持たせたビーコンを用いる手法が提案されているが[2]、特殊なビーコンが必要であるため、導入コストが増加するという課題がある。

3. ハイブリッド型屋内測位システムの提案

提案手法では、BLE ビーコンが十分に設置可能な場所で BLE 測位を行い、直線通路などの測位が容易な場所や BLE ビーコンの設置が困難な場所では PDR を行う (図 1)。測位の切り替えは、BLE ビーコンから観測される受信信号強度 (RSSI) から、動的な切り替えを実現する。また、PDR の移動方位を BLE 測位と組み合わせて算出することで、磁場の乱れに影響を受けない

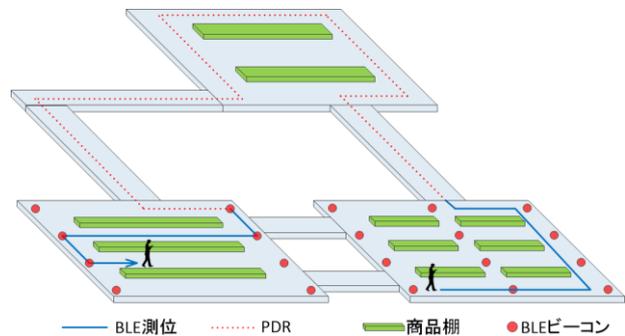


図 1 ハイブリッド型屋内測位手法の概要

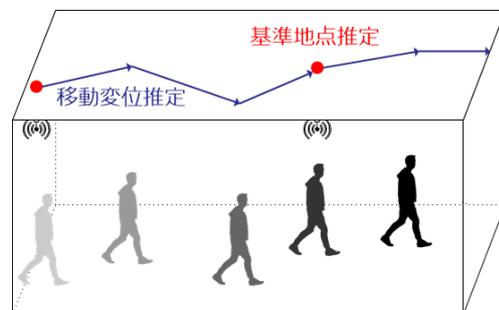


図 2 先行研究における BLE 測位の概要

PDR を実現する。これにより、少数の BLE ビーコンで高精度な測位が可能となる。

3.1. BLE 測位

BLE 測位は、先行研究である古舘らの手法を用いる[1]。この手法はベクトル空間モデルから BLE ビーコンの直下にいることを推定する基準地点推定と、RSSI の変位から測位対象の移動変位を推定する移動変位推定で構成される (図 2)。

3.2. 歩行者自立航法 (PDR)

提案手法で用いる PDR は、一般的な PDR と同様に加速度センサから歩数を計算し、あらかじめ設定した歩幅と歩数から移動距離を算出する。一方で、移動方位は BLE 測位により推定された移動方位と角速度センサから算出した相対的な移動方向を組み合わせる。具体的には、BLE 測位の最中に角速度値から算出される相対的な移動方向を、BLE 測位が算出する移動方位と一致するように補正する。これにより、角速度値のみで移動方位が算出できるため、磁場の乱れに影響しない PDR が可能になる。

3.3. 測位の切り替え

(1) BLE 測位から PDR への切り替え

各 BLE ビーコンから観測される RSSI が、全て減少傾向となる場合に測位を PDR に切り替える。

The Proposal of Hybrid Indoor Positioning System Using Both BLE and PDR

[†] Daiki Kudo, Mitsuyoshi Horikawa, Tatsuya Furudate, Azuma Okamoto, Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University Graduate School

RSSIの傾向は、一定時刻前に観測されたRSSIの平均値と現在のRSSIの平均値の差から判定する。

(2) PDRからBLE測位への切り替え

BLE測位の基準地点推定により、いずれかのBLEビーコンの直下に測位対象が存在すると推定された場合、測位をBLE測位に切り替える。

4. 評価実験

4.1. 評価概要

提案手法の有効性を確かめるため、歩行者ナビゲーションを想定した評価実験を行う。BLE測位とPDRに加え、一般的な地磁気を用いたPDR(地磁気PDR)を実装し、測位誤差を評価する。測位誤差は、図3に▲で示すA1~A6の各地点を通過した際の、推定値と実際の座標とのユークリッド距離で計算する。

