

PDRの音波補正システムにおける BLEによる多重処理手法の検討

菊地 勇然¹ 稲村 浩² 中村 嘉隆²

概要:近年、位置情報を用いたサービスが広く利用されている。屋外での位置推定ではGPSを用いることができるのに対し、屋内ではGPSの電波が届かないため、様々な手法についての研究が行われている。これまで我々は、商業施設などの屋内施設での利用をユースケースとし、屋内位置推定手法を提案してきた。提案してきた手法は、スマートフォンなどのセンサを用いて実現することができる歩行者自律航法(PDR: Pedestrian Dead Reckoning)を軸とし、その累積誤差に対して、音声信号による補正を行う手法である。しかし、これまで提案してきた手法は、複数の端末での利用を考慮していなかった。商業施設などの経路においては一定時間に多くの人が通行するため、複数端末の処理は、屋内位置推定に必要な要素であるといえる。本稿では、Bluetooth Low Energy (BLE)による通信を加えることで、複数端末の収容可能な形に拡張する手法を提案する。提案手法に対して、BLE接続箇所の処理時間や測位デバイスの選択精度に関して、実機を用いて評価を行った。

キーワード:屋内位置推定, 歩行者自律航法(PDR), 音波, スマートスピーカー, Bluetooth Low Energy(BLE)

Multiprocessing Method using BLE in Correction System of PDR with Acoustic Signals

1. 背景

スマートスピーカーの普及が進んでおり、商業施設での利用例がある。例えば、池袋パルコではエスカレーター付近などにスマートスピーカーを10台ほど設置し、目的地の案内に活用している[1]。このシステムは、案内業務の自動化の一助となっているものの、目的地を教示するのみで、利用者への途中経路の道案内は実現されていない。

スマートスピーカーにはオムニマイクロフォンアレイと呼ばれる、全方向に複数のマイクを配置した部品が使われており、音声処理を行うことで指向性を持たせ、フィールドでの音声認識の精度向上に利用されている。

次に、屋内環境での位置推定手法について述べる。屋外環境においては、GPSにより位置推定を行うことができるのに対し、屋内環境に関しては、GPSの電波が届かないため、様々な位置推定手法が研究されている。

例えば、Wi-FiやBLEビーコンの端末側での受信電波強度を元に三点測位を行う手法やフィンガープリント[2][3]を用いる手法、スマートフォンのセンサを用いた歩行者自律航法(PDR: Pedestrian Dead Reckoning)といった手法[4]が知られている。しかし、Wi-FiやBLEビーコンを用いた手法では、位置推定精度がアクセスポイントの数に依存するということや、特に、BLEビーコンに関しては、バッテリーの交換などを一つ一つのビーコンデバイスに対して行う必要があり、メンテナンスの面でデメリットがある。その反面、Wi-Fiのアクセスポイントが密集している施設などでは比較的高精度な位置推定ができるため、Wi-Fiが広く普及してきた現在、最も利用しやすい手法の一つとなっている。また、フィンガープリントを用いる手法では、各地点でのRSSIの分布を事前に調査する必要があり、事前調査の負担が大きい。PDRは、センサを用いて、歩行のステップ数やセンサが搭載されたデバイスの向いている方向など歩行に関する様々なパラメータを算出する手法である。スマートフォンなどの端末を用いることができるため、導入コストが掛からないことがメリットの一

¹ 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科

² 公立はこだて未来大学 システム情報科学部 情報アーキテクチャ学科

つである。しかし、センサを用いる関係上、累積誤差が問題として挙げられ、他のセンサを用いることで補正する手法 [5] や建物情報を利用して補正する手法 [6]、他の手法を組み合わせる形での利用が中心となっている。

一方、音波を利用した位置推定に関する研究も多く行われている。音波が電波の伝搬速度より遅いことにより、マルチパスの除去が比較的行きやすいということなどがこの手法のメリットとして挙げられる。音波を利用した位置推定手法としては一般に逆 GPS 法 [7] が用いられている。しかし、測位の際に常に 4 か所の受信機を必要とするために受信機の設置位置の複雑化や、設置数の増大、超音波送受信のための専用機材の必要性など、コスト面で問題がある。

我々はこれまで、スマートフォンなどのセンサを用いて実現することができる PDR を軸とし、その累積誤差に対して、音声信号による補正を行う手法を提案してきた [8][9]。しかし、これまで提案してきたのは、測位デバイスと端末が 1 対 1 の関係の場合のみである。商業施設などの経路においては一定時間に多くの人が行き通るため、複数端末の処理は、屋内位置推定に必要な要素であるといえる。そのため、本稿では、BLE を用いることで、複数端末の収容可能な形に拡張する手法を提案する。

