

施設内における Bluetooth 方向探知機能を用いた 位置推定システムの初期検討

A Basic Study of Location Estimation System Using Bluetooth Direction Finding Function in Facilities

今尾 廉† 谷口 義明‡§ 井口 信和‡§
Ren Imao Yoshiaki Taniguchi Nobukazu Iguchi

1. 序論

近年, IoT技術やスマートシティ技術の発展に伴い, 様々な場面で Bluetooth Low Energy (以下, BLE)が活用されている. BLE は低電力・低コストに特化した Bluetooth の規格であり, スマートデバイスにおけるデータの送受信やウェアラブルデバイスの同期などに使用されている. そのため, IoT やスマートホーム, スマートシティの市場拡大とともに BLE を用いたサービスも拡大している.

スマートフォンなどのような機器には BLE 信号を発信できる機能が備わっており, これを利用して, 施設内における利用者の位置推定が可能である. これまでに BLE による位置推定には受信電波強度(以下, RSSI)を用いたものが多くあった[1][2]. しかし, RSSI は距離以外の様々な要因で変動するため, RSSI を用いた方法では高い精度で利用者の位置を推定することは難しい.

本研究では Bluetooth 5.1 から BLE に追加された方向探知機能を用い, より高い精度で利用者の位置推定を可能なシステムを検討する. Bluetooth の方向探知機能を用いると, 受信機から発信機への角度を測定することができる. 測定した角度を考慮することで発信機を持った人の位置をより高精度に推定することができ, より無駄の少ない施設の運用方法の検討やマーケティングを実現することができると思われる.

一方, Bluetooth 方向探知機能を持つ製品はまだ少なく, この機能を用いた位置推定については十分な評価がされていない. そこで, 本研究では Bluetooth の方向探知機能を用いた施設内の位置推定システムの実現に向けて, 方向探知の精度や性能を実験により評価する.

2. 関連技術

Bluetooth の方向探知機能を用いた施設内の位置推定システムとして Pixie Dust Technologies 社の高

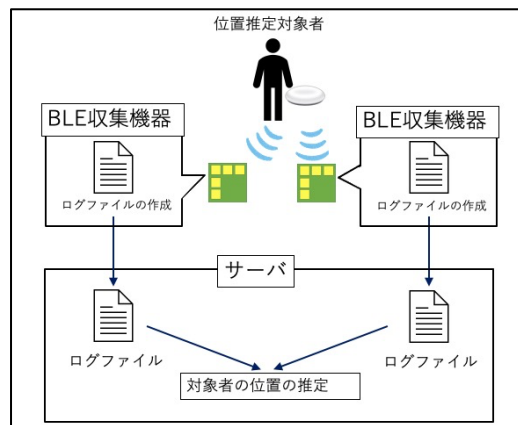


図1 システム構成図

精度屋内測位システム hackke [3]や Quuppa 社の屋内一測位システム Quuppa [4]が挙げられる. hackke は高精度屋内測位で位置情報活用 DX の促進を目的としたサービスであり, Quuppa は広い施設内で従業員や機器の位置情報をリアルタイムに記録し, 統計的な分析を行うサービスである.

この二つのサービスでは受信機を部屋の天井に設置して BLE 信号を収集することで機器の位置を推定する. 受信機を天井に設置することで障害物が少なくなることや, 1 台の受信機から得られた水平と垂直の角度から発信機の位置を推定することができるといったメリットが挙げられる. しかし, 施設の天井に設置すると工事が必要であることに加えて天井に機器を設置できない施設も存在する. そこで本研究では施設内の側面に受信機を設置する場合も考慮する.

3. 位置推定システム

本章では Bluetooth 方向探知機能を用いた施設内の位置推定システムの詳細を述べる.

3.1. システム概要

本システムのシステム構成図を図 1 に示す. 本システムでは, 施設内の様々な場所に BLE 収集機器が設置されている環境を想定する. 位置推定対象者はスマートフォンなどの BLE 発信機を保有しており, BLE 発信機は定期的に BLE 信号を送信す

†近畿大学大学院総合理工学研究科,
Graduate School of Science and Engineering,
Kindai University.

