

# 大規模展示会における来場者分析のための 配布型 BLE タグを用いた位置推定手法

浦野 健太<sup>1</sup> 廣井 慧<sup>2,5</sup> 梶 克彦<sup>3,5</sup> 河口 信夫<sup>2,4,5</sup>

概要：屋内で開催される大規模展示会において来場者がどのブースを訪れたか、どのブースで長時間滞在したかなどの動向を分析する際は、屋内位置推定を行う必要がある。既存手法では、アプリケーション利用の手間や、機材コストなどが問題となる。本稿では、安価に入手できる配布型 BLE タグと小型コンピュータを利用して、アプリケーションをインストールする手間や機材コストを削減した位置推定手法を提案する。この手法を利用するにあたり、実際に大規模展示会においてスキャナと BLE タグを利用してデータの収集実験を行った。また、収集データに対して提案手法を用いた位置推定を行った。位置推定誤差を検証し、来場者分析として実験参加者の職業別での長時間滞在ブースの傾向を調査した。

## A Location Estimation Method Using BLE Tags Distributed Among Participants of Large-Scale Exhibition

KENTA URANO<sup>1</sup> KEI HIROI<sup>2,5</sup> KATSUHIKO KAJI<sup>3,5</sup> NOBUO KAWAGUCHI<sup>2,4,5</sup>

### 1. はじめに

大規模展示会やカンファレンス等のイベントをより魅力的にする際、来場者の動向は重要な要素となる。ここで、来場者の動向は各展示ブースでの滞在時間や、ブースの訪問順などである。来場者の動向と来場者の年齢や職業を組み合わせることで、年代ごとの人気ブースや、職業ごとの訪問ブースの偏りなどを算出して分析することが可能になると考えられる。この分析を行う際には、来場者のいる位置を知る必要がある。

屋内で開催される大規模展示会では、一般的な位置測位技術である GPS の信号を取得できない場合があるため、屋内では GPS 信号に頼らない手法で来場者の位置を推定する必要がある。屋内位置推定には様々な手法がある。スマートフォンに内蔵された加速度センサやジャイロセンサから利用者の歩行を検出し、スタート地点からの相対位置を求める PDR (Pedestrian Dead Reckoning) [1] や、携帯端

末の無線 LAN で検出した無線 LAN 基地局の電波強度を利用する方法 [2][3] などがある。また、スマートフォンに依存しない屋内位置推定手法として超音波発信機による高精度な手法 [4] やレーザレンジスキャナを用いた手法 [5] がある。

PDR や無線 LAN 基地局の電波強度を利用する場合、端末上で位置推定を行うために専用アプリケーションが必要になる。専用アプリケーションのインストールと利用にはスマートフォン利用者の操作が必要であり、来場者動向のデータ収集規模がインストールされた端末の台数に依存する。スマートフォンを利用しない場合、計測用の専用機材を会場に設置する必要が生じる。広い会場に多数の機材を設置する場合、機材コストが高額になる可能性がある。

本研究では、大規模展示会における来場者分析を目的とした、BLE (Bluetooth Low Energy) タグを利用した屋内位置推定手法を提案する。提案手法では、利用者が配布された BLE タグを持ち歩くだけで位置推定が可能である。スキャナは電波を観測するため設置場所の自由度が高く、利用する無線規格が BLE であるので、観測に必要な機材は小型コンピュータに市販の汎用 Bluetooth ドングルを取り付けたもので十分である。BLE タグ、小型コンピュータは

<sup>1</sup> 名古屋大学 工学部

<sup>2</sup> 名古屋大学 未来社会創造機構

<sup>3</sup> 愛知工業大学 情報科学部

<sup>4</sup> 名古屋大学大学院 工学研究科

<sup>5</sup> NPO 法人位置情報サービス研究機構 (Lisra)

安価で入手性が高いため、機材のコストを抑えられる。位置推定はスキャナからのデータを利用してコンピュータ上で行えるため、スマートフォンアプリケーションを利用する必要はない。したがって、データ収集の規模と収集対象はアプリケーションがインストールされたスマートフォンの台数や所有者に依存しない。

本稿では、大規模展示会における BLE タグを用いたデータ収集実験、パーティクルフィルタによる位置推定手法を述べる。さらに収集データの検証と、位置推定誤差の検証、職業分野に基づく来場者分析、データ収集時のアンケートデータと位置推定結果の比較を行う。

## 2. 関連研究

屋内位置推定手法は、様々なものが提案されており、利用する機材や位置推定アルゴリズムも多岐にわたる。無線通信を利用する手法として RFID, Wi-Fi, UWB(Ultra-wide Band)などがあげられており [6][7], 超音波やレーザレンジスキャナを利用する手法や IMU(Inertial Measurement Unit)を利用して PDR を行う手法 [1] に加え、これらを組み合わせ、精度を向上させた手法もある。