4.2. 実験概要

実験は、岩手県立大学の構内環境(図3)で行う。通路に沿って6個のBLEビーコンを天井に設置し、胸付近にスマートフォンを保持した状態で歩行経路を10周する。なお、提案手法におけるPDRでは、BLE測位と組み合わせて移動方位を計算するため、A5地点から開始地点までBLE測位を行い、移動方位を算出する。測位端末にはAndroid 6.0のNexus9を用い、BLEビーコンは株式会社イーアールアイ製のBLU250-Hを使用する。なお、今回の評価実験では、測位端末の保持姿勢による影響は考慮しない。

4.3. 実験結果

実験結果として、A1~A6地点における測位誤差を表1に、各測位手法の典型的な測位結果を図3に示す。表1から、BLE測位とPDRは測位誤差が3m以内に抑えられているのに対し、地磁気PDRはA3~A6にかけて4m以上の測位誤差が生じている。

図3に示す各測位結果の典型例を見ると、BLE測位はBLEビーコンの設置地点を通過した際に誤差が解消し、高精度に測位できている。また、PDRは移動距離の誤差は見られるものの、移動方位は正確に算出されており、高精度に測位できている。一方で、地磁気PDRでは磁場の乱れが影響して全体的な移動方位が傾き、測位誤差が大きくなっている。

4.4. 考察

評価実験から、提案手法では誤差3m以内の測位が可能であることが分かる。しかしながら、PDRでは移動距離の推定誤差が見られるため、長時間稼働すると累積誤差により測位精度が著しく低下してしまう。提案手法では歩幅を定数として設定しているため、BLE測位を用いた歩幅の推定手法を検討することで、移動距離の誤

表1 測位誤差

	提案手法		地磁気
	BLE測位	PDR	PDR
A1[m]	2.76	1.42	1.66
A2[m]	1.00	1.89	2.57
A3[m]	2.14	2.67	7.56
A4[m]	2.44	2.40	6.12
A5[m]	1.01	2.48	8.00
A6[m]	1.92	2.12	4.56
平均誤差	1.88	2.16	5.08
標準偏差	0.67	0.42	2.38

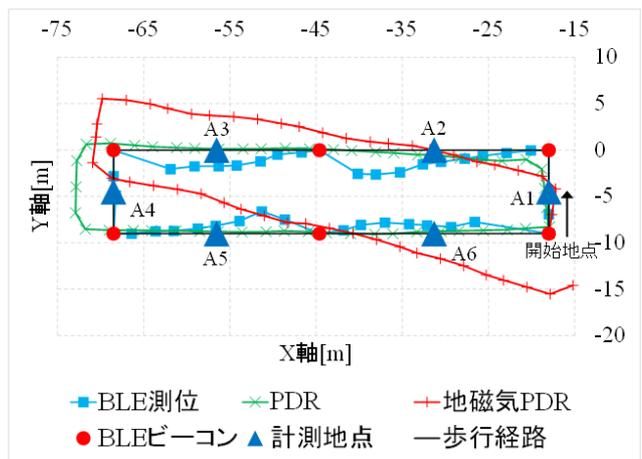


図3 実験環境および実験結果の典型例
 差の軽減が期待できる。また、今回の評価実験では考慮しなかった端末の保持姿勢による影響について、今後は検討する必要がある。

5. おわりに

本稿では、RSSIを用いた動的な測位の切り替えと磁場の乱れに影響しないPDRを提案し、BLE測位とPDRを用いたハイブリッド型の屋内測位手法を実現した。また、評価実験により従来手法よりもBLEビーコンの設置個数を削減しつつ、誤差3m以内の測位が可能であることを示した。今後は、カルマンフィルタを用いた測位手法の併用や、パーティクルフィルタを用いた測位精度の向上について検討を進める。

- 1) 古舘達也, 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) 沢田健介, 花田雄一, 森信一郎 : Wi-Fi ビーコンと歩行者自立航法を使用する屋内歩行者測位技術, 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信, 2014-MBL-73(27), p1-10(2014).