本稿は以下のように構成される。2 章では、これまで提案してきた PDR の音声信号による補正手法について言及し、3 章では目的とその達成に必要な課題を設定する。4 章では、複数端末の利用を考慮した屋内位置推定手法について紹介し、5 章では、今回提案する多重処理手法について説明する。6 章では、提案手法に対して、BLE 接続箇所の処理時間や測位デバイスの選択精度に関して、実機を用いて評価を行う。最後に、7 章では本稿のまとめと今後の展望について述べる。

2. 我々のこれまでの研究

位置推定手法の一つとして、スマートフォンのセンサを用いた PDR がある。スマートフォンのセンサを用いることができるため、コスト面での負担が低く、装着などの負担も抑えることができる。しかし、この手法においては、センサ自体の誤差が蓄積することによる累積誤差が問題となっている。我々は、これまでこの問題点の解決のために音声による補正を行うという研究を行ってきた [8][9]。

2.1 PDR の補正手法

オムニマイクロフォンアレイを用いて、到来方向推定と信号源距離推定を行い、以下のような流れで歩行者が保持する端末の位置を推定する。

補正位置指定ベクトル R は、PDR を補正する位置を指定するものであり、測位デバイスを中心とした対象範囲内で複数回補正を行うために用いる。

(1) 端末の位置座標を初期化する。

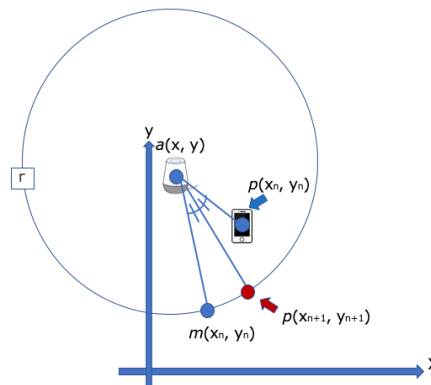


図 1 信号源距離推定と到来方向推定を用いた位置補正手法

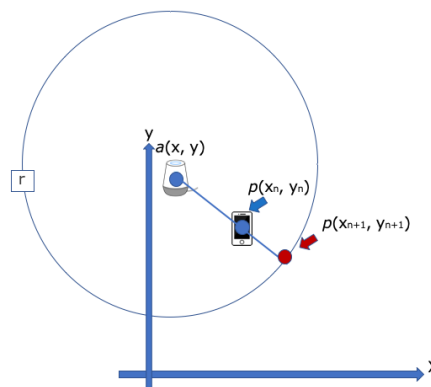


図 2 信号源距離推定のみを用いた位置補正手法

- (2) 歩行者は歩行を開始し、PDR を用いて自身の位置座標計算を逐次行う。
- (3) 上で定義したように、複数の距離を含む補正位置指定ベクトル R のうち、いずれかの距離 r [m] を半径とみなした外周円上に端末が到達したことを測位デバイスで確認したときに、到来方向のデータと組み合わせ、円周上のどの位置にいるかを推定する。
- (4) 到来方向情報の利用可能性は事前に指定されているものとし、以下の 2 つを選択して用いる。
 - (a) 測位デバイスで信号源距離推定と到来方向推定が利用可能な場合、得た円周上の座標と PDR による座標を、測位デバイスの位置座標と結んだ二本の直線のなす角を一定に分ける線 (図 1 は、二等分線を用いた一例) と円周の交点を新たな座標として、PDR の座標に上書きする。(図 1)
 - (b) 測位デバイスで信号源距離推定のみが利用可能な場合、信号源距離推定で得た距離を半径とする円周と、PDR による座標を測位デバイスの位置座標と結んだ直線の交点を新たな座標として、PDR の座標に上書きする。(図 2)

(5) 歩行者の移動に従って、補正位置指定ベクトルに含まれるいずれかの指定距離による円に接触するごとに3-4を繰り返す。

これまでの研究の結果から、測位デバイスからの距離が1, 3mの場合、(a)による補正, 5, 7mの場合、(b)による補正を行うこととする。

3. 目的

これまでの我々の研究では、環境中の測位デバイスから見た端末は一台だけであり、利用者が把持する端末は環境中の測位デバイスを正確に選択でき、音声信号によるPDR測位結果の補正は即時に行えるものと仮定してきた。より現実的には、複数台の端末がそれぞれ、複数の測位デバイスから補正に最も適したものを選択する状況を考える必要がある。

本研究の目的は、これまで提案してきた手法における複数端末の収容機能の実現を行うことである。その目的の達成のために、以下の3つの課題(図3)を設定する。

- (1) 測位デバイスにおける端末IDと音声測位信号の束縛
- (2) 補正処理に用いる測位デバイスの端末側での選択
- (3) 処理中の端末移動を考慮したPDR測位座標の補正手法

課題(1)は、実環境中に複数存在する端末に対して、測位デバイスから見て音声信号がどの端末と結びついているかを決定可能にする。課題(2)は、実環境中に複数存在する測位デバイスに対して、端末側がどの測位デバイスからの補正を受けることが適切かを選択可能にする。課題(3)については、端末側での測位リクエスト送出から、測位デバイスによる結果の受信までの処理時間の間に、端末側が移動している可能性があるため、補正を行う座標を定義する必要があるため設定している。