超音波を用いた手法 [4] を利用すると、数十 cm 程度の高精度な位置推定を実現できる。しかし位置推定を行う場所への専用機材の設置が必要になるうえ、機材の設置間隔が 1m から 2m と狭く広範囲での計測には向かない。

レーザレンジスキャナを用いる場合 [5] でも専用機材が必要で、レーザ光が障害物に遮られない場所に設置する必要がある。レーザレンジスキャナは 1 台が高価であるため、広い空間に多数を設置する用途には向かず、Wi-Fi を用いた位置推定と組み合わせる手法が提案されている [8]。また、レーザレンジスキャナは単体では個人を識別することができないため、個人識別が必要な場合は他の手法と組み合わせる必要がある。

加速度センサやジャイロセンサを内蔵した IMU を利用し、歩行検出と進行方向を検出して相対位置を求める PDR では、位置推定を行う場所に専用機材を設置する必要はない。しかし、精度維持のためにセンサの取り付け場所の制限や、累積誤差の影響を下げるため高精度なセンサを利用する必要が生じる [9]。したがって、スマートフォン内蔵のセンサを利用する場合は、精度が落ちる可能性があり、専用のアプリケーションを導入する必要が生じる。ユーザにとって位置推定専用のアプリケーションを導入、利用する手間は煩わしい。

また、Bluetooth を利用して大規模イベントにおけるデータ収集の試みが Arkadiusz らにより行われている [10]。Arkadiusz らは、Bluetooth スキャンを行う機能を備えたスマートフォンアプリケーションを野外ロックフェスティバルにおいて配布し、GPS 情報と結びついた端末周囲の Bluetooth 機器情報のデータを収集している。しかし、収



図 1 機器の装着

集できるデータの量がアプリケーションがインストールされ実行されている端末の数に依存していた。

以上のことから、既存の屋内位置推定手法には次のような課題があるといえる。

- (1) 広範囲での計測可能性と設置場所
- (2) 専用機材のコスト
- (3) 専用アプリケーション利用の煩わしさ

本研究では、これらの課題を解決できる手法として、配布型 BLE タグと小型コンピュータを応用したスキャナを利用して、位置推定を行う。提案手法では 2.4GHz 帯電波の BLE を利用するため、機材設置場所の自由度が高く、設置間隔も数 m から 10m 程度でよい。また、スキャナには小型コンピュータを利用できるため、機材コストを抑えることができる。また、位置推定を行うために専用のモバイルアプリケーションを利用する必要がないため、データ収集がアプリケーションのインストール数に依存しない。

## 3. 配布型 BLE タグを用いた位置推定

### 3.1 G 空間 EXPO でのデータ収集実験

配布型 BLE タグを用いた位置推定を行うにあたり、我々は G 空間 EXPO 2015 において大規模なデータ収集実験を行った。G 空間 EXPO は産官学が連携し、地理空間情報と衛星測位の利活用を推進するために開催された展示会である。2015 年の G 空間 EXPO は日本科学未来館において 11 月 26 日 (木) から 11 月 28 日 (土) の 3 日間で開催され、のべ 18,000 人以上が参加した。

我々は来場者に実験への協力を依頼し、実験への参加を了承した来場者に BLE タグを貸し出した。また、Android 端末の携帯を希望した実験参加者には BLE タグに加えて Android 端末を貸し出した。実験参加者は BLE タグ、Android 端末を首からかけて携行した (図 1 参照)。BLE タグと Android 端末の貸し出し後、実験参加者は時間制限や移動制限なしに自由に会場を見て回り、実験受付に BLE タグと Android 端末を返却して帰った。BLE タグ、端末の返却時にはアンケートを実施し、実験参加者の年齢、性別、職業、研究分野などを記録した。また、会場では位置推定サービスとして、ブース単位の位置推定の結果から実

表 1 データ収集実験で利用した機材

機材	数量	収集データ
BLE タグ	120	加速度・地磁気
Raspberry Pi	30	BLE タグが発信する広告パケット
Android 端末	40	加速度・ジャイロ・歩数カウント 地磁気・Wi-Fi・BLE

験参加者が長時間滞在したと考えられるブースをアンケート回答前に提示していたため、アンケートにはこのブースが正しかったかの設問もあった。

データ収集実験には、3日間でのべ185名が参加した。実験参加者のうち、130名がAndroid端末をBLEタグと同時に携帯して実験を行った。スキャナで収集したBLEタグの広告パケットのレコードは2,631,357件を記録した。Android端末で収集されたセンサデータのログは11.2Gbyteにのぼった。

### 3.1.1 収集するデータ

データ収集実験では、表1に示す機材を利用してデータを収集した。BLEタグはFDK製の超薄型センサービーコンAZ001[11]である。このタグは1秒に1度、内蔵センサから読み取った各3軸の加速度、地磁気を含んだ広告パケットを送信する。

