

# Bluetooth Low Energy の通信特性を考慮した測位システムに関する研究

古舘 達也<sup>†</sup> 堀川 三好<sup>†</sup> 岡本 東<sup>†</sup>

岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科<sup>†</sup>

## 1. はじめに

著者らは、GPS 利用が困難な屋内環境を対象に、Bluetooth Low Energy ビーコンの受信信号強度 (RSSI) を用いた、歩行者ナビゲーション向け測位手法を提案してきた [1]。提案手法は、機種性能差が小さい点に特徴があるが、近年では物品管理や行動分析など業務用途での位置情報利用に期待が集まっている。

本稿では、倉庫や工場における物品管理を想定した位置推定手法を提案する。提案手法は、BLE 通信特性を考慮した手法であり、機種性能差が小さいという特徴がある。また、評価実験によってその有効性を明らかにする。

## 2. 関連研究

従来技術として、測位領域内の RSSI を事前学習し、学習値と現在値の類似度から測位を行うフィンガープリンティングが提案されている [2]。当該手法は、一般に高精度測位が可能とされているが、事前学習コストの大きさが課題である。

一方、モバイル端末が内蔵する各種センサを用いた歩行者自律航法 (PDR: Pedestrian Dead Reckoning) が提案されている [3]。ビーコンなどのインフラを必要とせず、センサ値から歩行者の移動を推定するため導入コストが小さいが、測位誤差の蓄積や初期座標の推定が課題である。

## 3. Bluetooth Low Energy の通信特性

図 1 は、RSSI 計測実験の結果を表しており、横軸はビーコンからモバイルまでの距離 [m]、縦軸は RSSI [dBm] を表している。実験では、ビーコンとモバイル端末を高さ 0.63m の台に設置し、1m 間隔に各地点 1 分間計測を行った。

実験の結果、RSSI の強さはモバイル端末の種類によって大きな差が見られる。一方、発信機からの距離に応じて RSSI は減衰することが知られているが、その減衰率に差は見られなかった。したがって、4 章では RSSI の強さではなく、相対的なベクトル空間モデルを用いた、機種性能差の小さい測位手法を提案する。

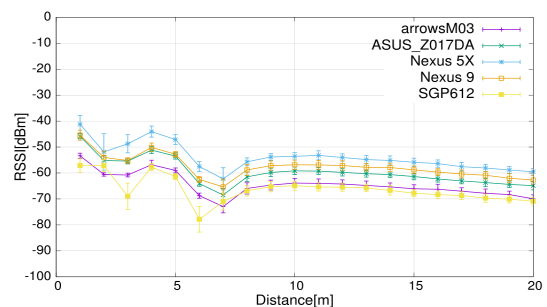


図 1 RSSI と距離の関係

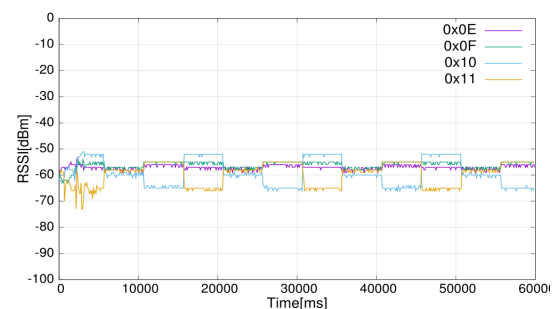


図 2 チャンネル切り替えによる変化

また、図 2 は屋内環境に 4 台のビーコンを設置し、固定した SGP612 を用いて、1 分間 RSSI を計測した際の時間的変化を示している。実験より、RSSI は 5 秒周期で推移することがわかる。この現象は、多くのモバイル端末が 5 秒周期で BLE のスキャンチャンネル変更しているために発生しており、測位精度への影響も大きいと考えられる。本稿では、6 章においてチャンネル変化がどれほど測位精度に影響を及ぼすのか明らかにする。

## 4. 測位手法の提案

本章では、3 章で示した RSSI の機種による強さの違いを考慮した測位手法を提案する。提案手法は、フィンガープリンティングの事前学習に代わり、ビーコンからの距離に応じた理論上の RSSI を用いる手法である。尚、ビーコンの設置座標は既知であるものとし、一般的なモバイル端末を測位端末とした場合の測位手順を示す。

### 手順 1: 類似度算出点の設定

手順 1 では、電波を観測したビーコン設置座標の内側を測位領域とし、格子状に分割する。また、分割した各セルを類似度算出点とする。

### 手順 2: 類似度算出点における理論 RSSI の算出

手順 2 では、手順 1 で設定した各類似度算出点

A Study of Positioning System Considering Characteristics of Bluetooth Low Energy