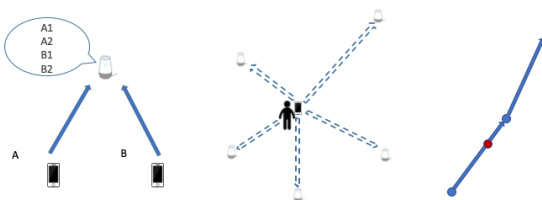


図3 課題のイメージ図(左から課題(1) 端末IDと音声信号の束縛, (2) 端末による測位デバイスの選択, (3) 端末移動下での補正)

4. 関連研究

ここで、複数端末の収容可能な屋内位置推定システムについて、2つの研究について述べる。

4.1 2つの情報伝達手段を組み合わせる手法

菊池ら[5]は、PDRの累積誤差の補正において、天井に取り付けられた赤外線レーダで床との距離を継続的に計測し、人が通過したことを感知した際に、電波ビーコンの位置情報を送信することで実現している。この際、電波ビーコンの電波の届く範囲に存在する端末は電波ビーコンの電波強度(RSSI)をもとに、一定の強度以下の電波をフィルタリングすることで複数端末が収容可能なシステムとなっている。

4.2 1つの情報伝達手法を組み合わせる手法

村田ら[10]は、超音波を用いて、逆GPS法という手法をもって、屋内位置推定を実現している。逆GPS法とは、天井などに複数のマイクを設置し、測位対象者が保有するスピーカから発せられる音声信号をマイクの3次元座標と到来時間差を用いて、測位対象者がいる3次元座標を算出する手法である。この手法では、無線システムで利用される多重化方式の一つである符号分割多重方式を用いて、端末毎に固有の音声信号を発信することにより、複数端末が収容可能なシステムとなっている。

5. 提案手法

前項で定義した3つの課題についてそれぞれ選択した方式や考案した手法を述べる。

5.1 測位デバイスにおける端末IDと音声測位信号の束縛

実環境中に複数存在する端末に対して、音声信号がどの端末と結びついているかを決定する機能である。本研究ではBLE通信を用いた資源予約方式を選択した。関連研究にあるように音声測位信号に端末識別その他の情報をインラインに埋め込む手法もあるが、プロトタイプの容易さと測位デバイス選択への応用の可能性を想定してBLE通信を用いる。

5.1.1 資源予約方式

本方式ではメディアの異なるID通知と音声測位信号の関連付けを資源予約の方法で実現する。端末から測位デバイスへIDの通知をBLE通信を用いて行う。その通知への測位デバイスからの確認応答をもって測位に用いる音声信号チャンネルの予約を行い、測位デバイスは直後に取得した音声測位信号は通知されたIDを持つ端末のものであると識別し、測位結果の返却をその端末に対して行う。

処理の流れを図4のプロトコルシーケンスをもとに説明する。ここでは、資源予約シーケンス、測位計算シーケンス、接続解除シーケンスの三つを定義する。

- 資源予約シーケンス: BLEのGAP (Generic Access Profile) というプロファイルを用いて、測位デバイスと端末の間に資源予約の関係を確立する。GAP用語では、ペリフェラルが測位デバイスで、セントラルが

端末にあたる。

- 測位計算シーケンス：資源予約シーケンスで BLE 接続の確立後、測位デバイスを用いて、音声信号による絶対測位を行い、端末の位置を推定する。その後、端末にその測位結果を送信し、前項で説明した PDR の補正手法を適用する。ここで、音声信号の発信タイミングは BLE によって制御される。
- 接続解除シーケンス：測位計算シーケンスで、BLE による音声測位の結果送信が完了した際に、接続を解除し、資源予約の関係を解除する。

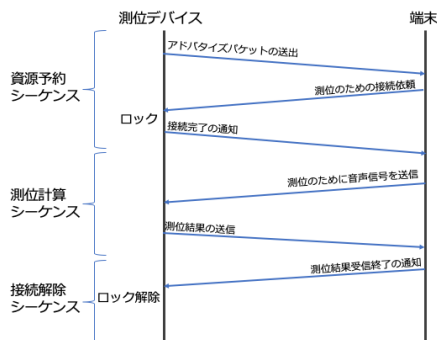


図 4 測位デバイスと端末の BLE 通信による資源予約プロトコルシーケンス

5.2 補正処理に用いる測位デバイスの端末側での選択

実環境中に複数存在する測位デバイスに対して、端末側がどの測位デバイスからの補正を受けることが適切かを選択する機能である。端末から最近傍の測位デバイスで得た情報を用いることでより良い補正結果を得られるという仮定のもと、最近傍の測位デバイスを選択する手法が必要である。測位デバイスの事前計測した座標情報をヒントとして決定可能な最近傍デバイスを選択する方式とする。

