

受信信号強度を用いた屋内測位手法の提案

古舘 達也^{1,a)} 堀川 三好^{1,b)} 菅原 光政^{1,c)}

概要: 本稿では、受信信号強度を用いた基準地点の推定並びに移動方向の推定、加速度を用いた移動距離の推定からなる屋内測位手法を提案する。一般的な歩行者自立航法では、初期地点が既知である状態を想定し、初期地点からの変位を累積的に算出する。そのため誤差が累積的に蓄積し、特に地磁気を用いた移動方向の推定は、金属による磁気の乱れやセンサと歩行者の向きに影響を受ける。本研究では、歩行者自立航法では想定しない基準地点の推定（補正）を、測位端末の性能差や障害物等に低依存な受信信号強度のベクトル空間モデルを用いて行う。また、移動方向を歩行者の移動に伴う受信信号強度の変位から行うことで、センサと歩行者の向きに非依存な推定が可能となる。さらに、実環境における有効性を実証実験をもって評価、検証する。

1. はじめに

モバイル端末が搭載する測位機能は、SNS やゲーム、ライフログ、ナビゲーションシステムなど幅広い分野で利用されている。また、位置情報に応じた情報配信やパーソナルデータとしての活用など、今後とも位置情報利用の拡大が予想される。

多くのモバイル端末は、GPS を利用することで測位機能を実現している。GPS の利用は、多くの位置情報利用サービスにとって基本的な技術となっているが、衛星からの電波を使用する特性上、駅構内や空港ターミナルなど屋内環境での利用は難しい。そのため、モバイル端末が内蔵するセンサを用いた歩行者自立航法 (PDR: Pedestrian Dead Reckoning) が提案されている。PDR は、加速度センサや地磁気、ジャイロセンサを用いて測位対象の移動距離および移動方向を累積的に算出する手法である。この手法では、モバイル端末内ですべての処理が完結するため、外部に測位を行う処理を必要としないという利点がある一方、移動距離や移動方向の誤差が累積的に蓄積するという課題がある。また、地磁気やジャイロセンサによる移動方向推定では、これらのセンサを内蔵する測位端末の持ち方（歩行状態、手振り状態、バッグに入れた状態等）によって測位端末と歩行者の向きが必ずしも一致しないため、正確な推定ができない場合がある。

一方、近年では Bluetooth 発信機等を用いた情報配信サービスに注目が集まっている。例えば、顧客に対して店舗に近づいたことを通知したり、入店時にクーポンを配信したりといったオムニチャンネルや O2O (Online To Offline) の用途で利用されており、今後は駅構内や空港ターミナルなど公共スペースでの利用拡大が期待される。

本研究では、通路等に設置した Bluetooth 発信機を用いることで誤差蓄積の初期化およびセンサを使用しない移動方向推定を実現し、屋内測位手法を確立することを目的とする。誤差の蓄積に関しては、複数の Bluetooth 発信機の受信信号強度 (RSSI: Received Signal Strength Indication) から作成するベクトル空間モデルを利用し、測位対象が電波発信機付近を通過したタイミングで位置を初期化する。また、ベクトル空間モデルを用いることで測位端末の電波受信特性に低依存な初期化が可能となる。移動方向推定に関しては、測位対象である歩行者の移動に伴う RSSI の変位を用いることで、測位端末の保持姿勢に低依存な推定が可能とする。

本稿では、測位環境として駅構内や空港ターミナルなどにおける直線的な通路を想定し、歩行者ナビゲーションを行うために必要な屋内測位手法について提案および評価する。評価方法として、直線通路において電波発信機の設置間隔と測位端末による関係およびパラメーター設定について検証する。また、提案手法全体の総合評価を歩行パターンや歩行速度、測位端末の機種および測位端末の持ち方を変化した場合について検証実験を行う。

¹ 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

a) g03lj136@s.iwate-pu.ac.jp
b) horikawa@iwate-pu.ac.jp
c) sugawara@iwate-pu.ac.jp

2. 関連研究

2.1 基準局を用いた測位

基準局を用いた測位は、設置座標が既知の Wi-Fi や Bluetooth 発信機を基準局とする手法であり、大きく 2 つのアプローチが提案されている。1 つ目は、基準局から測位対象までも距離を RSSI から算出した上で三角測量を行うものである。RSSI は距離に応じて減衰するため、予め RSSI と距離の関係を把握することで測位可能となる。しかし、屋内環境では障害物等の影響によって RSSI を正しく距離に変換することは難しい [1]。2 つ目は、屋内での電波状況を事前学習し、現在観測する電波状況と比較する手法である [2][3]。事前学習による測位では、RSSI を距離に変換する必要がなく、一般に高い精度での測位が可能とされている [4]。しかしながら、電波状況の事前学習はコストが高く、利用者が学習を行う手法も提案されているが [5]、サーバーを必要とするなど導入負荷が多い。