‡近畿大学情報学部, Faculty of Informatics,
Kindai University.

§近畿大学情報学研究所, Cyber Informatics Institute,
Kindai University

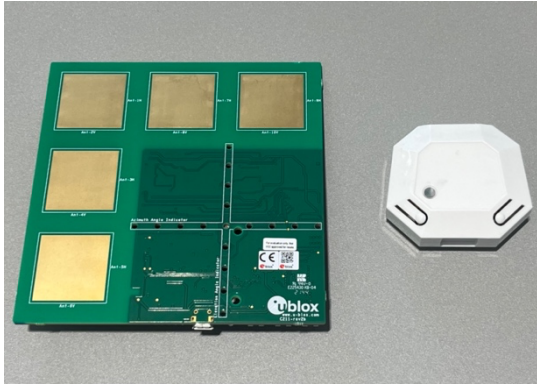


図 2 (左)C211 application board
(右)C209 tag

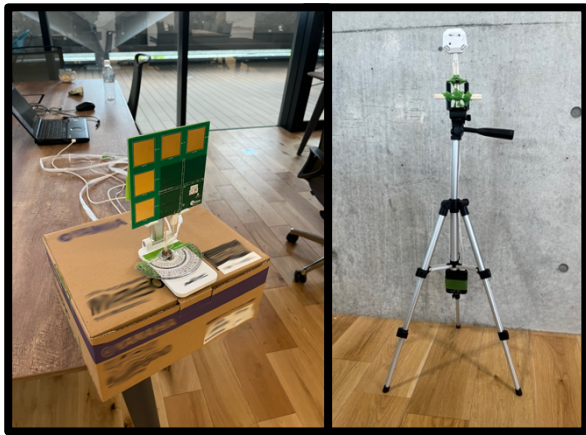


図 3 設置された C211 アンテナ(左)と
C209 ビーコン(右)

るものとする。施設内に設置された BLE 収集機器は BLE 発信機から送信された BLE 信号を受信する。この時、受信したデータや方向探知機能により得られた方向を記録したログファイルを作成する。そのログファイルをサーバへ送信し、サーバで位置推定対象者の位置を推定する。

3.2. 使用機器

BLE 発信機器としてスマートフォンを想定しているが、Bluetooth 5.1 は比較的新しい技術であり Bluetooth 5.1 が搭載されている機器が少ない。そのため本研究では、u-blox 社の XPLR-AOA-2 キットを使用して BLE 信号の送受信を行う。キットに含まれるアンテナ、ビーコンを図 2 に示す。BLE 収集機器には C211 application board (以下、C211 アンテナ)を使用する。C211 アンテナは 5 つのアンテナから構成されたアレイアンテナでありアンテナごとの位相差から BLE 信号の水平方向と垂直方向の角度を取得できる。BLE 発信機には C209 tag (以下、C209 ビーコン)を使用する。C209 ビーコンはアドバタイジング packets に CTE (Constant Tone Extension) を追加して発信する。CTE は C211 アンテナ上で到着角を計算するために使用される。

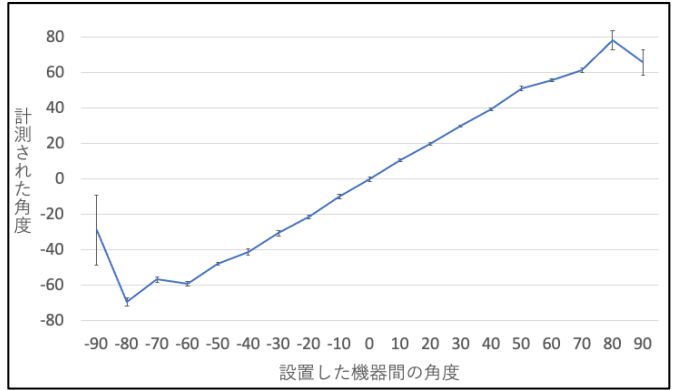


図 4 実際の角度と測定された角度(1 m 間)