資源予約方式で用いている BLE 通信から測距を行い選択する手法も考えられるため、こちらとの比較は評価のセクションにおいて議論する。

5.2.1 測位デバイスの事前座標情報を用いた測位デバイス選択手法

測位デバイスの位置を事前座標として計測しておき、ある時点で端末からアクセス可能な測位デバイスの集合に対して、それぞれの座標 (a_x, a_y) と PDR によって推定した端末の座標 (p_x, p_y) のユークリッド距離を求め、その距離が最も小さい測位デバイスを選択する。

$$\text{距離 } (d) = \sqrt{(p_y - a_y)^2 + (p_x - a_x)^2} \quad (1)$$

5.2.2 BLE 測距による測位デバイス選択手法

BLE 通信に用いられる電波の受信信号強度が距離の 2 乗に反比例するという性質から、距離を求めることができる。

$$\text{距離 } (d) = 10^{(1\text{m 時の RSSI} - \text{RSSI})/20} \quad (2)$$

今回は、1m 時の RSSI を事前に計測して得た 500 サンプルの平均値である -77.52dBm を基準とする。この BLE 測距の推定距離が最小の測位デバイスを選択する。

5.3 処理中の端末移動を考慮した PDR 測位座標の補正手法

端末側での測位リクエスト送出から、測位デバイスによる結果の受信までの処理時間の間に、端末側が移動している可能性がある。例えば音声測位の処理時間の間に利用者が何歩か歩いた場合、PDR 測位による座標が更新されることになる。PDR 測位結果の音声測位による補正でこれを考慮するために、以下の 3 つのタイムスタンプ付き座標を使って補正対象の PDR 測位座標を定義する。

5.3.1 PDR の補正を行う際の座標の定義

ここで、用いるタイムスタンプ付き座標を定義する。

- $p_PDR(request)$: PDR 測位による座標で、測位リクエスト送出時点のもの。
- $p_PDR(response)$: PDR 測位による座標で、測位結果受信時点で直近のもの
- $p_SND(middle)$: 音声測位による座標で、request, response の中間時点となっており、音声信号の取得時点のもの

これらの座標を用いて以下のように、補正を行う座標の決定を行う。

- (1) $p_PDR(request)$ と $p_PDR(response)$ の間の 1 秒あたりの座標の変化量を算出する。
- (2) (1) で求めた 1 秒あたりの変化量を用いて、 $p_SND(middle)$ 時点の変化量を算出し、補正を行う座標とする。

もし、 $p_PDR(request)$ と $p_PDR(response)$ が同じ時刻であった場合、 $p_PDR(request)$ の一つ前のタイムスタンプ付き座標を用いて、同様の処理を行う。

5.4 システムの構成

システムの構成は以下の通りである。

- 端末：PDR による測位を継続的に行い、位置座標 $p(x, y)$ として保持する。PDR によって端末測位座標が更新されると、周辺の測位デバイスの位置を確認して音声信号による補正が可能かどうかを判断する。利用可能な測位デバイスから適切なものを選択し、BLE による通信で補正のリクエストを行い、音声信号を送出する。その音声信号による測位結果を受信し、PDR の測位結果を補正する。
- 測位デバイス：BLE による通信で補正のリクエストを受けた際に、オムニマイクロフォンアレイにて音声

信号を受信し、到来方向推定と信号源距離推定の結果から端末の位置座標 $m(x, y)$ を推定する。位置座標を $a(x, y)$ とする。

システムの全体の流れは図5のようになる。課題(1)に関しては、測位デバイスと端末に存在する BLE 接続部による制御を行い、測位デバイスの音声測位部と端末側の音声信号送信部を用いて、実現する。課題(2)に関しては、それぞれの BLE 接続部の機能や端末側の PDR 測位部を用いて、測位デバイスの選択を行う。課題(3)については、BLE 接続部と PDR 測位部で得られるタイムスタンプを用いて、補正を行う座標を算出する。

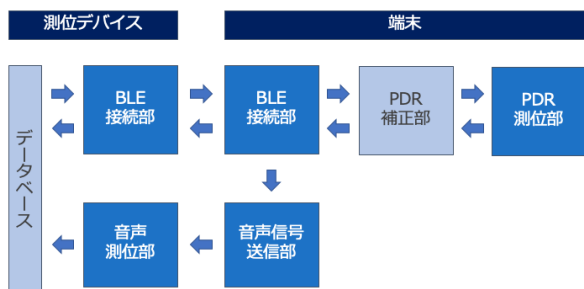


図5 本システムのシステム構成図

6. 評価

提案手法で述べた機能のうち、「測位デバイスにおける端末 ID と音声測位信号の束縛」と「補正処理に用いる測位デバイスの端末側での選択」について評価したのち、BLE 通信を組み込んだ場合の PDR の音声信号による補正手法について補正精度の確認を行う。

