

# BLE 位置測位および PDR を用いた ハイブリッド型屋内位置測位手法の提案

堀川三好<sup>†1</sup> 古舘達也<sup>†1</sup> 工藤大希<sup>†2</sup> 岡本東<sup>†1</sup>

本稿は、BLE (Bluetooth Low Energy) ビーコンを用いる位置測位とスマートフォンに搭載されている加速度、地磁気、ジャイロセンサを利用した PDR (Pedestrian Dead Reckoning) を併用するハイブリッド型屋内位置測位手法を提案する。従来、BLE 位置測位と各種センサを用いる PDR のハイブリッド型屋内位置測位では、PDR による累積測位誤差を修正するために BLE ビーコンを用いる事例が多い。本稿では、複数の BLE ビーコンの受信信号強度の変位から移動方位や移動距離を求める移動変位推定と、累積測位誤差を補正する基準地点推定を併せ持つ BLE 位置測位手法を提案する。また、位置測位に利用可能な BLE ビーコン数に応じて BLE 位置測位と PDR を切り替えるハイブリッド型の屋内位置測位手法を用いて歩行者ナビゲーションシステムを開発および評価した結果を報告する。

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

MITSUYOSHI HORIKAWA<sup>†1</sup> TATSUYA FURUTATE<sup>†1</sup>  
DAIKI KUDOU<sup>†2</sup> AZUMA OKAMOTO<sup>†1</sup>

This paper proposes a hybrid indoor positioning system using both BLE (Bluetooth Low Energy) and PDR (Pedestrian Dead Reckoning). Many cases of hybrid positioning system were proposed as PDR with positioning error correction by BLE. The proposed system calculates a moving distance and direction using RSSI (Received Signal Strength Indication) observed from BLE beacons. The system also enables to switch from BLE to PDR depending on number of observed BLE beacons. This paper reports the development states and evaluates a prototype of pedestrian navigation system.

### 1. はじめに

屋内位置測位は、GPS を用いる位置測位と併用して屋内外シームレス位置測位を実現することにより、観光ガイド/ナビゲーション、高齢者/障がい者の行動支援、災害時の避難誘導および O2O 分野における応用展開が期待されている。様々な屋内位置測位手法が提案されているが、現状においては Wi-Fi/BLE (Bluetooth Low Energy) の受信信号強度を利用する位置測位手法 [1] や各種センサを利用する PDR (Pedestrian Dead Reckoning) とマップマッチングを組み合わせた手法 [2] を中心に実証実験や実務導入が進められている。しかしながら、精度や導入負荷の観点から未だ多くの課題が残されている。

本稿では、BLE ビーコンの受信信号強度を用いて位置測位を行う技術 (以後、BLE 位置測位と呼ぶ) と加速度、ジャイロ、地磁気等の各種センサを用いる PDR を併用したハイブリッド型位置測位を提案する。

まず、複数の BLE ビーコンの受信信号強度の変位から移動方位や移動距離を求める移動変位推定と累積測位誤差を基準地点で補正する基準地点推定を併せ持つ BLE 位置測位手法を提案する。その特徴として、端末の保持姿勢や性

能および壁などの障害物による影響が小さく、また BLE ビーコンを比較的少ない配置で実現できる点が挙げられる。

次に、BLE 位置測位と PDR を併用するハイブリッド型位置測位を提案する。提案する BLE 位置測位を行うためには、複数の BLE ビーコンの信号を受信する必要がある。屋内において BLE ビーコンを設置する際には、電源の確保や障害物等の物理的な制約から、必ずしも理想的な配置が行えるわけではない。したがって、位置測位に利用可能な BLE ビーコンが少ない時には、PDR に切り替える屋内位置測位手法を提案する。