BLEタグが送信した広告パケットは、Raspberry Pi Model B[12]にBluetooth Dongle (ELECOM社LBT-UAN05C2またはIO DATA社USB-BT40LE)を取り付けたスキャナで収集した。スキャナは取得した広告パケットからUUID, major ID, minor ID, MACアドレス、センサ値を抽出し、観測した時刻と電波強度、観測ホスト名を加えた広告パケットを1レコードとしてログに記録した。また、同時にサーバにログを送信した。このスキャナは30台を用意し、90m×50mの会場内全体に配置した。配置場所は図2に緑色の丸印で示した。G空間EXPOのメインエリアは図2中の青く網掛けになっている部分であり、この範囲内に集中的に配置した。データを収集した。

また、一部の実験参加者に貸し出したAndroid端末にはセンサデータ収集アプリケーションHASC Logger[13]がインストールされており、これを用いて端末内蔵のセンサの値を記録した。このセンサデータは100Hzのレートで収集・記録し、BLEタグが発信する電波よりも高密度なデータとした。

### 3.1.2 データ収集実験管理システム

データ収集実験にあたり、我々はデータを効率よく収集、管理するために実験管理システムを構築した。システムの概要を図4に示す。実験管理システムは大きく3つの部分からなる。

ユーザ管理部分はwebインタフェースを通じて入力されるIDから、実験情報を生成し保存した。新しい実験参加者が利用するBLEタグのIDとAndroid端末のID(利用する場合)を実験管理者が登録すると、システムは一意の

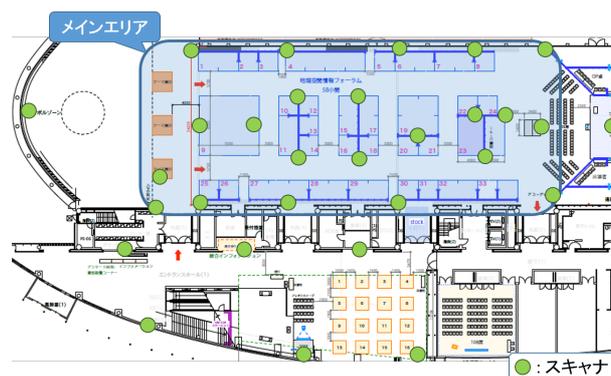


図 2 会場内のスキャナ配置

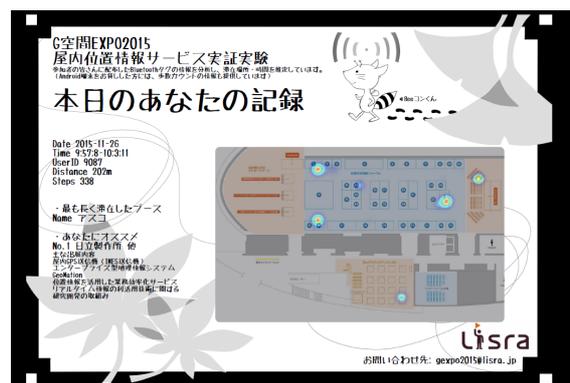


図 3 お持ち帰りシート

ユーザIDを発行し、BLEタグのIDからBLEタグの情報とAndroid端末の情報を結びつけて実験情報としてデータベースへ記録し、実験の開始、終了を管理した。

データ収集部分では、スキャナが記録した広告パケットを統合記録していた。スキャナは観測した広告パケットから広告パケットを記録すると同時に、ログ転送ツール fluentd[14]を用いてMongoDBにこれを送信していた。これにより、MongoDBにアクセスすることですべてのスキャナの収集データにアクセスすることが可能であった。

サービス部分は、収集データを利用して実験参加者へのフィードバックを行うために作成した。実験参加者がBLEタグとAndroid端末を返却する際、会場で提供していたブース単位での位置推定の結果から、会場内で滞在時間が長かった場所のヒートマップの生成と、同じブースを訪問している人のデータをもとにブースの推薦を行い、「お持ち帰りシート」を発行し提供した(図3)。