「測位デバイスにおける端末 ID と音声測位信号の束縛」については、1 台毎の処理時間に関する評価、「補正処理に用いる測位デバイスの端末側での選択」については、2つの手法（測位デバイスに事前に座標を与える手法と BLE 測距）に対して、単体での測位デバイス選択精度を確認する。

6.1 用いた実験器具と実験場所

以下の器具を用いて実験を行った。

- 端末:iPhone 6
- 測位デバイス:Raspberry Pi 3 Model B+ + ReSpeaker 4-Mic Array for Raspberry Pi (図6)

端末に関しては、図1で述べたように、BLE 接続部と PDR 測位部、PDR 補正部、音声信号送信部からなる。これらの機能に関しては、Swift を用いて実装した。測位デバイスに関しては、BLE 接続部、音声測位部、BLE 機能と測位機能のデータの受け渡しを行うデータベースの機能を持っている。BLE 接続部に関しては、Node.js、音声測位部に関

しては、Python で記述し、データベースには MySQL を用いて、実装を行った。

実験を行った場所は、公立はこだて未来大学 3F モール (図7) である。位置座標の真値の計測には、レーザー距離計である Leica の「DISTO D2」を使用した。



図6 測位デバイス:Raspberry Pi 3 Model B+ + ReSpeaker 4-Mic Array for Raspberry Pi

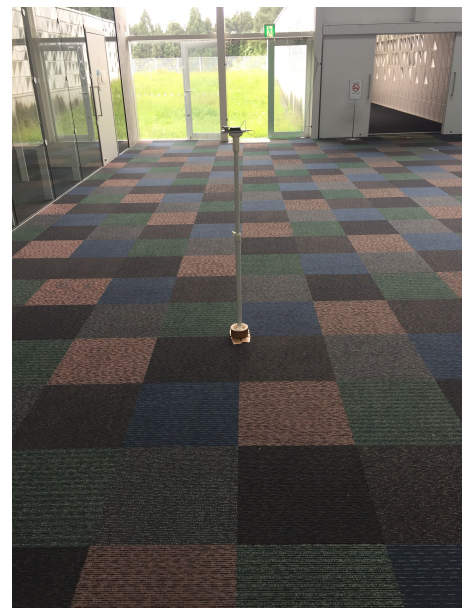


図7 評価実験場所:公立はこだて未来大学 3F モール

6.2 BLE による資源予約を用いた際の1台毎の処理時間

実際に補正を行うことができる端末数の算出を行い、システムとしての処理能力を導き出すことがこの実験の目的である。結果は、求められる性能である5秒毎に7人の補正処理は達成が難しく約3人まで処理可能となった。

まず、このシステムにおける処理時間の要件について、分析する。平均肩幅 [11] が 0.4m であることをもとにすると、3m の通路において、横並びで7人が並ぶことができ

る。平均歩行速度 [12] が 1.39m/s であることより本システムの測位デバイスによる補正可能範囲である半径 7m 円の中央を通過するまでの時間は約 5 秒となっている。したがって、約 5 秒間に 14 人の補正計算を行う必要がある。本システムで比較的補正精度の高い中央付近で一回の補正機会を 7 人の利用者に提供するには、一台の処理に用いることができる時間は約 360 ミリ秒となる。

上記の要件を念頭に、BLE による資源予約を用いた際の 1 台毎の処理時間について実測を行なった。実験の方法としては、測位デバイスと端末を 1 台ずつ使い、7m 離して設置する。その後、端末が測位デバイスを BLE でスキャンすることで探索する時点から、端末が BLE の接続を切るまでの時間を計測した。50 サンプルを取得し、その処理時間を分析する。結果が以下の表 1 である。結果から、1 台

表 1 BLE 接続を行った際の処理時間の平均値と標準偏差

平均処理時間	1.43 sec
標準偏差	0.15 sec

の処理に約 1.43 秒かかることがわかった。これは、5 秒間という時間において、処理可能な人数は約 3 人となった。

以上の結果になった要因を分析するために、BLE の接続に関するタイムスタンプを確認し、どの処理手順においてどの程度の時間がかかっているかを確認した。その結果が以下の図 8 である。実際に処理を行った場合に時間を費や

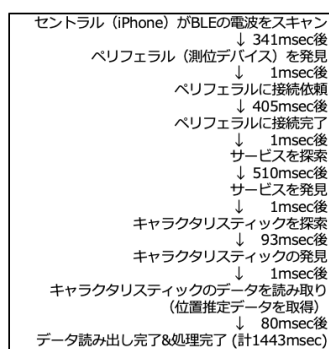


図 8 BLE 接続を行った時の処理時間の詳細

している箇所は、iOS 通信ミドルウェアでの近傍 BLE ペリフェラルノードとの通信に関連する部分に多くみられる。その中で、スキャンに 300msec 以上費やしているため、この削減の為に常時 BLE のスキャンを行うなどの工夫をする必要があることがわかった。