最後に、提案する屋内位置測位手法をもとに歩行者ナビゲーションシステムを開発および評価した結果について報告する。

### 2. 屋内位置測位に関連する先行事例・研究

#### 2.1 屋内位置測位に関連する取り組み

屋内位置測位における国の動きとして、国土交通省が行う東京駅周辺高精度測位社会プロジェクト [3] や G 空間社会実証プロジェクトがある。東京駅周辺高精度測位社会プロジェクトでは、平成 26 年度までに、屋内地図の整備方法の検討や屋内外の主要測位サービスにおける現状の精度や課題について報告しており、平成 27 年度は障がい者向けナビゲーションなどの実証実験を継続している。また、鉄道などの社会インフラや民間企業サービスとして独自の屋内位置測位サービスが展開されており、対象領域は公共施

<sup>†1</sup> 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科  
Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural  
University Graduate School

<sup>†2</sup> 岩手県立大学ソフトウェア情報学部  
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

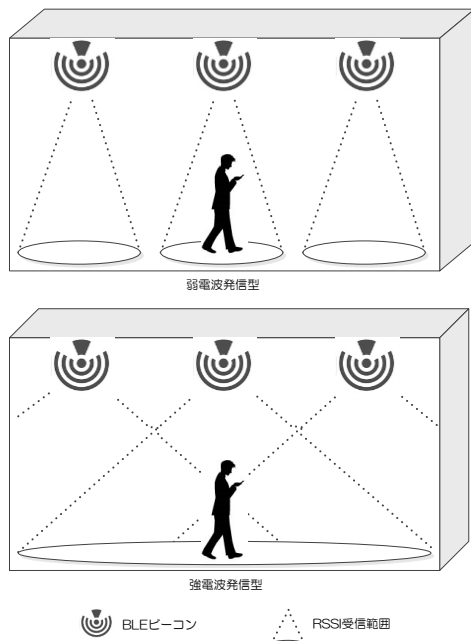


図 1 受信信号強を利用する位置測位の種類  
 Figure 1 Type of location positioning using RSSI

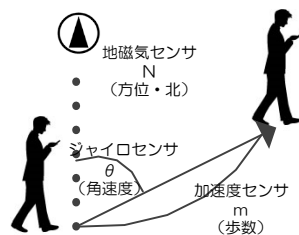


図 2 各種センサを用いた PDR の仕組み  
 Figure 2 Outline of PDR

設のナビゲーションのみならず観光や障がい者支援 [4] など様々な分野に及んでいる。

## 2.2 受信信号強度を用いる位置測位に関する研究

受信信号強度を用いる屋内位置測位は、Google や Yahoo! を始めとした地図サービスと連携する Wi-Fi 位置測位 [5] [6] の実務導入が進められている。iBeacon の登場により BLE 位置測位も注目を集めるようになり、安価な BLE ビーコンを設置することで、O2O 分野での活用のみならず、従来の位置測位では解決が困難である課題への利用について検討されている。

従来の BLE 位置測位では、BLE ビーコン直下で位置測位 (以後、基準地点推定と呼ぶ) を行うことが多く、PDR において測位誤差の累積を補正する技術として併用が進められている [7]。また、複数の Wi-Fi/BLE ビーコンの受信信号強度から三点測量 [8] やフィンガープリント方式 [9] により位置測位をする技術が提案されているが、受信信号強度の観測値が不安定であるため精度が悪く、また事前学習が必要となるなど導入負荷が高い理由から導入が進んで

いない [10]。

これらの方法は、図 1 に示すように電波強度の観点から弱電波発信型と強電波発信型に分類することができる。弱電波発信型は、単一ビーコンからの受信信号強度を用いた位置測位であるため原理が単純で導入の容易性はあるものの、大まかな位置測位しかできない。また、基準地点推定における電波受信強度の閾値が端末性能や環境により異なる課題がある。強電波発信型は、複数ビーコンの受信信号強度を用いて詳細な位置測位が可能となるが、高精度で端末性能に依存しないアルゴリズムの開発が必要となる。