## 3.2 電波強度を利用した位置推定

### 3.2.1 位置推定アルゴリズム

提案する位置推定アルゴリズムでは、多数の粒子を用いて対象の確率分布を近似するパーティクルフィルタを利用し、以下の順番で行う。

- (1) 初期位置の指定
- (2) パーティクルの移動

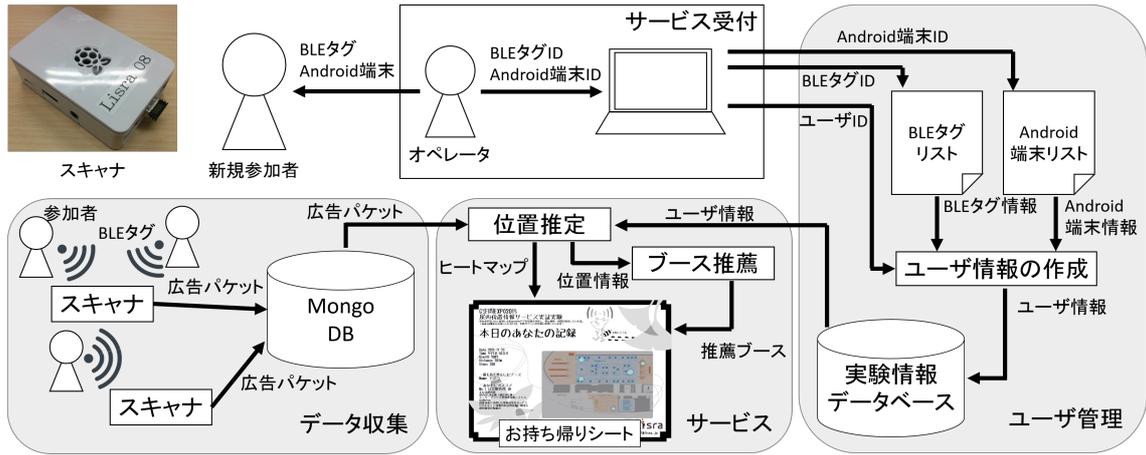


図 4 実験システムの構成

- (3) 広告パケットから尤度マップを生成
- (4) 尤度のマップに従ってパーティクルに重みを付与
- (5) リサンプリング

実験参加者は必ず実験受付から移動を開始するため (1) ではパーティクルの初期位置として、実験受付を指定する。今回は 1 秒ごとの位置を推定するため、(2) では人の 1 秒での移動を最大 1.2(m/s) と仮定して移動を行っている。(3) および (4) については、3.2.3 項で詳しく述べる。(5) では事前に設定した閾値に従ってパーティクルを破棄するかどうか決めている。

### 3.2.2 電波強度-距離関数のパラメータ調査

位置推定では、スキャナが捉えた広告パケットの電波強度から距離を算出し利用する。電波を観測する際の受信電波強度 RSSI と、スキャナと BLE タグの距離  $d$  の関係には式 1 を利用する。この式には 2 つのパラメータ  $T_x$  と  $n$  がある。

$$RSSI = T_x - 10n \log_{10} d(\text{dBm}) \quad (1)$$

パラメータ  $T_x(\text{dBm})$  は送信パワーで、BLE タグが発する電波を 1m の距離で観測した際に得られる電波強度である。パラメータ  $n$  は減衰定数で、電波が反射しやすい空間にあるか、反射せず減衰しながら伝搬する空間にあるかといった空間に応じた値である。この 2 つのパラメータを実測値から決定した。

パラメータの決定を行うための電波強度の実測は、十分な広さがあり、他の 2.4GHz 帯電波の干渉が少ない名古屋大学豊田講堂前の広場で行った。観測時は、BLE タグを G 空間 EXPO での実験と同様に首から下げ、スキャナの Bluetooth ドングル正面に立ち、0m から 45m まで 5m 刻みで 60 秒ずつ電波強度を記録した。その後、各距離での 60 秒の計測の平均の電波強度に対して最小二乗法を用いて送信パワーと減衰定数を決定した。実測値と最小二乗法を用いたときの値のグラフを図 5 に示す。導出した送信パワー  $T_x$  は -47.62(dBm) であり、減衰定数  $n$  は 1.906 であった。

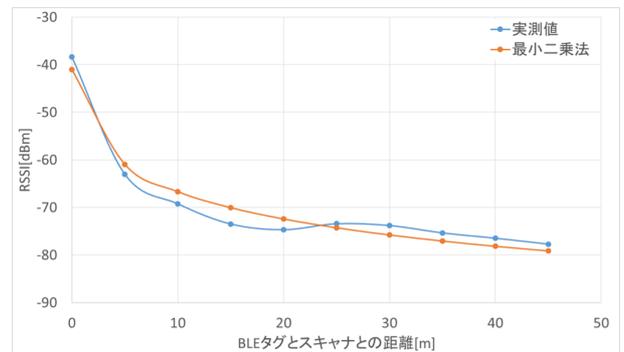


図 5 電波強度の減衰: 実測値と最小二乗法

以後の位置推定では、送信パワー、減衰定数にこの値を使った。

### 3.2.3 広告パケットからの尤度マップの生成

パーティクルに尤度を与える際、時刻  $t$  において会場内の各スキャナが観測した BLE タグの電波強度を元に作成した尤度マップを利用する。尤度マップは会場を 1m のメッシュに区切り、メッシュごとに尤度を与えたものである。まず、各スキャナに対応する個別の尤度マップを作成する。この流れを図 6 に示す。