6.3 端末から見た測位デバイスの選択精度

端末から見た測位デバイスの選択精度について、測位デバイスの事前座標情報を用いた手法と BLE 測距を用いた手法それぞれに関して、測位デバイスの選択精度を評価する。本システムでは端末が PDR で推定した自己位置が、

周囲に存在する測位デバイスのうちの一つの補正可能範囲に入ったと判断したときに、その測位デバイスに補正を依頼する。従って端末の自己位置に誤差があり、最適な測位デバイスの近傍に誤選択を誘う外乱デバイスを配置した状況で、最適な測位デバイスが選ばれた割合を選択精度と定義する。

測位デバイスの事前座標情報を用いた手法と BLE 測距を用いた手法の選択精度をそれぞれ求めたところ、評価環境において前者が 100%であったのに対して後者はターゲットのデバイスまでの距離が 3m 以下でも 50%程度で、複数回の計測結果の統合も試みたが 4%程度の向上とあまり改善も得られなかったため、提案方式としては前者を採用することとした。

6.3.1 測位デバイスの事前座標情報を用いた手法の測位デバイス選択精度

2 台の測位デバイスの座標を決め、距離に関して条件を変化させ、選択精度の分析を行うことがこの実験の目的である。実験の方法としては、測位デバイスを 2 台、端末 1 台を一直線に配置する。測位デバイス同士の座標を Y の値により変化 (1~10) させる。50m の距離を歩行した際の PDR の座標と事前座標を比較し、ターゲットの最適な測位デバイスを選択できる割合を算出する。少なくとも 50% を超える精度を目標とする。各試行 50 回行ったところ、100%の精度で最適な測位デバイスが選択された。

Y の値を変化させ、測位デバイスの選択された割合を示したのが以下の図 9 である。50m 歩行した際の PDR の測

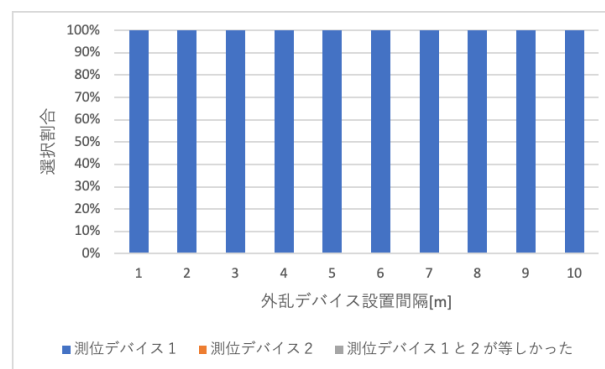


図 9 測位デバイスの事前座標を用いた際の測位デバイス選択手法におけるターゲットデバイスと外乱デバイスの選択割合

位結果について、以下の表 2 のように、平均誤差が y 方向に 2.18m, x 方向に 1.25m であったため、いずれの距離においてもターゲットデバイスを選択することができたという結果になった。本方式における PDR の誤差と測位デバイス選択精度に関しての関係について考える。ターゲットデバイスに対して、最大補正可能距離である 7m 離れた位置にある端末がターゲットデバイス、外乱デバイスを誤判定する距離は、

$$Max_error > 7 + Y/2$$

表 2 用いた PDR の平均誤差

	x	y
平均誤差	1.25 m	2.18 m
標準偏差	1.00 m	1.90 m

と表すことが出来る。Y = 10m の際には、12m を超える誤差距離であるときに外乱デバイスを選択することになるので、PDR の誤差の影響を比較的受けづらいことを確認することが出来た。

6.3.2 BLE 測距を用いた手法の測位デバイス選択精度

最大補正可能距離 (7m) に端末が到達した時を想定し、2 台の測位デバイスを用いて、距離に関して条件を変化させ、選択精度の分析を行うことがこの実験の目的である。実験の方法としては、測位デバイスを 2 台 (片方をターゲットデバイス、もう一方を外乱デバイスとする)、端末 1 台を一直線に配置し、BLE 測距を行う。その際に、外乱デバイス配置間隔 Y の値を変化 (1~10m の範囲で 1m ずつ) させる。求める値としては、BLE による測距を行い、最近傍の測位デバイスを選択できる割合を算出する。少なくとも 50% を超える精度を目標とする。各試行 100 回行った。その結果を示したものが、以下の図 10 である。外乱デ