## 2.3 各種センサを用いる位置測位に関する研究

各種センサを用いる位置測位は、一般に PDR (歩行者自律航法) として知られ、様々な研究がなされている [11] [12]。多くは図 2 に示すように、移動距離を加速度センサによる歩数の計算および移動方向を地磁気センサとジャイロセンサを用いて計算することで移動変位を算出し、PDR を実現している。また、屋内位置測位では重要となる建物内のどの階層にいるか、および屋内外の切り替えの判断を気圧センサで行う場合が多い。

PDR は、スマートフォンなどがあれば他の設備を設置しなくても容易に導入できる点が利点としてあげられる。反面、端末の保持姿勢や各種センサの性能に依存する点や建物構造内の磁場による影響を大きく受けるため、各種センサ単独での導入は難しく、マップマッチングや BLE ビーコンによる補正の併用による検討が多い [13] [14]。

## 3. 提案するハイブリッド型屋内位置測位手法

### 3.1 提案手法の概要

本稿では、BLE 位置測位を主な位置測位手法として利用し、位置測位に利用可能な BLE ビーコンが少ない場合は PDR に切り替えるハイブリッド型屋内位置測位手法を提案する。BLE 位置測位では、受信信号強度の変位に基づき移動変位 (移動方向と距離) を算出し、BLE ビーコン直下で基準地点推定をすることで、PDR と同様な歩行者ナビゲーションを可能とする。本稿で用いる PDR は、一般的な技術を利用するが、PDR における端末固有の測位誤差をキャリブレーションする機能を持つことで精度向上を目指す。図 3 に提案手法の概要を示す。

### 3.2 BLE 位置測位手法

本稿では強電波発信型の BLE 位置測位手法 [15] を利用する。提案手法は、図 4 に示すように複数の BLE ビーコンの受信信号強度から移動方位および移動距離を求める移動変位推定と累積測位誤差を BLE ビーコン直下で補正する基準地点推定で構成される。従来の BLE 位置測位は、受信信号強度の閾値を設定することで基準地点推定を行い、大雑把な位置測位を行う方法が主流である。提案する BLE 位置測位手法では、PDR と同様にリアルタイムに詳細な自位置の測定を行う。提案する BLE 位置測位手法の特徴として、

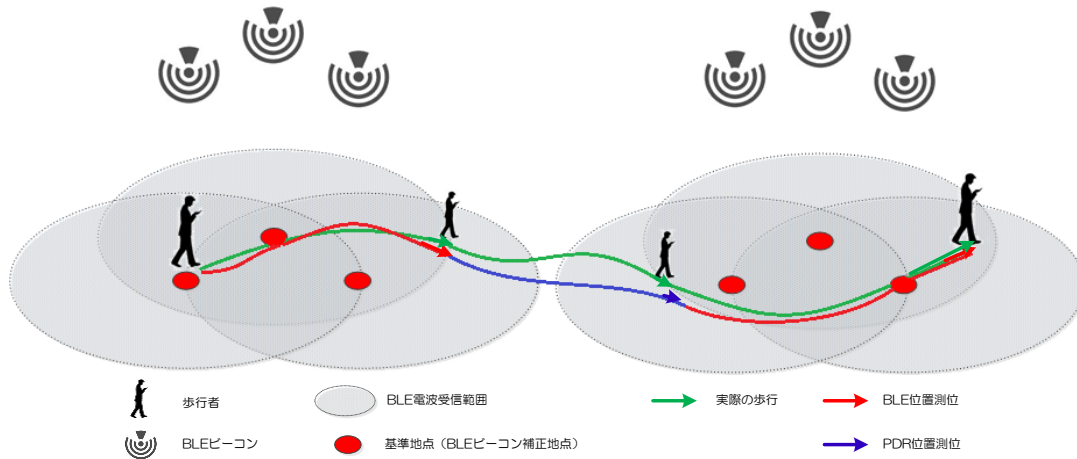


図 3 ハイブリッド型屋内位置測位手法の概要

Figure 3 Outline of proposed hybrid indoor positioning system

次の点が挙げられる。

- ①複数 BLE ビーコンにおける受信信号強度の相対的な変位を利用して位置測位するため、端末性能による影響が小さい。
- ②電波を用いる位置測位ため、PDR に比べて端末保持姿勢の影響が小さい。
- ③BLE ビーコンの配置間隔は 15m~20m であり、従来の BLE ビーコンを用いた位置測位に比べ少ない数で位置測位が行える。