最初に、時刻  $t$  におけるスキャナ  $s_i (i = 1, 2, \dots, 30)$  の RSSI 記録の有無を確認する。時刻  $t$  における RSSI 記録は、時刻  $t$  の 10 秒前から時刻  $t$  までの平均の電波強度である。スキャナ  $s_i$  が RSSI を記録していない場合は、対象となる BLE タグが 7.5m より近くにはないと推定し、スキャナ位置から半径 7.5m 以内のメッシュを尤度 0 とし、それ以外のメッシュに一樣分布に従う尤度を与えたダミーの尤度マップを生成する。

スキャナ  $s_i$  が RSSI を記録していた場合、前節の式 1 を変形した式 2 を用いて、スキャナ  $s$  が観測した RSSI から考えられる BLE タグとの距離  $d_{est}$  を算出する。

$$d_{est} = 10^{\frac{RSSI - T_x}{-10n}} (\text{m}) \quad (2)$$

その後、 $d_{est}$  を平均値とし、分散を 3 とした正規分布

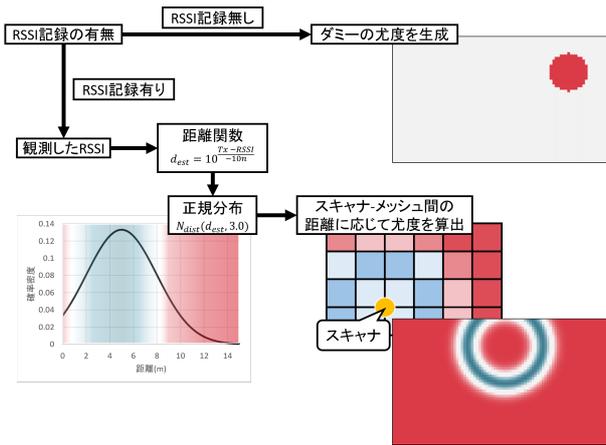


図 6 尤度マップの生成

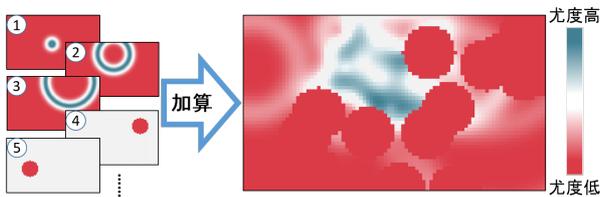


図 7 尤度マップの統合

$N_{dist}$  を作る。最後に、会場内の各メッシュとスキャナ  $s_i$  の距離から、そのときの  $N_{dist}$  の値を尤度としてそのメッシュに与える処理を行い、尤度マップとした。この処理を会場内の全スキャナに対して行い、個々の尤度マップを加算して時刻  $t$  での尤度マップとする。パーティクルに尤度を与える際は、パーティクルの位置から所属メッシュを割り出し、そのメッシュの持つ尤度をパーティクルの尤度とした。

## 4. 位置推定精度評価と来場者分析

### 4.1 会場内スキャナの広告パケット収集状況

G 空間 EXPO でのデータ収集実験において、すべてのスキャナが適切に動作し、BLE タグからの広告パケットを収集していたかを検証する。各スキャナに保存された広告パケットの記録と、fluentd を通じて MongoDB に蓄積された広告パケットの記録を比較したところ両者は同一であり、データベースへの送信では記録の不整合は生じていなかった。また、スキャナごとの広告パケット受信数を時間ごとにまとめた。三日目の例を図 8 に示す。ここで、11 時のグラフは、10 時 31 分から 11 時 30 分までの受信パケットをまとめたものである。時間ごとのグラフの概形はどれも同じであり、突出して受信性能が悪かったスキャナはなかったと考えられる。

### 4.2 実際の歩行経路との比較

実験参加者は移動に関して一切の制限を課されていないため、正解の座標として利用できる実験データは存在しな

表 2 位置推定誤差

評価者	最大値 (m)	最小値 (m)	平均誤差 (m)	分散
A	27.60	1.04	12.51	53.70
B	48.25	0.41	27.75	176.4

表 3 会場右側のみでの位置推定誤差

評価者	最大値 (m)	最小値 (m)	平均誤差 (m)	分散
A	19.78	1.04	8.44	19.79
B	48.25	7.27	28.96	143.0

い。評価用に歩行経路を指定して取得したデータが 2 件記録されている。歩行経路は図 9 に示す通り、評価者が実験受付から会場の中央部を立ち止まることなく反時計回りに一周し、再び開始位置に戻るものである。

この際記録された Android 端末のセンサーデータから、1 秒ごとの評価者の位置を算出した。この位置と、各スキャナとの距離から計算した電波強度と、実際に記録された電波強度をグラフ上に表示した。このグラフの一部と対応する会場内のスキャナの位置を図 10 に示す。図のグラフの青色の線は計算した電波強度で、緑色の線は実際に観測された電波強度である。