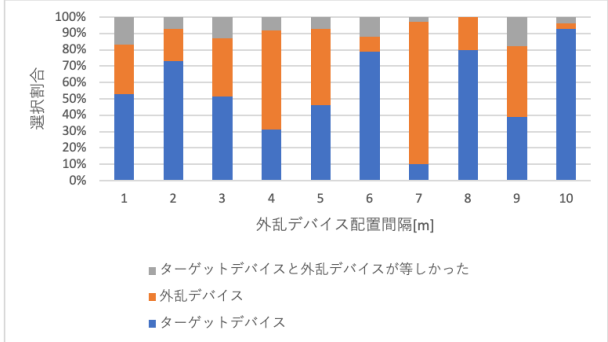


図 10 BLE 測距を用いた際の測位デバイス選択手法におけるターゲットデバイスと外乱デバイスの選択割合

バイス設置間隔が、1, 2, 3, 6, 8, 10m の距離において、過半数の試行でターゲットデバイスを選択することができた。しかし、4, 5, 7, 9m の際には、外乱デバイスを選択してしまっただ。したがって、1, 2, 3m においてはターゲットデバイスの選択が可能だと示唆された。

精度の向上を目指し、1 回の判定に 3 回分の BLE 測距の結果を用いて、3 回の中での多数決をとった。その結果を示したものが以下の図 11 である。1 回分の BLE 測距の結果と比べ、3 回分のデータを用いた多数決を行った方が正解率は約 4% 上昇した。

6.4 BLE 通信を組み込んだ場合の PDR の音声信号による補正手法の精度

本セクションの最初の評価で 1 台毎の処理時間を求めた

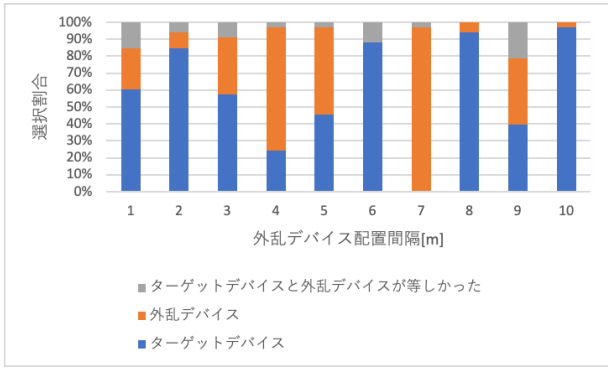


図 11 BLE 測距の結果を 3 回分用いた際のターゲットデバイスと外乱デバイスの選択割合

が、その処理中の時間内の端末移動を考慮した PDR 測位座標の補正手法を適用し、音声信号を用いた PDR の補正が行えていることを確認する。

PDR の利用者が 50m 程度歩行したところで測位デバイスと遭遇し補正を受ける状況で評価する。測位デバイスから最大補正可能距離である 7m の位置から測位デバイスまで PDR を稼働させた端末を把持して歩行を行った。この時、50m 程度の歩行を模するために PDR に設定する座標は表 2 で示した平均誤差に標準偏差を足した値を初期位置とし、誤差が累積した状況を形成した。

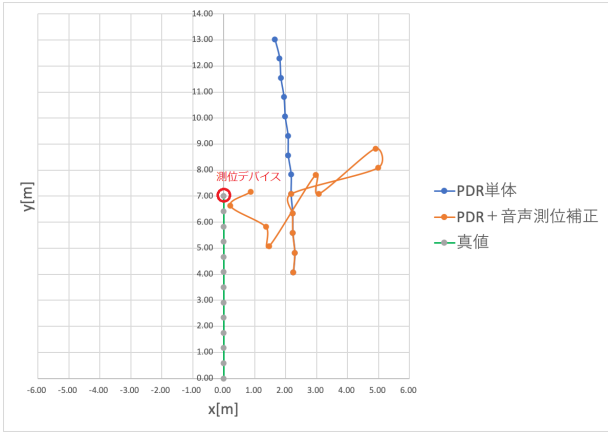


図 12 BLE による資源予約機能を追加した場合の PDR の座標推移の一例

実際の動作の一例を図 12 に示す。2 次元グラフに歩行軌跡の真値、補正なしの PDR 単体軌跡、音声補正つき PDR の軌跡の 3 つをプロットしている。真値は測位デバイスまでの一直線の軌跡となっているが、途中まで重なった 2 つの PDR の軌跡は誤差のためにずれた位置から始まっている。補正可能範囲に入った端末は複数回の補正を受け、最終的に軌跡は真値に近いところに到達している。音声測位補正された PDR 軌跡の途中で誤差が大きくなる箇所があるが、最終的には位置推定誤差が非常に小さくなっていることがわかる。図 13 は真値に対する補正なしの PDR 単体、音声補正つき PDR のそれぞれの誤差距離を表したグ