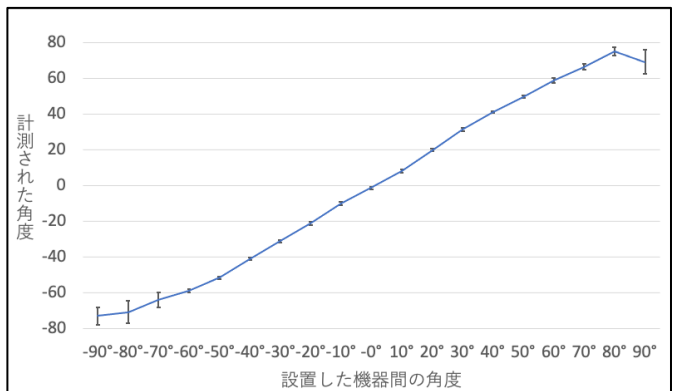


図 5 実際の角度と測定された角度(2 m 間)

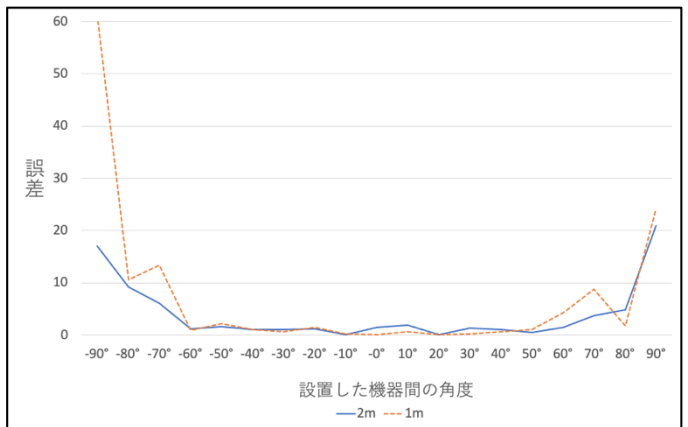


図 6 実際の角度と測定された角度の誤差

4. 評価

位置推定システムを開発するためには方向探知機能の精度を評価する必要がある。本章では方向探知機能に関する精度評価実験の概要について述べる。本評価において、図 3 のように C211 アンテナはスタンドに固定して 8.5 m の高さに設置し、C209 ビーコンは三脚に固定し、9 m の高さに設置している。また、C209 ビーコンは 20 ms ごとにアドバタイジング packets を送信する。

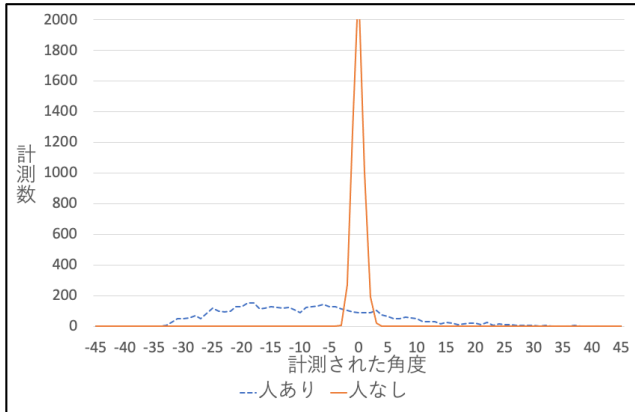


図 7 計測された角度の分布(2 m)