図から、実際に観測された電波強度は抜け落ちが多く、どのスキャナも安定して BLE タグからの広告パケットを受信しているわけではないとわかる。特に、会場の端に設置されていたスキャナ 4 についてはほとんど広告パケットを受信していない。スキャナ 10 は 70 秒付近で評価者が接近するため青色の計算値が大きく上昇するが、実際の計測はそれに従っていない。スキャナ 13 でも 20 秒付近で同様の傾向が見られる。一方スキャナ 22 は広告パケットをよく受信しており、40 秒付近では計算値より強い電波強度を記録している。これらの傾向はスキャナを設置した場所の見通しに影響されている可能性が考えられる。

### 4.3 位置推定誤差の検証

4.2 節で利用した歩行経路のデータを正解データとし、提案手法を用いて位置推定した座標データと比較した。正解データの座標と位置推定した座標のユークリッド距離をその時刻での誤差として、平均誤差、誤差の分散を算出した。表 2 にこの結果を示す。表を見るとわかるように、誤差には大きなばらつきが生じている。そこで、正解座標と位置推定した座標を図にプロットした。図 11 に評価者 A の例を示す。図の青色の丸印は正解データの座標で、赤色の丸印は位置推定した座標データを示す。図を見ると会場の右半分では、ある程度評価者の動きを追えていることがわかる。そこで、会場右半分のみで位置推定誤差を算出したところ、表 3 のようになった。評価者 A については大きく誤差が出ている部分が除かれているため、誤差の最大値と平均誤差、分散が改善された。しかし、評価者 B については分散以外の値が悪化しており、位置推定結果は右半分

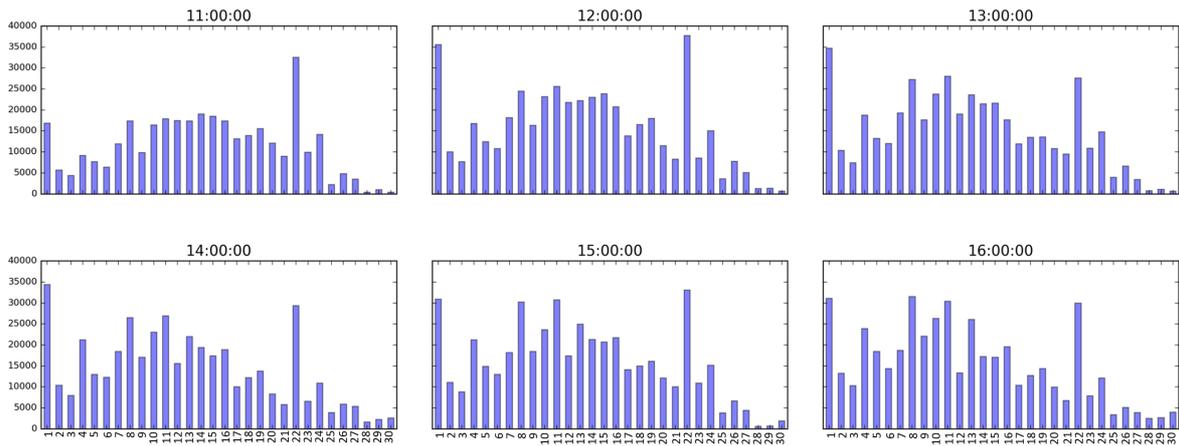


図 8 スキャナごとの広告パケット受信数 (横軸はスキャナ番号, 縦軸は広告パケット受信数)

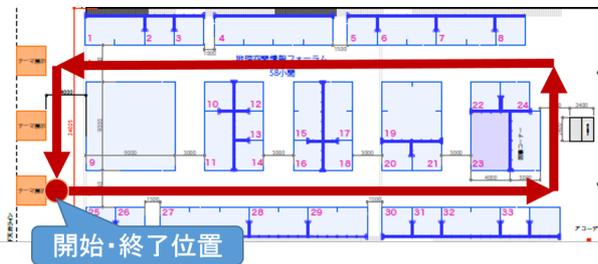


図 9 歩行経路

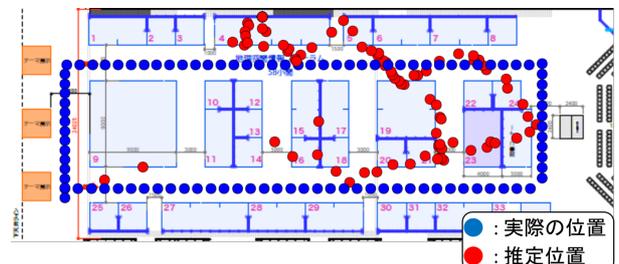


図 11 歩行経路と推定座標のプロット (評価者 A)