(1) 移動変位推定

移動変位推定では、BLE の受信信号強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) の変位を用いて移動方位と移動距離の推定を行う。すなわち、各 BLE ビーコンの RSSI から移動変位ベクトルを作成し、それらを合成した移動合成ベクトルを用いることで移動変位を算出する (図 5 を参照)。移動変位推定の手順を以下に示す。

(手順 1) RSSI 変化量の算出

$t$  時点から  $t+1$  時点までの各 BLE ビーコンに対する RSSI 変化量を算出する。

(手順 2) 移動変位ベクトルの算出

フリスの伝達公式 (式 1 および式 2) を用いて各 BLE

ビーコンに対する RSSI 変化量から移動距離を算出し、BLE ビーコンの方向を角度、大きさを距離とする移動変位ベクトルする。

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

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

$P_r$ : RSSI[dBm]

$P_t$ : 電波発信機の送信電力[dBm]

$G_r$ : 受信アンテナの利得[dBi]

$G_t$ : 送信アンテナの利得[dBi]

$L$ : 自由空間損失 [dBm]

$d$ : 距離[m]

$f$ : 周波数[Hz]

$c$ : 光速  $2.99792458 \times 10^8$ [m/s]

(手順 3) 移動合成ベクトルの算出

BLE ビーコンごとの移動変位ベクトルから移動合成ベクトルを作成する。

(手順 4) 移動変位の算出

移動合成ベクトルの角度を移動方向、大きさを移動距離とし、移動変位とする。

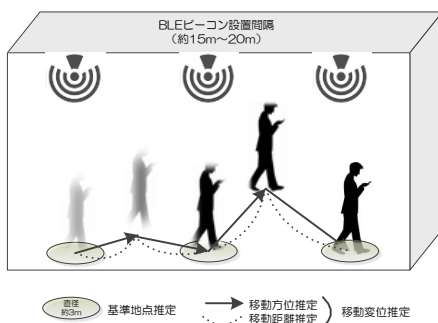


図 4 提案する BLE 位置測位手法

Figure 4 Outline of proposed BLE positioning system

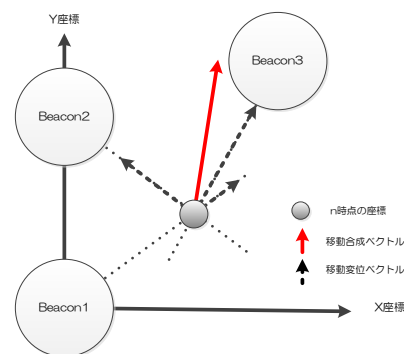


図 5 移動変位推定の仕組み

Figure 5 Calculation of a moving distance and direction

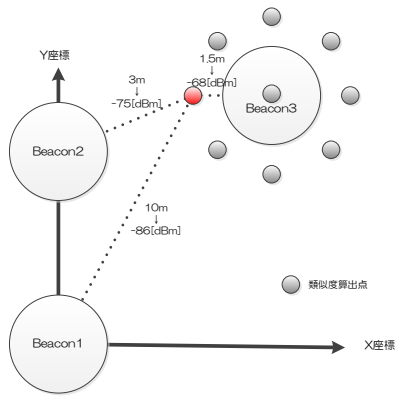


図 6 基準地点推定の仕組み

Figure 6 Calculation of positioning error correction

(2) 基準地点推定

基準地点推定では、各 BLE ビーコンの設置座標と推定位置の距離に基づく RSSI の理論値を成分とする理論 RSSI ベクトルと、RSSI の実測値を成分とする実測 RSSI ベクトルとの類似度を算出する。このとき、ベクトルの大きさではなく角度の類似度を算出することで、端末性能や環境による影響を小さくする点に特徴がある。基準地点推定の手順を以下に示す。