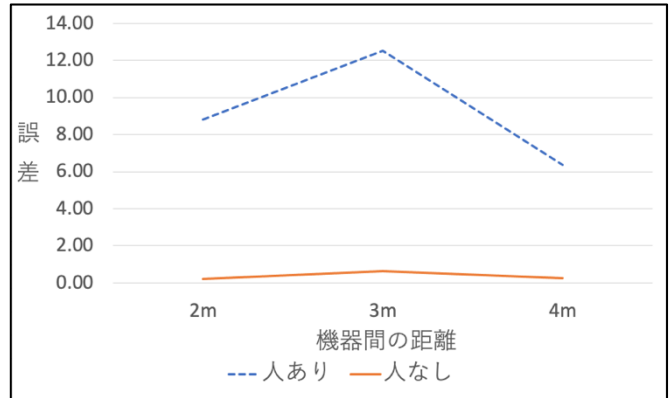


図 10 機器間に人を配置した際の誤差比較

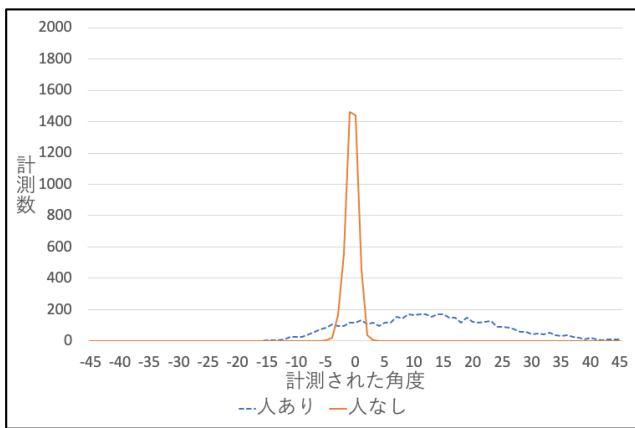


図 8 計測された角度の分布(3 m)

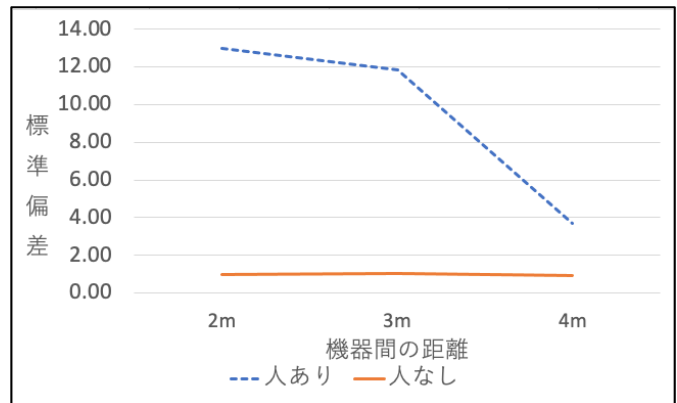


図 11 機器間に人を配置した際の標準偏差

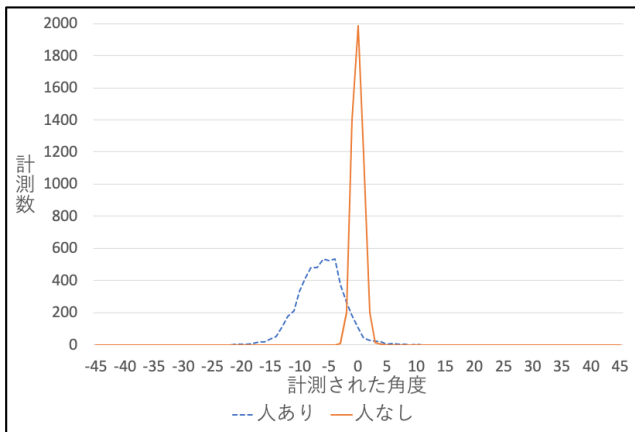


図 9 計測された角度の分布(4 m)

4.1. 角度と距離を変えた場合の基礎評価

まず、C211 アンテナと C209 ビーコンを角度と距離を変えて設置した場合の方向推定精度を評価した。実験では水平方向の角度のみを計測した。二つの機器間に障害物が置かれていない状態で C211 アンテナと C209 ビーコンの距離を 1 m、2 m と離れた場合の計測を行った。また、C211 アンテナの真正面を 0° とし、C209 ビーコンの設置角度を