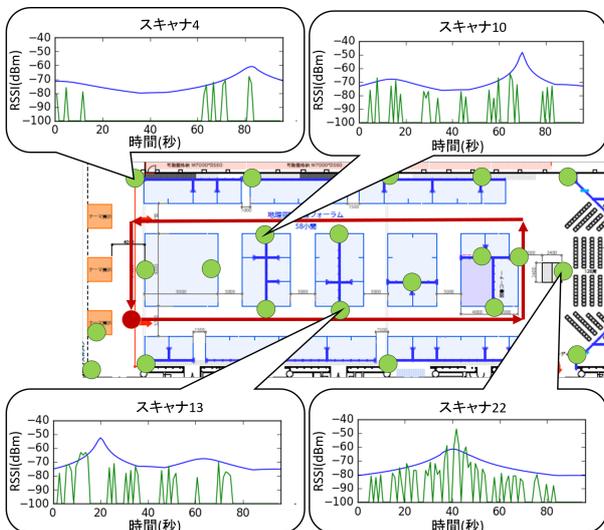


図 10 計算した電波強度と実際に観測された電波強度

に絞っても改善していない。会場右側へのパーティクルの遷移が常に失敗している可能性が考えられる。

また、位置推定誤差には複数の原因が考えられる。ひとつの原因としては、4.2節で確認したように、観測した電波強度にスキャナごとの傾向が存在したことが考えられる。パーティクルフィルタの尤度マップ作成の際は電波強度を元にスキャナと BLE タグの距離を算出する。そのため電波強度を強く捉えるスキャナでは、実際の距離より近い距

離が算出され、弱く捉えるスキャナでは実際の距離より遠い距離が算出されて尤度マップが正しいものにならなかったと推測される。

もうひとつの原因として、パーティクルフィルタ自体の設定が考えられる。提案した位置推定手法では、ある時刻あるスキャナにおいて RSSI の記録がなかった場合、そのスキャナの周囲 7.5m には対象となる BLE タグが存在しないとして、尤度ゼロのメッシュを作成していた。実際の観測状況は図 10 で示した通り、電波強度が比較的強くなると計算された場所でも広告パケットを観測していない (RSSI 記録がない) ことが頻繁に起きている。これにより、実際に BLE タグがスキャナの近辺にあったにもかかわらず、適切な尤度マップが生成されなかったと考えられる。

#### 4.4 来場者の職業に注目した位置推定結果の分析

来場者分析として、実験参加者の長時間滞在ブースに職業分野ごとの特徴が現れるかを検証する。提案手法の位置推定結果の座標から、最近傍のブースを滞在ブースとして算出した、長時間滞在したブースを職業ごとにまとめた。記録の不備があるデータを除いた 100 人のデータから、職業分野の人数上位 5 つと、全職業について長時間滞在したブース上位 5 つの番号を表にまとめたものを表 4 に示す。各職業分野の人数は、情報通信 37 人、測量 7 人、地理情報

表 4 職業分野ごとの長時間滞在ブース (数値はブース番号)

順位	職業分野				
	情報通信	測量	地理情報	技術サービス	製造業
1	9	9	19	<b>28</b>	<b>25</b>
2	19	36	36	36	36
3	11	<b>17</b>	<b>32</b>	9	9
4	36	11	3	19	19
5	3	19	<b>20</b>	<b>105</b>	<b>35</b>

6人、技術サービス9人、製造業6人である。表中、太字で示されるブース番号は、他の職業分野の上位には現れない特徴的なものである。

測量分野の人に特徴的なブース17では次世代の測量機器・システムの紹介が行われていた。地理情報分野の人に特徴的なブース32では地理空間情報とヘッドマウントディスプレイを組み合わせたアプリケーションの展示を行っていた。また、ブース20では3D都市データとVR(Virtual Reality)ヘッドセットを組み合わせた展示を行っていた。技術サービス分野に見られるブース28はオープンデータ活用の促進についての展示であった。ブース105は図書ブースであった。製造業分野に見られるブース25では自動車や建機に利用できる準天頂衛星対応測位機材の展示を行っていた。ブース35では超音波ビーコンを利用した製造現場での作業動線管理システムを展示していた。これらより、各職業分野に関連するブースが実際に滞在時間の上位に現れていると考えられる。また、地理情報分野の人に特徴的な2ブースでは、どちらもヘッドセット型ディスプレイを用いた展示を行っており、地理情報分野の人がVR技術に興味を持っているとも考えられる。

一方で、職業分野に関係なく上位に現れるブースもあった。ブース9、ブース19、ブース36は職業分野に関係なく現れている。このうち、ブース9とブース19は他のブースより面積が大きく、位置推定時にブース内であると判定される割合が多かったものと考えられる。ブース36は会場の端に位置していたブースである。ブースの広さも標準的であるため、上位に現れた理由を調査する必要がある。

#### 4.5 位置推定結果とアンケートデータの比較

データ収集実験においては、実験参加者が帰る際に「お持ち帰りシート」を発行している。このシートには当日会場で提供していたカルバック・ライブラー情報量を利用したfingerprint方式のブース単位の位置推定をもとにした長時間滞在したブース上位3ブースが記載されていた。長時間滞在したブースについては、実験参加者が実際に長時間滞在したブースであったかを主観により終了時アンケートに回答している。