Tatsuya Furudate<sup>†</sup> Mitsuyoshi Horikawa<sup>†</sup> Azuma Okamoto

<sup>†</sup>Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University



図 3 実験環境

における理論上の RSSI をビーコン毎に算出する。ビーコン設置座標は既知であるため、ビーコンから類似度算出点までの距離を求めることで、理論上の RSSI を算出することが出来る。

手順 3 : 類似度算出

手順 3 では、類似度算出点毎に、理論上の RSSI を成分とする理論値ベクトルと、実測した RSSI を成分とする実測値ベクトルのコサイン類似度を算出する。図 1 より、RSSI の強さは機種により異なるが、コサイン類似度では 2 ベクトルの大きさでは無く、向きから類似度を算出するため、機種性能差を低減することが可能である。

5. 測位システムの設計

位置情報サービスの多様な用途に合わせて測位手法を組合せるため、コンポーネント層、プロバイダー層、サービス層の 3 層からなる測位システムを提案する。コンポーネント層は、スケジューリングや座標系の変換など測位システム全体に共通する機能を提供し、プロバイダー層は、コンポーネント層の機能を活用し測位処理の中核となる処理を記述する（格子位置推定や文献[1]などが該当）。また、サービス層はプロバイダーの管理を行い、推定結果をユーザーアプリケーションに通知するインターフェースの役割を担う。

本研究では、Android 端末を対象に歩行者ナビゲーションやジオフェンシング用途の測位システムを作成しているが、本稿では物品管理を想定した測位システムについてのみ評価を行う。

6. 評価

提案手法の測位精度に関する評価実験を報告する。実験は、図 3 に示す環境で実施し、青丸がビーコン設置座標を示している。実験環境は、吹き抜けを囲むように通路があり、また中央付近に渡り廊下が存在する。通路の X 方向は 51m, Y 方向は 9m である。本実験では、通路上を 3m 間隔で移動し（合計 42 地点）、各地点 1 分間静止した状態で計測を行った。

表 1 に各計測端末の平均計測結果を示す。図 1 より、RSSI は機種によって大きく異なるが、提案手法では機種による差が小さいことがわかる。一方、概ね 5m 程度の測位誤差が発生しており、例えば、日本国内で広く利用される T11 型パレット (1.1m×1.1m) 単位での識別は困難と言える。

表 1 測位誤差[m]

	arrows M03	ASUS_Z 017DA	Nexus 5X	Nexus 9	SGP612
平均誤差	5.888	5.611	5.187	4.663	4.878
標準偏差	2.787	2.368	1.703	1.820	1.856
最小誤差	2.100	1.145	1.530	1.420	2.387
最大誤差	14.414	11.961	8.762	9.830	11.631

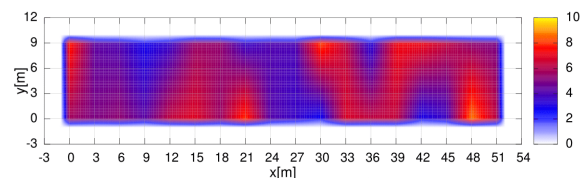


図 4 Nexus 5X の誤差マップ

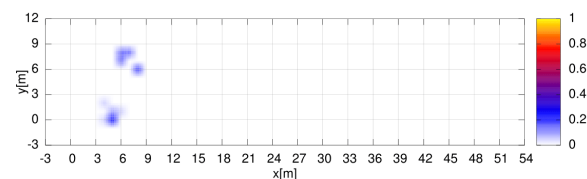


図 5 計測座標(3.0, 0.0)における推定結果

また、図 4 は Nexus 5X での実験結果を誤差マップとして表している。誤差の分布は一様では無いように思われるが、壁や柱など障害物との関連は発見できなかった。一方、チャンネル切り替えによる影響は大きく発生した。図 5 は Nexus 5X を用いて座標 (3.0, 0.0) で測位処理を行った際の測位結果の分布を表している。実験の結果、計測座標周辺に推定座標が分布するのは無く、幾つかの座標を周期的に推定していることがわかった。また、チャンネル切り替えに同期して座標は変化しており、場所や混雑状況による違いなど、今後更なる検証が必要である。

7. おわりに

本稿では、倉庫や工場における物品管理を想定に、BLE 通信特性を考慮した位置推定手法を提案した。また、Android 端末向けに測位システムの開発を行い、機種性能差が小さく、概ね 5m 程度の測位誤差であることを確認した。

今後は、チャンネル切り替えによる影響を低減する測位手法を検討する。また、測位システムの実利用に向けて、BLE と近傍型 RFID の組み合わせなどについて検討を行う予定である。

参考文献

[1] 古館達也, 堀川三好, 橋本和幸, 工藤大希, 岡本東: Bluetooth Low Energy ビーコンを用いた歩行者測位手法の提案, 第 15 回情報科学技術フォーラム(2016).

[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ジアン推定による無線 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).