基準局を用いた測位は、いずれの手法であっても電波発信機の設置密度が測位精度と密接に関係しているため、高精度な測位には多くの電波発信機を必要とする [6]。また、超音波や RDIF などを用いた測位であっても同様の問題が発生する [7][8]。

2.2 歩行者自立航法 (PDR: Pedestrian Dead Reckoning)

基準局による測位は、測位精度に優れるものの導入負荷が大きく用途が限定されていた。そこで、スマートフォンなどのモバイル端末が内蔵する加速度や地磁気、ジャイロといったセンサのみを用いて自立して測位を行う PDR が提案されている [9][10]。

PDR では、初期地点を GPS や RFID など何らかの手段で特定した後、その地点からの移動距離および移動方向を累積的に算出する。そのため、誤差も累積的に蓄積する他、測位端末の持ち方を限定するものが多く用途は歩行者ナビゲーションに限定される [9][10]。また、測位端末の保持状態を推定する手法も提案されているが、予め登録した持ち方以外を判定することはできない [11][12][13]。

2.3 その他の測位

PDR は導入コストに優れるものの、実用には困難があった。そこで、PDR における累積誤差修正としてゲート通過を用いた手法が提案されている [14]。無線 LAN は、ドアやエレベータなど空間を物理的に分断するゲートによって RSSI が減衰する。そのため、一般的な歩行ではありえない RSSI の変化を感知することでゲート通過を判定し PDR の誤差を修正する。しかし、既存の Wi-Fi インフラの利用のみではゲート通過の高精度な検出は困難であ

る。また、予め登録したフロアマップを用いて PDR を補正する手法が提案されている [15]。しかし、マップの登録は導入負荷が大きく、測位端末の保持状態を変化させた場合想定通りに補正されない可能性がある。

基準局による測位と PDR を組み合わせた手法も提案されている [16][17]。PDR を基本としつつ、累積誤差の補正を Wi-Fi や Bluetooth で行う手法は理論上都合が良いものの、一方では双方の問題点を含むこととなるため実用には結びついていない。

3. 提案手法

3.1 提案手法の前提条件

本稿で提案する測位手法は、以下の条件を満たす必要がある。

- (1) 測位領域内には設置座標が既知な電波発信機が複数存在すること。
- (2) 測位端末は設置した電波発信機に対応した RSSI を取得可能であること。
- (3) 測位端末は移動距離推定のため加速度センサを内蔵すること。
- (4) 測位対象は歩行者であり、歩行者は測位端末を保持していること。

3.2 提案手法の概要

本研究では、提案する測位手法を基準地点推定 (補正)、移動方向推定および移動距離推定の 3 つの推定に分割し、主に基準地点推定および移動方向推定について提案を行う。提案手法の全体の仕組みは、図 1 の通りであり、現在の地点 P_n は直前の地点 P_{n-1} からの変位である θ_n および d_n を用いて算出する。

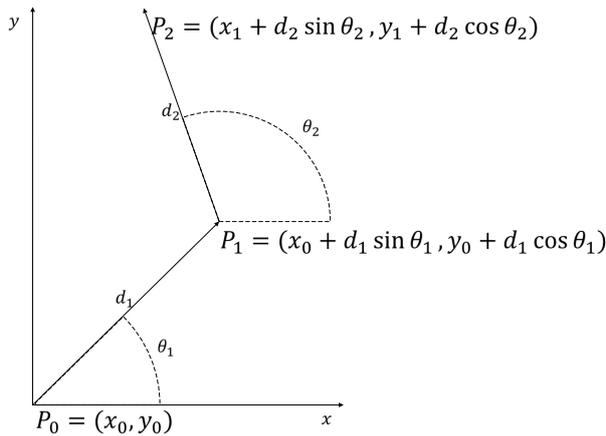
基準地点推定 (補正) は、図 1 内 P_0 の推定に該当し、測位の基準となる初期地点の推定および自立航法中の誤差の補正に該当する処理を行う。

移動方向推定は、図 1 内 θ_n の推定に該当し、測位対象の直前の地点 P_{n-1} からの移動方向を推定する。多くの PDR では、移動方向の推定に地磁気センサを用いるが、本研究では、測位対象の移動に伴う RSSI の変位を用いて移動方向推定を行う。