(手順 1) 類似度算出点の設定

実測 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 RSSI ベクトルの作成

各類似度算出点と周辺 BLE ビーコンの距離から、フリスの公式を用いて理論 RSSI を算出し、理論 RSSI ベクトル  $\vec{e}$  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。

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

(手順 4) 基準地点の算出

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。

3.3 PDR (Pedestrian Dead Reckoning)

提案する屋内位置測位手法では、PDR として各種センサを用いる一般的なものを利用する。すなわち、2.3 節で述べたように移動距離を加速度センサによる歩数の計算および移動方向を地磁気センサとジャイロセンサを用いて計算することで移動変位を算出する。PDR の課題として、以下の点があげられる。

- ① 端末の保持姿勢による影響が大きい
- ② 建物構造内の磁場による影響が大きい
- ③ 端末の各種センサの性能に依存する

①の課題については、近年様々な手法やアルゴリズムが提案され精度が向上されている。②の課題については、地磁気を用いるフィンガープリント方式やマップマッチングによる誤差修正が取り組まれている。また、③の課題については、各種センサの性能向上により解決可能である。

提案手法では、③の利用端末における個体差の課題を解決する仕組みとして PDR における角速度のキャリブレーション機能を持つ。

3.4 その他の関連手法

(1) BLE 位置測位と PDR の切り替え

提案する BLE 位置測位手法は、複数の BLE ビーコンの RSSI を利用する。従って、位置測位に利用可能な BLE ビーコンの数が 2 個以下の場合には、3.3 節で述べた PDR に切り替える。また、位置測位に利用可能な BLE ビーコンが 3 個以上になった際には、BLE 位置測位に切り替える。なお、屋内環境では 100m 離れた BLE ビーコンの信号を観測することもあるため、不必要な受信信号を除外するためのフィルタリング機能を有する。

(2) フロア判定

屋内位置測位では、現在どの階にいるかを判定する必要がある。提案手法では、BLE ビーコンの情報として経度・緯度の座標と共に設置階の情報を持たせ、各 BLE ビーコンの RSSI の大きさによって現在いる階の判定を行う。

4. 歩行者ナビゲーションシステム

4.1 ソフトウェア開発

提案する屋内位置測位手法は、屋内位置測位ライブラリとしてソフトウェア開発し、共同研究企業への提供を行う

表 1 ソフトウェアの開発状況および導入実績

Table 1 Development status of the proposed system

	分類	機能	ライブラリ	導入実績	備考	
ハイブリッド型屋内位置測位	BLE 位置測位	移動変位推定	移動方位	○	○	
			移動距離	△	○	加速度センサで代用
	手法	基準地点推定		○	○	
	PDR	基本機能		○	×	ハイブリッド型での導入実績なし
	その他	測位切り替え		○	×	
		フロア判定		○	○	

ており、国際会議アプリでの利用や公共交通インフラ向けアプリへの導入を進めている。また、実証検証やデモンストレーション用に歩行者ナビゲーションシステムのプロトタイプを独自開発している。

現在、提案するハイブリッド型屋内位置測位の各機能の開発状況および導入実績は、表1のようになっている。BLE位置測位手法を中心に導入が進んでいるが、PDRを含めたハイブリッド型屋内位置測位として今後の導入を検討している。また、BLE位置測位における移動距離については、加速度センサを用いる手法の精度が高いため、現在は代用をしている。

#### 4.2 プロトタイプシステム

ライブラリを用いて開発したプロトタイプシステムを用いて行った検証実験の一部を報告する。プロトタイプシステムは、Android用歩行者ナビゲーションアプリ（以後、アプリと呼ぶ）とBLEビーコンの設置情報を管理するコンテンツ管理システム（以後、CMSと呼ぶ）で構成される。すなわち、スマートフォンやタブレットPCでアプリを起動し、必要に応じてCMSへBLEビーコン情報を問い合わせ