アンケートでの滞在ブースに関する質問「長時間滞在したブースは合っているか」に対する各選択肢への回答数、

表 5 位置推定誤差

選択肢	回答数	割合 (%)
(1) ひとつ合っていた	62	51.2
(2) ふたつ合っていた	16	13.2
(3) すべて合っていた	12	9.9
(4) すべて外れている	31	25.6
合計回答数	121	

割合を表5に示す。アンケートは実験を行っていた三日間で修正があったため、実験参加者数と一致しない。表より、お持ち帰りシートに記載された3ブースのうち2つ、もしくは1つが合っていたと回答した参加者は合わせて64%以上となり、3ブースすべてが合っていたと回答した参加者は9.9%を数えた。参加者が実際に長時間滞在したブースをいくつかを挙げることに成功していると言える。

そこで、歩行経路が判明していないデータに対して位置推定結果を検証するために、このアンケートデータとの比較を行う。表5における回答(1)、(2)、(3)を行った実験参加者のデータから記録の不備があるデータを除いた71人分について、アンケートで「合っていた」とされたブースが、提案手法から算出した長時間滞在したブースに現れるかを調べ、再現率を計算した。ここで提案手法から算出した長時間滞在したブースには、全37ブースの30%にあたる11ブースを抽出した。この再現率は0.39であった。アンケートの回答が実験参加者の主観評価であり、会場で提供していた位置推定が長時間滞在したブースをすべて当てているわけではないため、再現率は参考としての値になるが、改善の余地は大きいと考えられる。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、大規模展示会における屋内位置推定手法として配布型BLEタグとスキャナを利用した手法を提案した。提案手法は携帯端末へのアプリケーションの導入を必要とせず、安価な機材によって位置推定を行うことができる。また、実際に位置推定に必要なデータを大規模展示会G空間EXPO 2015で収集した。収集したデータの検証で、広告パケットの収集時、パケットの受信率が低い、受信電波強度がシフトしているなどの課題が見つかった。これらの課題は位置推定の精度に影響するため、置き場所を調節する、キャリブレーションを行うなどして補正を行うなどの調整の必要があると考えられる。

収集したデータを用いて位置推定を行い、推定結果と実際の座標を比べたところ、追従できている場所とできていない場所が発見された。位置推定アルゴリズムを調整するとともに、同じ広告パケットを受信したスキャナの台数や、時系列にしたスキャン情報などの要素を追加して、精度を上げる必要がある。また、実験で使用したBLEタグは広告パケットに加速度、地磁気のセンサ値を含むため、これを利用することも考えられる。

本データ収集実験を行った G 空間 EXPO 2015 屋内位置情報サービス実証実験実行委員会は、NPO 法人位置情報サービス研究機構 (Lisra) が主導し、13 大学、16 企業が参加した。記して感謝する。

#### 参考文献

- [1] Stephane Beauregard and Harald Haas. Pedestrian Dead Reckoning: A Basis for Personal Positioning. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication*, 2006.
- [2] Paramvir Bahl and Venkata N Padmanabhan. RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System. In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, 2000.
- [3] Moustafa A Youssef, Ashok Agrawala, and A Udaya Shankar. WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions. In *Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on*, 2003.
- [4] Mike Hazas and Andy Hopper. Broadband Ultrasonic Location Systems for Improved Indoor Positioning. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 2006.
- [5] Eric Foxlin. Pedestrian Tracking with Shoe-mounted Inertial Sensors. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 2005.
- [6] Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee, and Jing Liu. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, 2007.
- [7] Yanying Gu, Anthony Lo, and Ignas Niemegeers. A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 2009.
- [8] 和田悠佑, 山口弘純, 東野輝夫. レーザレンジスキャナと wi-fi fingerprint を併用した歩行者の位置推定手法の提案. 情報処理学会研究報告, 2013.
- [9] Jussi Collin, Oleg Mezentsev, and Gérard Lachapelle. Indoor Positioning System Using Accelerometry and High Accuracy Heading Sensors. In *Proceedings of ION GPS/GNSS 2003 Conference*, 2003.
- [10] Arkadiusz Stopczynski, Jakob Eg Larsen, Steffen Lehmann, Lukasz Dynowski, and Manuel Fuentes. Participatory Bluetooth Sensing: A Method for Acquiring Spatio-temporal Data About Participant Mobility and Interactions at Large Scale Events. In *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2013 IEEE International Conference on*, 2013.
- [11] 超薄型センサービーコン. [http://www.fdk.co.jp/cyber-j/pi\\_beacon.html](http://www.fdk.co.jp/cyber-j/pi_beacon.html).
- [12] Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.org/>.
- [13] HASC Logger. <http://hasc.jp/tools/hasclogger.html>.
- [14] fluentd. <http://www.fluentd.org/>.