移動距離推定は、図 1 内 d_n の推定に該当し、測位端末が内蔵する加速度センサを用いて推定する。加速度センサ値に予め閾値を設定し、閾値を上回った時に歩数をカウントする。また高い精度は期待できないものの、歩幅 $stride[m]$ を測位対象の身長 $height[m]$ から 1 を減じた値とし固定長として予め設定する [9]。

3.3 基準地点推定 (補正)

基準地点推定 (補正) では、RSSI を成分とするベクトル空間モデルを作成し測位の基準となる初期地点の推定お



$$P_n = (x_n, y_n) \quad (1)$$

$$P_{n+1} = (x_n + d_n \sin \theta_n, y_n + d_n \cos \theta_n) \quad (2)$$

$$d_n = \text{step}_n \cdot \text{stride} \quad (3)$$

図 1 提案手法の概要

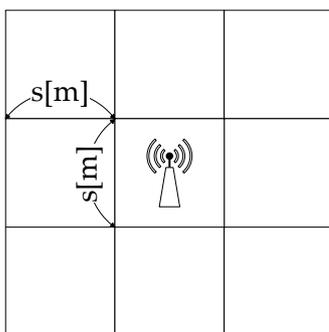


図 2 基準地点推定候補のセル分割

表 1 あるセルにおける理論上および実測した RSSI

電波発信機	実測した RSSI	理論上の RSSI
AN_1	a_1	e_1
AN_2	a_2	e_2
AN_3	a_3	e_3
\vdots	\vdots	\vdots
AN_{i-1}	a_{i-1}	e_{i-1}
AN_i	a_i	e_i

よび誤差補正に該当する処理を行う。ベクトル空間モデルは、理論上の RSSI を成分とするベクトルと実測した RSSI を成分とするベクトルからなり、コサイン類似度を算出する。そのため、各ベクトルの大きさは類似度の計算に関係なく、実測した RSSI が測位端末の性能等によって理論値から全体的に上下した場合でも正しく類似度を計算できる。

手順 1：基準地点推定候補の選択

まず、測位対象から最も近いと思われる基準地点（電波発信機）を選択する。測位端末が観測する RSSI は、電波発信機と受信機間の距離に応じて減衰するという特徴がある。そのため、RSSI が最も大きい電波発信機が測位対象に最も近い電波発信機となり、基準地点推定候補としてこの電波発信機を選択する。

手順 2：セルの分割

手順 1 で選択した基準地点推定候補を中心にセルの分割を行う。図 2 は基準地点推定候補のセルの分割を表しており、基準地点推定候補を中心に 3×3 の合計 9 つのセル $cell_j (j = 1, 2, \dots, 9)$ を作成する。このとき、セルの大きさを決める s は任意の値とする。

手順 3：ベクトル空間モデルの作成と類似度の算出

分割した各セルにおける理論上の RSSI と、測位対象が実測した RSSI からベクトル空間モデルを作成し、理論値と実測値のコサイン類似度を算出する。

ここで、分割したあるセルの理論上の RSSI と実測した

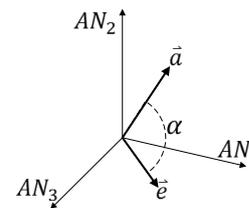


図 3 コサイン類似度の概念図

RSSI が表 1 の通りであったとする。このとき、選択したあるセルの実測値ベクトル \vec{a} は $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_{i-1}, a_i)$ 理論値ベクトル \vec{e} は $\vec{e} = (e_1, e_2, e_3, \dots, e_{i-1}, e_i)$ となる。次に、この実測値ベクトル \vec{a} および、理論値ベクトル \vec{e} の類似度を式 4 を用いて算出する。図 3 は、式 4 のモデルであり、実測値ベクトル \vec{a} 、理論値ベクトル \vec{e} の向きのみを用いて類似度を算出する。また、RSSI を用いたベクトルの作成は正しくは RSSI を距離に変換した上で行う必要があるが、セルの大きさ s が十分に小さい場合、RSSI をそのまま用いた場合でも十分な精度が実現できる。同様に、分割したすべてのセルにおいて類似度を算出する。

$$\cos \alpha = \frac{\vec{a} \cdot \vec{e}}{|\vec{a}| |\vec{e}|} \quad (4)$$

手順 4：補正の判定

算出したコサイン類似度を用いて基準地点推定候補の座標に測位対象を補正するか否かを判定する。手順 3 では、9 つのセル毎に理論上の RSSI と実測した RSSI の類似度を算出している。このとき、基準地点推定候補つまり中心のセルの類似度が他のセルの類似度と比較して最も高い時、