表2 開発および利用環境

Table 2 Environment of development and application

CMS	OS	AWS EC2 Amazon Linux
	開発言語	Java8 系
	開発環境	NetBeans 8.0.2
	HTTP	Apache Http 2.4
	コンテナ	Apache Tomcat 8
	ライブラリ	Gson 2.3
アプリ	RDB	AWS RDB MySQL 5.6
	OS	Android4.3 以上 BLE 対応端末
	ライブラリ	blereceiver-v2.2.1.0 google-play-service-lib, Gson 2.3
	開発言語	Java7 系
	開発環境	NetBeans 8.0.2 plugin-NBAndroid

表3 BLEビーコン「BLU250」の仕様

Table 3 Specifications of BLU250

項目	内容
対応 OS	Bluetooth Ver4.0 準拠
周波数	2402~2480MHz
拡散方式	周波数ホッピング
送信電力	4dBm
電源	DC 3V コイン電池
消費電流	平均 30uA
外形寸法	40x40x12.5 mm
質量	約 17g (電池含む)



せる仕組みになる。アプリでは、開発ライブラリを用いて位置測位を行い、自位置を Google Map 上に表示をする。Google Map のサービスであるフロアマップが登録されている場合には、フロア判定が自動で行われるだけでなく、詳細な建物構造の閲覧および屋内ナビゲーションが利用できる。表2に開発および利用環境について要約する。

#### 4.3 評価

屋内位置測位ライブラリの BLE 位置測位機能における基本性能の評価と岩手県立大学の構内で行った検証実験の結果について報告をする。これらの実験では表3に示す株式会社イーアールアイ製の BLE ビーコンである「BLU250」を利用している。基本性能評価については、古舘らの研究 [16] [17] を以下に要約する。

##### (1) BLE 位置測位機能の基本性能評価

歩行者ナビゲーションの基本性能の評価実験として、十字路に5個のBLEビーコンを設置し、直進40m右折し20mする区間で測位誤差測定をする。基準地点推定は0.1秒間隔、変位推定は2秒間隔とする。

表4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した。これらを解決するためには、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。

##### (2) 基準地点推定の評価

基準地点推定は、PDRにおける測位累積誤差の補正や初期地点の認識など、単独で利用することができる。また、端末性能や環境による影響が小さいことから、展示会の各

表4 基本性能の評価実験結果

Table 4 Summary of basic evaluation experiment

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5 基準地点推定の評価実験結果

Table 5 Experimental results of positioning error correction

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

ブースなどに BLE ビーコンを設置し、近接に応じて情報配信などを行うサービスへの利用もされている。そのため、展示ブースを想定して基準地点推定の測位誤差について評価実験をする。

展示ブースの最小単位は 1 小間 (3m×3m) 程度であり、訪問者は展示商品がよく見えるように 1m 程度以内の距離に近づき一時的に立ち止まることを想定する。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。実験環境として、計 6 個の BLE ビーコンを、通路を挟んで 3m 間隔に設置し、基準地点推定のみを 0.1 秒間隔で実行する。実験方法は、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 5 に各組合せ 10 回計測を行った実験結果を示す。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。実験結果より、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ことがあり測位精度が低下するが、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る。

### (3) ハイブリッド型屋内位置測位の検証実験

ハイブリッド型屋内位置測位の検証実験として、岩手県立大学ソフトウェア情報学部棟の 1 階から 3 階に BLE ビーコンを配置し、検証実験を行う。図 7 に示すように、2 つの口型の吹き抜け構造の建物 (A 棟および B 棟) の B 棟に各階 8 個の BLE ビーコンを配置する。BLE ビーコンは、図 8 に示すように天井から吊り下げた状態で設置し、高さは約 3m である。また、2 棟をつなぐ渡り廊下には BLE ビーコンは設置せず、この区間を歩行時には PDR に切り替わることを想定する。アプリでは、階段の昇降において自動で階判別を行い、地図上に自位置と共に所在フロアが表示される。併せて、BLE 位置測位および PDR での位置測位が表示される。