90° から -90° まで 10° 区切りで変化させた。測定により得られた 2000 パケットのデータから角度情報を取り出し、平均角度と標準偏差を算出した。

機器間の距離が 1 m の場合の測定結果を図 4、距離が 2 m の場合の測定結果を図 5、距離が 1 m、2 m の際の絶対誤差を図 6 に示す。図 4、5 において横軸は C211 アンテナから C209 ビーコンへの水平方向の角度、縦軸は計測された角度を示しており、黒い線は実際の角度の標準偏差に基づくデータのばらつきを示している。図 6 において横軸は C211 アンテナから C209 ビーコンへの水平方向の角度、縦軸は実際の角度からの誤差の絶対値を示している。これらのグラフから、 60° から -60° の範囲では誤差やばらつきが小さく正確に測定できていることがわかる。しかし、 70° を超えると測定された角度にばらつきが見られ、 80° を超えると実際の角度と差異が見られる。そのため、実際に BLE 収集器を設置する際には測定する角度の範囲に留意する必要がある。

4.2. 機器間に人がいる場合の評価

実際にシステムを用いて位置推定をする際には利用者が発信機をポケットに入れることや、手に持って持ち歩くことが想定される。そこで C211 アンテナと C209 ビーコンとの間に人を配置した際の

評価を行った。本評価ではまず、C211 アンテナから C209 ビーコンへの角度を 0° の位置で固定し、2 つの機器間に障害物がない状態で角度を計測した。その後、機器の位置は固定したまま C209 ビーコンに近接して人を配置し、その時の角度を計測した。人が配置されていない状態で測定したデータと人が配置されている状態で測定したデータの二つのデータを比較することでアンテナと発信機の間の人を配置した際の影響を評価した。具体的には、機器間の距離を 2 m、3 m、4 m と離れた状態で人を配置した場合と人を配置していない場合で 5000 回ずつパケットを取得した。

機器間の距離を 2 m とした時の計測された角度の分布を図 7、同じように距離を 3 m、4 m とした時の計測された角度の分布を図 8、図 9、それぞれの条件において得られた角度の平均誤差を図 10、標準偏差を図 11 に示す。図 7、図 8、図 9、図 10、図 11 における実線は機器間に人を配置していない際の計測角度や誤差、標準偏差を表しており、点線は機器間に人を配置した際の計測角度や誤差、標準偏差を表している。実線と点線を比較すると、機器間に人を配置していない時に角度誤差は 1° 程度であり標準偏差も 1 以下で安定して角度を測定できていることがわかる。一方、機器間に人が配置されている場合は角度誤差や標準偏差が大幅に増加していることがわかる。また、図 10 では 2 m から 3 m と距離を広げた際には誤差が 4° 程度増加していることに対して、3 m から 4 m へと距離を広げた際には 6° 程度減少している。また、図 11 においても 2 m、3 m の標準偏差と 4 m の標準偏差を比較すると 4 m の場合の標準偏差は極端に小さくなっている。これは計測した場所周辺の環境における椅子や机、柱の影響により、機器間距離 4 m の場合は C211 アンテナから C209 ビーコンまでに安定した電波伝搬経路が発生していたと考えられる。今後さらに様々な環境で評価を実施し、原因を特定する。

また、図 12、図 13、図 14 はそれぞれ機器間の距離を 2 m、3 m、4 m と離れた状態で人を配置した場合と配置していない場合に取得されたデータにおける電波強度の分布である。実線は機器の間に人を配置していない場合における電波強度の分布を表しており、点線は機器の間に人を配置している場合における電波強度の分布を表している。実線と点線を比較すると、今回計測したいずれの距離においても人を配置していない場合は -60dB 以上の電波強度に多く分布していることに対し、人を配置した場合は -85dB から -60dB の間に多く分布している。このことから、機器間に人を配置することによって電波強度が低下していることがわかる。また、機器間に人を配置していない場合と比べて人を配置した場合は分布の範囲が広がっていることから人を配置することにより測定される電波強度のばらつきが大きくなることがわかる。電波強度が極端に低いデータについては人や壁、障害物に反射し、減衰していることが考えられるため、信頼性は低いと言える。以上のことから、機器間に人が配置された場合は、人がいない状態