表 2 P_{n-1} および P_n 時における RSSI とその変位

電波発信機	P_{n-1} 時の RSSI	P_n 時の RSSI	変位
AN_1	b_1	a_1	$a_1 - b_1$
AN_2	b_2	a_2	$a_2 - b_2$
AN_3	b_3	a_3	$a_3 - b_3$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
AN_{i-1}	b_{i-1}	a_{i-1}	$a_{i-1} - b_{i-1}$
AN_i	b_i	a_i	$a_i - b_i$

この地点に測位対象の座標を補正する。一方、基準地点推定候補以外（分割したセルの中心以外）の類似度が最も高い時補正は行わない。以上が基準地点推定（補正）の推定手順である。

3.4 移動方向推定

移動方向推定は、測位対象である歩行者の移動に伴う RSSI の変位を用いて行う。提案手法は、地磁気等の方向センサを用いないため測位端末と測位対象の人物の向きが合っていない場合や磁気が乱れている場合であってもこれらの測位環境に低依存な推定が可能となる。

手順 1：RSSI 変位の算出

既知である P_{n-1} 時点と現時点では未知である P_n 時点での RSSI の変位を算出する。表 2 は、 P_{n-1} 時および P_n 時における RSSI とその変位を表している。ここで、RSSI は電波発信機と受信機間の距離が近いほど値が大きくなるため、ある電波発信機 AN_i を例としたとき、 $b_i > a_i$ であれば測位対象は AN_i から遠ざかり、 $b_i < a_i$ であれば測位対象は AN_i に近づいているといえる。

また変位の算出は、正しくは RSSI を距離に変換する必要があるが、本提案では RSSI の値をそのまま利用することとする。これは、提案手法の特徴として電波発信機に近づいているのか遠ざかっているのが最も重要な情報であり、どれほど近づいているのか遠ざかっているのかはさほど重要でないためである。また、RSSI をそのまま用いた場合、ある意味では電波発信機と受信機間の距離に応じて重み付けされていると言えるためである。

手順 2：変位ベクトルの作成

手順 1 で算出した RSSI の変位を用いて電波発信機毎に変位ベクトルを作成する。ある電波発信機 AN_i を例とすると、 P_{n-1} から見た AN_i の設置座標を向きとし、 $a_i - b_i$ を大きさとするベクトルを作成する。ここで、 AN_i に対応する変位ベクトルを \vec{v}_i とすると、各電波発信機に対応した変位ベクトルは、 $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_i$ となる。図 4 は、変位ベクトルの作成例を表しており、 P_{n-1} から各電波発信機の方角に変位ベクトルを作成する。

手順 3：変位ベクトルの合成と移動方向の算出

手順 2 で作成した変位ベクトルから合成ベクトルを作成し、合成ベクトルの向きを算出することで最終的な移動方

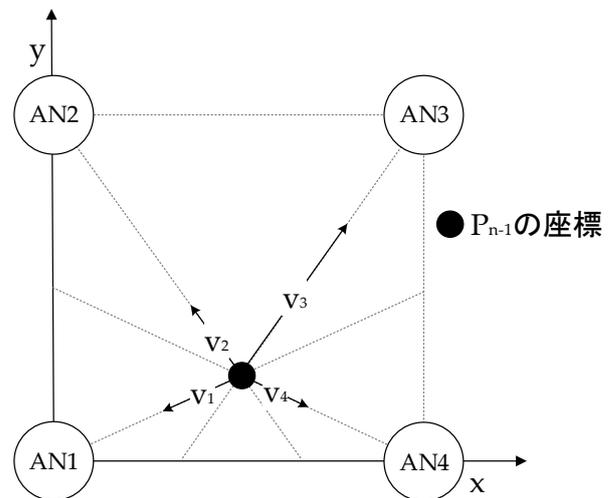


図 4 変位ベクトルの作成

向を推定する。ここで、合成ベクトル \vec{V} は、式 5 によって算出し、合成ベクトルの傾きが本提案における移動方向となる。また、移動距離を加速度センサを用いて推定するため、合成ベクトルの大きさは以後の計算に利用しない。

$$\vec{V} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \dots + \vec{v}_i \quad (5)$$

4. 測位システムの実装

4.1 システムの処理フロー

測位対象が観測する RSSI は、測位端末の性能差や電波発信機の個体差、またその他の周辺環境によって変動する。そのため、構築する測位システムでは一定期間の RSSI から平均値を算出した上で平均化した RSSI を各推定処理に利用する。