図 9 は、3 階のフロアを歩行した際の実験結果を示している。計測端末として、Nexus9 (Android5 系) を使い 10 回の計測を行った平均値を示している。BLE 位置測位は、建物構造や障害物の影響は小さく、概ね精度よく測位できるが、直角の折曲地点では、移動方位への反応が若干遅くなる。しかしながら、基準地点への補正されるため、最大測位誤差は大きくはならない。また、BLE 位置測位から PDR の切り替えについては、位置測位に利用可能な BLE ビーコンが 2 個以下の際に切り替える。PDR の区間では端末性能や保持姿勢および磁場による影響は大きいものの、BLE 位置測位区間に入り基準地点で補正されている。

## 5. おわりに

本稿では、BLE ビーコンの受信信号強度を用いる位置測

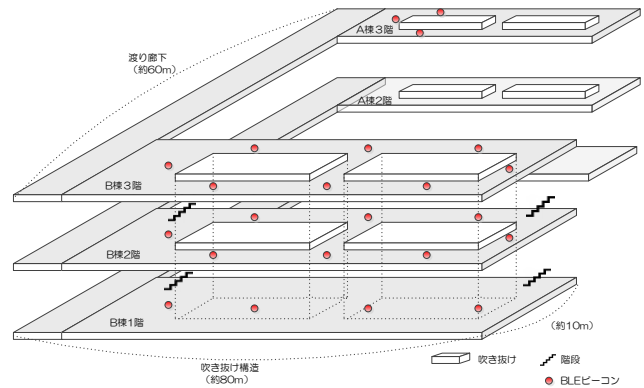


図 7 ハイブリッド型屋内位置測位の実験環境  
 Figure 7 Experimental environment of hybrid positioning system

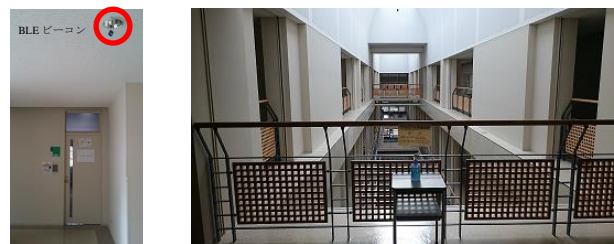


図 8 実験場所 (B 棟 3 階)

Figure 8 Pictures of experimental environment

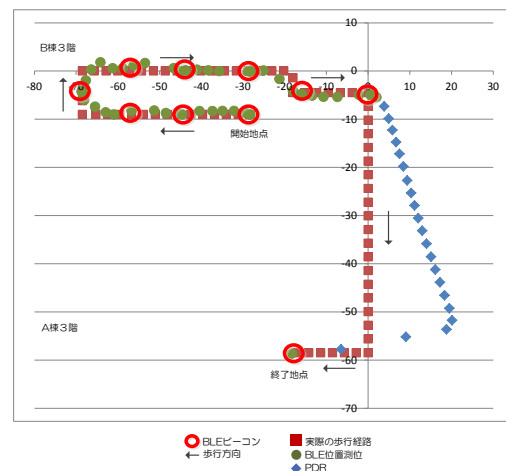


図 9 ハイブリッド型位置測位の実験結果  
 Figure 9 Experimental results of hybrid positioning system

位手法を提案した。また、BLE 位置測位と加速度、ジャイロ、地磁気等の各種センサを用いる PDR を併用したハイブリッド型位置測位を提案した。さらに、提案手法を用いてソフトウェア開発を行い、プロトタイプシステムを用いて評価実験を行った。提案する屋内位置測位手法は、現在まだ開発途中ではあるが、実証実験を通して継続して開発を進めていく予定である。

BLE 位置測位は、BLE ビーコンを設置する必要があるも

の高精度の測位が可能な技術である。さらに、PDR や他の位置測位手法との併用により、屋内位置測位の実務導入が進むと思われる。今後、BLE 位置測位を行うためのさらなる手法の検討や屋内位置測位に適した BLE ビーコンの開発を行う必要がある。