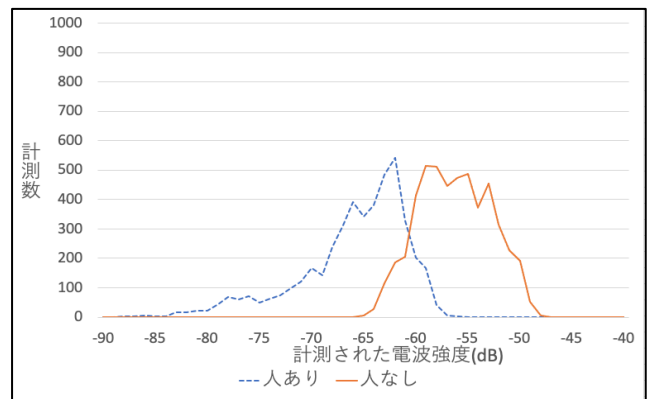


図 12 計測された電波強度の分布(2 m)

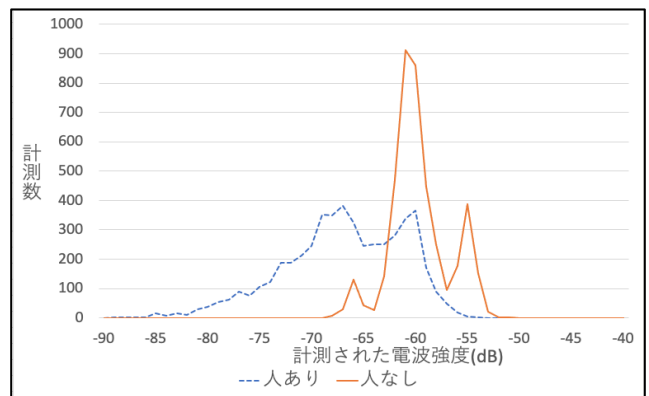


図 13 計測された電波強度の分布(3 m)

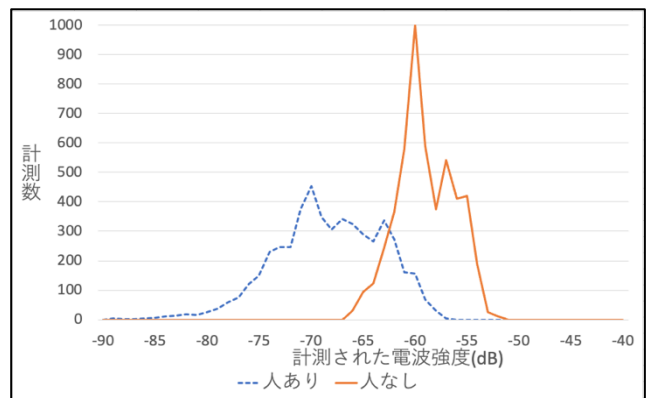


図 14 計測された電波強度の分布(4 m)

よりも十分に取得されたデータの電波強度に考慮する必要がある。

5. まとめと今後の課題

本稿では、Bluetooth の規格である BLE の方向探知機能を用いた位置推定システムの検討とそれに向けた方向探知機能の精度評価を実施した。今後はシステムの開発を進めるとともにより高い精度で角度の測定ができるようにさらなる評価を進める。

参考文献

- [1] Yoshiaki Taniguchi, Tomoki Mukaida, Youji Ochi, and Nobukazu Iguchi: A BLE-based Monitoring System for Estimating Congestion on University Campuses, 9-11 March 2021, LifeTech 2021, p.p.414-415
- [2] 鈴木 葵, 上原 拓大, 白木 詩乃, 塩田 茂雄, 平井 健士, BLE 信号により認識する端末間の近接情報を用いた屋内位置推定, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム, 2023, 3, p.p.1-6
- [3] Pixie Dust Technologies: hackke, 入手先
(<https://pixiedusttech.com/product/hackke/>) (参照 2023-6-27)
- [4] biz.kkc.co.jp: 屋内外測位ソリューション「Quuppa」
入手先 (<https://biz.kkc.co.jp/software/lbs/quuppa/>) (参照 2023-6-27)