図 5 は、測位システムの処理フローを表しており、1 秒間に観測した RSSI から発信機毎に平均 RSSI を算出し、平均 RSSI を基準地点推定に利用する。また平均 RSSI をさらに指数平滑法を用いて平滑化し、平滑化した RSSI を移動方向推定に利用する。基準地点推定は、電波発信機直下の地点でリアルタイム性高く補正を行う必要があり、また電波発信機直下では比較的 RSSI が安定するため一秒間の平均 RSSI を利用することが妥当であると考えられる。移動方向推定は、本研究で想定する通路などの直線的な環境においては一定方向への移動が多いと考えられるため、平均 RSSI をさらに平滑化することで、安定した推定が可能となる。

4.2 電波発信機の仕様および開発環境

本研究では、Android アプリによる測位システムを構築する。Android アプリの開発環境は表 3 に示す通りであり、Bluetooth Low Energy を利用する都合上 Android 4.3 (API 18) 以上を対象とする。

また、電波発信機として表 4 に示す BLU250 (株式会社

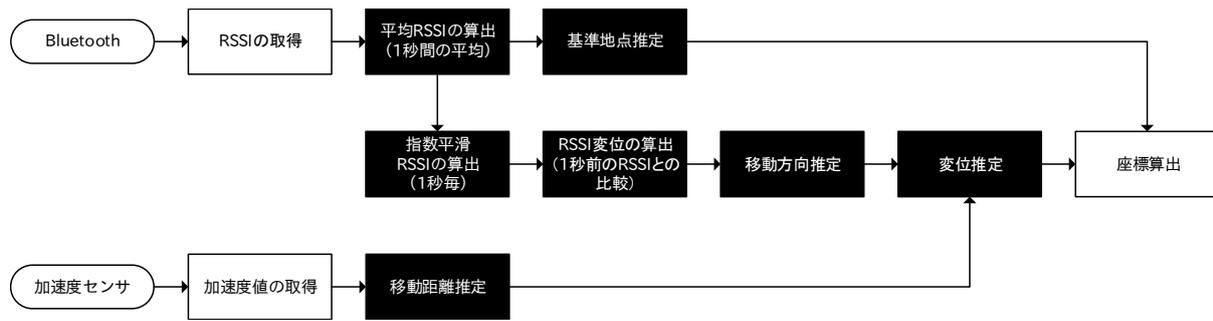


図 5 システムの処理フロー

表 3 開発環境

利用ライブラリ	blereceiver-v2.2.1.0 (株)ERi
統合開発環境	Netbeans8.0.1 NBAndroid
その他使用ツール	Android SDK tools
AndroidSDK バージョン	Android4.3(API18)

表 4 電波発信機の仕様

製品名	BLU250(株)ERi
無線規格	Bluetooth Low Energy
プロファイル	カスタム
周波数	2402 2480MHz
送信電力	-4dBm*1
電源	DC 3V コイン電池
RSSI 取得間隔	100msec*1

表 5 測位端末の仕様

	測位端末 1	測位端末 2
端末	Nexus5(LG 製)	Nexus7(2013, ASUS 製)
OS	Android L Developer Preview	Android 4.4.4
CPU	Snapdragon 800	Snapdragon S4 Pro

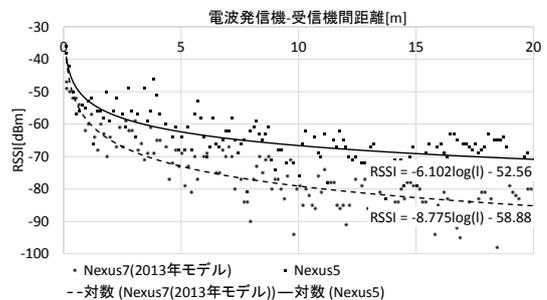


図 7 機種間性能差

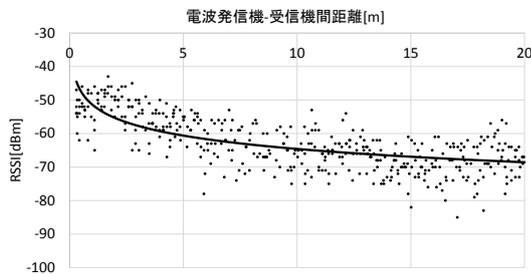


図 6 BLU250 の RSSI と距離の関係

ERi) を利用する. 表 6 は, BLU250 の RSSI と距離 l の関係の実測結果を表しており, 算出した近似曲線は式 6 となる.

$$RSSI = -5.736 \log(l) - 51.391 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.5111$$

5. 評価

5.1 実験環境および測位端末の電波受信特性

提案手法の評価は, 岩手県立大学ソフトウェア情報学部 A 棟と B 棟間の横幅 2.85m, 高さ 2.7m, 長さ 80m の通路

*1 本来の BLU250 よりカスタマイズ

で実施する. また, 使用した電波発信機は天井と同じ高さ 2.7m に設置し, 測位端末から電波発信機までの高さは歩きスマホや手振りなどいずれの場合でも 1.7m の固定長とした.