術フォーラム講演論文集) 第4分冊, pp.311-312, (2015)

## 参考文献

- 1) 近藤竜之介, 三田哲也: 駅構内における屋内測位に関する基礎研究, JR EAST Technical Review No.47, pp.45-48, (2014).
- 2) 株式会社 NTT ドコモ報道発表資料: 新たな屋内ナビゲーション技術を開発 - スマートフォンの動きと地図情報を活用した屋内ナビゲーションを実現, [https://www.nttdocomo.co.jp/info/news\\_release/2015/02/19\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/02/19_00.html), (2015/2 リリース).
- 3) 国土交通省: 東京駅周辺高精度測位社会プロジェクト検討会, [http://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku\\_tk1\\_000058.html](http://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk1_000058.html), (2015/9/4 アクセス).
- 4) 清水建設株式会社ニュースリリース: 視覚障がい者を屋内外の区別なく快適にナビゲーションへ技術研究所内に常設体験施設を開設, [http://www.shimz.co.jp/news\\_release/2015/2015028.html](http://www.shimz.co.jp/news_release/2015/2015028.html), (2015/7 リリース).
- 5) 山田直治, 磯田佳徳, 南正輝, 森川博之: プレゼンスシステム実現のための無線 LAN を用いた高精度な屋内エリア推定方式, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.8, pp.1845-1855, (2009).
- 6) 梶克彦, 河口信夫; indoor.Locky UGC を利用した無線 LAN 屋内位置測位情報基盤, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.12, pp.3263-3273, (2011).
- 7) 石塚宏紀, 上坂大輔, 渡邊孝文, 黒川茂莉, 小野智弘: BLE シグナルと PDR によるハイブリッド屋内測位手法の基礎検討 ~ Open Beacon Field Trial 参加における実験結果の共有 ~, 情報処理学会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-71, pp.1-6 (2014).
- 8) 佐藤智美, 小宮山哲, 下田雅彦, 劉渤江, 横田一正: Bluetooth の電波強度を用いた位置推定方式の検討, 技術報告 9, DEIM Forum (2011).
- 9) 谷内 大祐, 前川卓也: 位置フィンガープリントの自動更新を用いた電波環境変化に頑健な屋内位置推定手法, 情報処理学会誌, Vol.55, No.1, pp.280-288, (2014).
- 10) 古館達也, 堀川三好, 菅原光政: 受信信号強度を用いた屋内測位手法の提案, 情報処理学会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(21), pp.1-8, (2014).
- 11) 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, 情報処理学会誌, Vol.52, No.2, pp.558-570, (2011).
- 12) 星尚志, 羽多野裕之, 藤井雅弘, 渡辺裕: スマートフォンのセンサを用いた保持状態に基づく歩行者デッドレコニングに関する一検討, 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, Vol.2014, No.1, pp.211-212, (2014).
- 13) 吉見駿, 村尾和哉, 望月祐洋, 西尾信彦: マップマッチングを用いた PDR 軌道補正, 情報処理学会研究報告ユビキタスコンピューティングシステム, 2014-UBI-44(20), pp.1-8 (2014).
- 14) 田川達司, 内匠逸, 打矢隆弘: カルマンフィルタとマップマッチングを用いた歩行者経路の推定精度向上に関する研究, 情報処理学会第 75 回全国大会講演論文集, Vol.2013, No.1, pp.207-208, (2013).
- 15) 古館達也, 堀川三好, 菅原光政: 歩行者を対象とした屋内測位手法の提案, 情報処理学会第 77 回全国大会, 2W-02, pp.3-313-314, (2015).
- 16) 古館達也, 堀川三好, 菅原光政: 歩行者ナビを対象とした屋内位置測位システムの導入と評価, 日本経営工学会 2015 年春季大会予稿集, pp.120-121, (2015).
- 17) 古館達也, 堀川三好, 工藤大樹, 岡本東: Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた屋内位置測位に関する研究, 第 14 回情報科学技