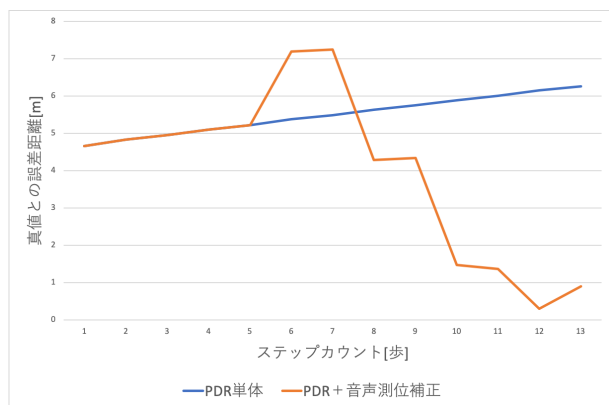


図 13 真値と PDR 単体, PDR + 音声測位補正の誤差距離

ラフである。これを見ると、5 歩目の補正箇所では、音声測位補正された PDR の誤差が大きくなるが、それ以外の補正箇所である 7, 9, 11, 12 歩目においては、PDR 単体よりも誤差距離が小さく、意図した補正が行われていることがわかる。

したがって、音声信号を用いた PDR 補正を多重処理可能にする提案手法を実装した本システムの評価プロトタイプを用いて、単体の PDR の累積誤差を補正できることが示された。

7. まとめと今後の展望

本研究では、我々がこれまで提案してきた、PDR を軸とし、その累積誤差に対して、音声信号による補正を行う手法に対して、BLE 通信を用いて複数端末の収容可能な形に拡張する手法を提案した。

測位デバイスにおける端末 ID と音声測位信号の束縛に関しては、1 台の処理に 1.43 秒かかることがわかったため、処理速度としては改善が必要だが、動作としては、課題の資源予約を実現することができた。補正処理に用いる測位デバイスの端末側での選択に関しては、BLE 測距を用いた場合には 1~3m での利用可能性は示唆されたが、今回は、測位デバイスの事前座標情報を用いた手法に分があり、こちらを利用することで、適切な測位デバイスを選択することができる。音声信号を用いた PDR 補正を多重処理可能にする提案手法を実装した本システムの評価プロトタイプを用いて、単体の PDR の累積誤差を補正できることが示された。

今後は BLE または他の方法を用いて、事前計測の必要ない測位デバイス選択手法を提案していく。他にも、測位デバイスの位置座標を自動的に計測するシステムの検討を行いシステムの設置負担を軽減していくことを目指す。

参考文献

[1] 日本経済新聞:池袋パルコ,アマゾンエコーで店舗案内 18 年 4 月から, 入手先 (<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO28875450S8>

A400C100000/) (参照 2018-07-29).
 [2] 東和樹, 新井イスマイル: 相互補完型 wi-fi・地磁気フィンガープリンティング手法の評価, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.2, pp.384-395(2017).
 [3] Chenshu, Wu., Jingao, Xu., Zheng, Yang., Nicholas, D.Lane. and Zuwei, Yin.: Gain without pain: Accurate wi-based localization using fingerprint spatial gradient, Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol., Vol. 1, No. 2, pp. 29:1-29:19(2017).
 [4] 星尚志, 藤井雅弘, 羽多野裕之, 伊藤篤, 渡辺裕: スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニングのための進行方向推定に関する研究, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp.25-33(2016).
 [5] 菊池典恭, 矢野貴大, 中林昭一, 浜口雅春, 小池康晴: 歩行者自律航法の位置及び進行方向修正において電波ビーコン及び赤外線レーダの近接検出を用いる屋内測位システム, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J100-D, No. 3, pp. 408-418(2017).
 [6] 梶克彦, 河口信夫: 安定センシング区間検出に基づく 3 次元歩行軌跡推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 1, pp. 12-24(2016).
 [7] 秋山征己, 須永光, 五百蔵重典, 田中博: 超音波センサを用いた広域屋内測位システムの構成と検証実験, 測位航法学会論文誌, Vol.3, No.1, pp.1-8(2012).
 [8] 菊地勇然, 稲村浩, 中村嘉隆: オムニマイクロフォンアレイを用いた測位システムの検討, 情報処理学会第 81 回全国大会講演論文集, Vol.2019, pp.3.277-3.278(2019).
 [9] 菊地勇然, 稲村浩, 中村嘉隆: 音波による歩行者自律航法の補正手法の検討, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, Vol.2019, pp. 9-14(2019).
 [10] 村田翔太郎, 金田一将, 五百蔵重典, 田中博: スペクトラム拡散を用いた複数音源の収容可能な高精度屋内測位の提案と検証, 測位航法学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.1-10(2016).
 [11] 人工知能研究センター: AIST 人体寸法データベース 1991-92 TOP > 寸法項目一覧 > 統計量 (D7), 人工知能研究センター(オンライン), 入手先 (<https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/9192/data/search4.html>)(参照 2020-01-23)
 [12] 関屋昇, 長崎浩, 伊東元, 古名丈人: 416. 正常歩行における歩行速度、歩行率、歩幅の相互関係, 理学療法学 Supplement, 1994.21.2 巻, Vol.21 Suppl. No.2, p.416(1994).