実験には, 表 5 に示す測位端末を利用しており, 図 7 の通りそれぞれの端末によって電波受信特性が異なることがわかる.

5.2 基準地点推定 (補正) に関する評価

5.2.1 測位端末の電波受信特性による影響の評価

5.2.1.1 実験概要

ここでは, 表 5 に示す 2 つの測位端末を用いて, 電波発信機の設置間隔を 5m, 10m, ..., 40m と変更した場合, 推定誤差にどのような影響が生じるかを検証する.

実験条件はセルの分割サイズ s を 3m とし, 電波発信機の設置間隔毎に, 歩行速度はゆっくり (約 60m/分), 普通の速さ (約 80m/分), はやめ (約 100m/分) の 3 通り, 測位端末の持ち方は歩きスマホ, 手振り, ズボンのポケット, バッグ内の 4 通りの組み合わせでそれぞれ 2 回計測を行った (設置間隔毎に合計 24 回の計測).

実験は, 等間隔に設置した 3 つの電波の端から端まで歩行し, 中心の電波発信機のみで基準地点推定を行う. また

表 6 測位端末電波受信特性による影響

電波発信機設置間隔	基準地点推定地点から実際に補正が行われた地点までの距離 [m]		
	Nexus5	Nexus7	平均
5m	1.75	1.5	1.625
10m	2.475	1.745	2.126
15m	2.825	3.2	3.004
20m	5.127	5.091	5.154
25m	3.741	4.767	4.254
30m	4.025	4.841	4.433
35m	6.617	5.267	5.941
40m	4.433	3.983	3.843
平均	3.885	3.799	3.843

評価は、基準地点推定が行われたか否かの推定実施率、基準地点推定が行われた場合は基準地点推定地点（中心の電波発信機）から実際に基準地点推定が行われた地点までの距離を評価する。

5.2.1.2 実験結果

実験の結果、基準地点推定が行われたか否かを示す実施率は Nexus5 が 100%、Nexus7 が 97.9% となり高い確率で推定が行われた。また、基準地点推定地点（中心の電波発信機）から実際に基準地点推定が行われた地点までの距離を、電波発信機設置間隔別に示した実験結果を表 6 に示す。表 6 の通り、電波発信機の設置間隔が離れるほど誤差が拡大していくが、20m 程度で頭打ちとなり電波発信機設置間隔による影響が減少している。また Nexus5 および Nexus7 ともに誤差に大きな違いはなく測位端末の性能差に依存しない推定が可能と言える。

5.2.2 セルサイズによる影響の評価

5.2.2.1 実験概要

セルの分割サイズを変更した場合の影響を評価する。前章では、測位端末による電波受信特性の影響を評価したが、セルのサイズを 3m とした場合補正地点から離れた場所であっても補正が行われた。そこで、セルサイズの最適化を目的に検証実験を行う。実験は、測位端末を Nexus5、電波発信機の設置間隔は 5m、10m、15m、20m に限定した上で他項目については前章と同様の環境で実施した。

5.2.2.2 実験結果

実験の結果、実施率はセルサイズが 1m の時 89.58%、2m の時 97.91%、3m の時 100% となり、セルサイズが 2 もしくは 3m の時高い確率で基準地点を推定可能であった。また、図 8 にセルサイズを変化させた場合の影響を示す。基準地点推定地点から実際に補正が行われた地点までの距離は、セルサイズが 1m および 2m のとき双方とも 2m 程度、セルサイズが 3m のとき 3m 程度となっており、総じてセルサイズを 2m 程度としたとき実施率、距離ともある程度の精度が期待できる。

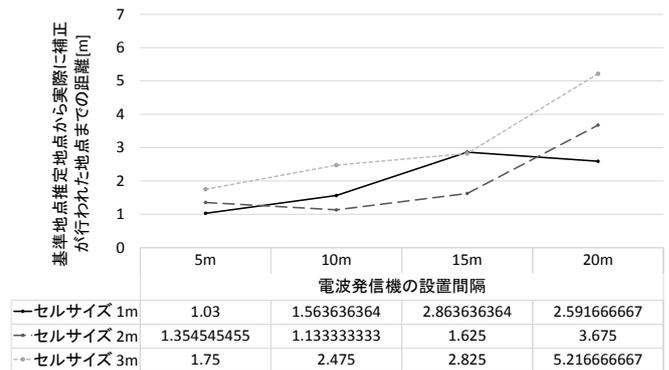


図 8 セルサイズによる影響

5.3 移動方向推定に関する評価

5.3.1 実験概要

移動方向推定に用いる RSSI の指数平滑化係数と電波発信機の設置間隔の関係を明らかにする。実験は、2つの電波発信機を設置した場合、どちらかの方向に移動するののみを評価するため設置した2つの電波発信機の間から一方方向に移動した場合の正誤を判定する。また、実験条件として測位端末が Nexus5、電波発信機の設置間隔が 5m、10m、…、40m の 8 通り、指数平滑化係数が 0.1、0.2、…、1 の 10 通りとし、歩行速度をゆっくり（約 60m/分）、普通の速さ（約 80m/分）、はやめ（約 100m/分）でそれぞれ 2 回計測した。

5.3.2 実験結果

表 7 は、電波発信機設置間隔毎の移動方向推定正答率を表している。全体の傾向として、電波発信機の設置間隔が広がるほど正答率は悪化している。また、指数平滑係数は値が小さいほど正答率が高くなっているが、実利用では一方への移動（直進）以外の動作も含まれるため、その環境に応じて適切に指数平滑係数を設定する必要がある。例として、電波発信機の設置間隔が 20m 程度であれば、指数平滑化係数 0.3 程度で最低限のリアルタイム性を確保しつつ、90% 以上の正答率が期待できる。

5.4 総合評価

5.4.1 実験環境

提案手法全体の評価として、実利用における測位精度を検証した。電波発信機は合計 5 個を直線上に 20m 間隔で設置し、基準地点推定のセルサイズ s を 2m、移動方向推定の指数平滑化係数を 0.3 とした。

実験は、0m 地点から 80m 地点まで単純に移動する方法（実験 1）と、0m→50m→30m→80m と 2 度折り返す方法（実験 2）とを行った。実験 1 の組み合わせは測位端末が Nexus5 および Nexus7 の 2 通り、歩行速度がゆっくり（約 60m/分）、普通の速さ（約 80m/分）、はやめ（約 100m/分）の 3 通り、測位端末の持ち方は歩きスマホ、手振り、ズボンのポケット、バッグ内の 4 通りとし、それぞれ 2 回の合

表 7 電波発信機設置間隔毎の移動方向推定正答率 (%)

電波発信機設置間隔	指数平滑係数									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
5	93.33	100	100	100	100	75.55	72.22	83.33	83.33	83.33
10	90.00	95.83	100	83.33	85.71	91.66	90.47	76.66	82.22	72.22
15	92.30	97.22	86.00	72.99	90.10	69.96	79.44	68.33	62.73	64.27
20	90.47	93.75	94.21	77.18	81.48	96.07	81.25	76.94	85.97	67.89
25	89.68	93.93	85.83	81.18	81.90	80.79	76.90	76.83	70.87	79.64
30	88.97	76.24	86.44	79.55	78.24	86.55	66.18	65.74	74.97	67.77
35	97.77	82.22	84.74	82.50	91.01	70.47	81.49	64.71	70.21	67.07
40	91.26	92.22	78.80	68.23	74.11	66.66	66.61	74.13	64.18	62.91
平均	91.72	91.42	89.50	80.62	85.32	79.71	76.82	73.33	74.31	70.64



図 9 システムの動作画面

計 48 回計測を行った。実験 2 は、測位端末の持ち方を歩きスマホに限定した上で、測位端末が Nexus5 および Nexus7 の 2 通り、歩行速度がゆっくり (約 60m/分)、普通の速さ (約 80m/分)、はやめ (約 100m/分) の 3 通り、それぞれ 2 回の合計 12 回計測を行った。また、測位端末には電波発信機およびこれまでの軌跡が図 9 の様に表示される。

5.4.2 実験結果

評価では、実地点と推定地点との誤差 [m] を 1 秒間隔に算出する。図 10 は実験 1 の測位結果を表しており、Nexus5 の平均誤差が 3.27m、Nexus7 の平均誤差が 3.66m と比較的良好な結果が得られた。

また、図 11 に歩きスマホに限定して折り返しを含む歩行を行った場合 (実験 2) の測位結果を表す。実験 1 において歩きスマホに限定した誤差は 2.98m であったのに対して、実験 2 では 3.09m とほぼ同程度の誤差となっており、折り返しを含む歩行においても直進時とほぼ同程度の測位

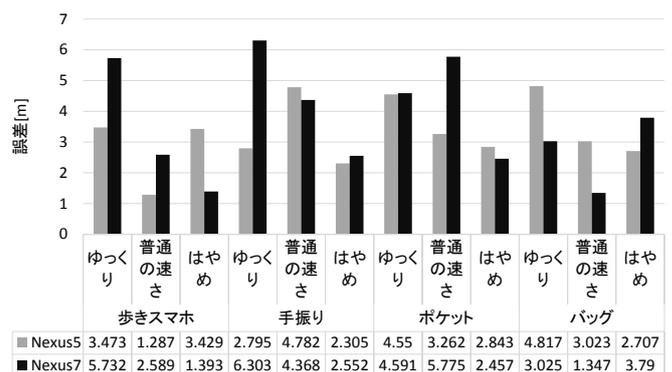


図 10 実験 1 : 直進歩行時の測位誤差

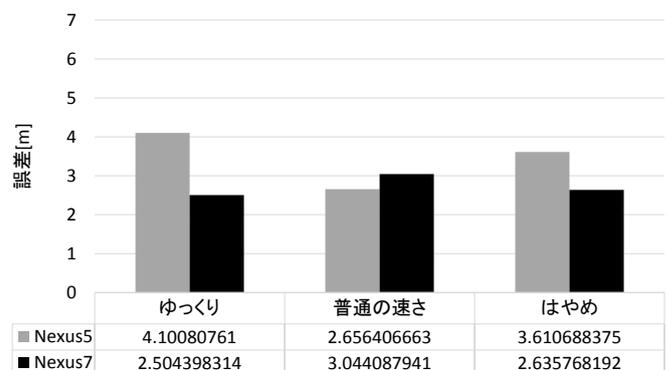


図 11 実験 2 : 折り返しを含む歩行時の測位誤差

精度を実現している。一方で、基準地点推定のタイミングによっては移動方向推定が正しく行われない場合があった。これは、基準地点推定直後の移動方向推定ミスによって反対方向に進む場合や、基準地点から離れた地点で基準地点推定が行われた場合に発生している。

6. おわりに

本稿では、駅構内や空港ターミナルにおける直線的な通路を想定し、PDR において課題となる基準地点の推定および移動方向の推定に対して Bluetooth 発信機を用いる手法を提案した。提案手法は、基準地点推定が測位端末の電波受信特性に左右されない点に、移動方向推定が測位端末の保持姿勢に依存しない点に特徴がある。また実環境を想

定した総合評価では、Nexus5 が 3.27m、Nexus7 が 3.66m の誤差を実現した。

一方で、基準地点推定と移動方向推定の組み合わせ方によって移動方向の推定精度が大きく悪化する現象が発生した。今後は、基準地点推定と移動方向推定の組み合わせ方法、地磁気やジャイロセンサとの併用による移動方向推定について検討を行う。また、本稿で対象とした直線的な通路以外の空間への応用について今後検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 1, pp. 280-288 (2014).
- [3] 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ズ推定による無線 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).
- [4] 藤田 迪, 梶 克彦, 河口信夫: Gaussian Mixture Model を用いた無線 LAN 位置推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 3, pp. 1069-1081 (2011).
- [5] 梶 克彦, 河口信夫: indoor.Locky: UGC を利用した無線 LAN 屋内位置情報基盤, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 12, pp. 3263-3273 (2011).
- [6] 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).
- [7] 岩崎 改, 五百蔵重典: 高周波可聴音を用いた屋内測位に関する検討, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 575-580 (2014).
- [8] 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築と検証実験, 測位航法学会論文誌, Vol. 3, No. 1, pp. 1-8 (2012).
- [9] 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).
- [10] 北川 拓, 新井イスマイル: スマートフォン内蔵ジャイロセンサによる屋内方位推定精度向上, 技術報告 11, 情報処理学会 (2013).
- [11] 篠崎優介, 羽多野裕之, 藤井雅弘, 渡辺 裕: スマートフォンを用いた移動状態推定手法に関する一検討, 第 76 回全国大会講演論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 209-210 (2014).
- [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, 第 76 回全国大会講演論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 211-212 (2014).
- [13] 高階孝敏, 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, 第 70 回全国大会講演論文集, Vol. 2008, No. 3, pp. 279-280 (2008).
- [14] 梶 克彦, 河口信夫: 無線 LAN 環境特異点に基づくゲート通過検出手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 1, pp. 366-377 (2014).
- [15] 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 軌跡補正, 技術報告 20, 立命館大学大学院情報理工学研究科, 立命館大学情報理工学部, 立

命館大学総合科学技術研究機構, 立命館大学情報理工学部 (2014).

- [16] 小野嵩晃, 平石広典: 電波強度と加速度センサーによるハイブリッドな位置推定方式, 第 75 回全国大会講演論文集, Vol. 2013, No. 1, pp. 197-199 (2013).
- [17] 石塚宏紀, 上坂大輔, 黒川茂莉, 渡邊孝文, 村松茂樹, 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-, 技術報告 21 (2014).