

# 歩行時の磁気センシングデータを利用した屋内位置推定手法

村田 雄哉<sup>1</sup> 梶 克彦<sup>2</sup> 廣井 慧<sup>3</sup> 河口 信夫<sup>3</sup> 神山 剛<sup>4</sup> 太田 賢<sup>4</sup> 稲村 浩<sup>4</sup>

概要：本研究では、磁気センサのみを用いた位置推定手法を提案する。さまざまな屋内位置推定手法が提案されている中で、磁気センサのみを用いた屋内位置推定精度の追求は十分に行われていない。しかし、磁気センサのみで位置推定が可能であれば、利用する端末において省電力化や低コスト化を実現できる。提案手法では建物内の経路移動時に観測される磁気データ系列を利用する。移動経路には階段も含まれるため、3次元構造内での位置推定を可能にしている。移動中に観測される磁気データの利用により、データ収集時のコストを軽減できる。観測された磁気データ系列をメッシュでセルに分割し、磁気データモデルを作成する。この磁気データモデルには、各セル内で観測された磁気データの平均値、標準偏差、セルの隣接関係といった情報が含まれる。磁気データモデルと観測された磁気データとをパーティクルフィルタによって比較し、パーティクルの分布から位置推定を行う。提案手法の評価実験を、HASC-IPSC を用いて行った。このコーパスに含まれる、特定の1つの建物内を移動した42名のデータを利用し、磁気データモデルの作成と提案手法による位置推定を行った。位置推定の結果、全体の誤差の平均は約12mであった。

## Pedestrian Indoor Positioning Method using Magnetic Data

YUYA MURATA<sup>1</sup> KATSUHIKO KAJI<sup>2</sup> KEI HIROI<sup>3</sup> NOBUO KAWAGUCHI<sup>3</sup>  
TAKESHI KAMIYAMA<sup>4</sup> KEN OHTA<sup>4</sup> HIROSHI INAMURA<sup>4</sup>

### 1. はじめに

スマートフォンやタブレット端末を用いた、ナビゲーションやライフログ管理などの位置情報サービスが普及している。これらのサービスを利用するには、利用者の位置情報が必要である。屋外ではGPSを利用できるが、屋内ではGPSの精度が不十分であるため、GPSによる位置情報の取得は困難である。そのため、GPSに代わる屋内での位置情報取得方法が必要となる。

屋内で位置推定を行う研究には、RFIDや無線LAN基地局を設置し利用する手法や、端末の加速度・角速度センサを用いる手法など、さまざまなものが存在する。その中で代表的なものは、複数の手法を組み合わせる手法である[1][2]。この手法では、組み合わせによってそれぞれの

手法がもつ弱点を補い、高精度の位置推定を可能にしている。その一方、利用するセンサや機器が増えるため、消費電力や機器の維持・管理コストが増加する。また、それぞれの手法には得意・不得意とする環境が存在するため、どのような環境にも適応可能な位置推定手法の実現は困難である。そのため消費電力、コスト、環境といったさまざまな要因に応じて適切に位置推定手法を切り替えられる必要がある。

そこで本研究では、磁気センサのみを用いた位置推定手法を提案する。単一センサでの位置推定手法精度の向上は、位置推定手法の切り替えによる対応の柔軟性を広げる可能性がある。さまざまな屋内位置推定手法が提案されている中で、磁気センサのみを用いた屋内位置推定精度の追求は十分に行われていない。しかし磁気センサのみで位置推定が可能であれば、利用する端末の省電力化や低コスト化が実現できる。

提案手法では、経路移動時に観測される磁気データを利用する。移動経路には階段も含まれるため、3次元構造内での位置推定を可能にしている。また、移動中に観測され

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院 工学研究科  
Graduate School of Engineering, Nagoya University

<sup>2</sup> 愛知工業大学 情報科学部  
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

<sup>3</sup> 名古屋大学 未来社会創造機構  
Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University

<sup>4</sup> NTT ドコモ 先進技術研究所  
Research Laboratories, NTT DOCOMO, Inc.

た磁気データの利用により、データ収集のコストを軽減できる。観測された磁気データ系列をメッシュでセルに分割し、磁気データモデルを作成する。磁気データモデルの作成には、複数の歩行者によって観測された磁気データを利用する。磁気データモデルには、各セル内で観測された磁気値の平均値、標準偏差、セルの隣接関係といった情報が含まれる。この磁気データモデルと観測された磁気データを比較し、位置推定に利用する。位置推定には、パーティクルフィルタを利用する。観測される磁気値は、特徴的な箇所があれば、ばらつきが大きい箇所も存在する。そのため、多数のパーティクルによって曖昧さを含む磁気変化を追従し、パーティクルの分布から位置推定を行う。

提案手法の評価には、HASC-IPSC[3]を利用する。HASC-IPSCは屋内歩行センシングコーパスであり、建物内の経路移動時に観測された加速度、角速度、磁気などのセンサデータが含まれている。このコーパスに含まれる、特定の1つの建物内を移動した際のセンサデータを利用し、評価実験を行う。

以下に本稿の構成を述べる。まず2章で屋内位置推定の関連研究について述べる。3章では、磁気センサを利用した位置推定手法について述べる。4章では、提案手法を用いて行った評価実験とその結果に対する考察を行う。5章で本稿のまとめと、今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

建物内で位置推定を行う研究には、BluetoothやRFID等を環境内に設置し利用する手法や、環境内に機器を追加せずに、携帯端末の加速度・角速度等のセンサを利用する手法がある。環境内に機器を設置し、利用する手法では、発信機からの電波強度やタグ情報から位置情報を取得し、利用者の位置を推定する[4][5]。この手法では、利用する機器の導入・維持・管理コストが問題となる。既存の無線LAN基地局や建物の残留磁気を利用し、機器利用に関するコストを軽減する手法も存在する[6][7]。これらの手法では、位置推定を行う環境において、観測される電波強度や磁気データを事前に収集する必要がある。データ収集には、多くの場合Fingerprinting方式が用いられ、高い密度での収集が必要である。また、機器の故障や更新・追加など、環境内の情報が変わるたびに行わなければならない。

加速度・角速度等のセンサを利用する手法では、センサデータをもとに直前の位置からの変位を算出し、相対的に利用者の位置を推定する[8][9]。特に歩行者を対象にしたものは、歩行者デッドレコニングと呼ばれる。スマートフォンやタブレット端末にはこれらのセンサが搭載されているため、歩行者デッドレコニングを利用できる。しかし、変異によって相対的に位置を推定するため、誤差の累積が問題となる。また、複数のセンサを同時に利用するため、その分の消費電力も増加する。そのため、歩行者デッドレコ

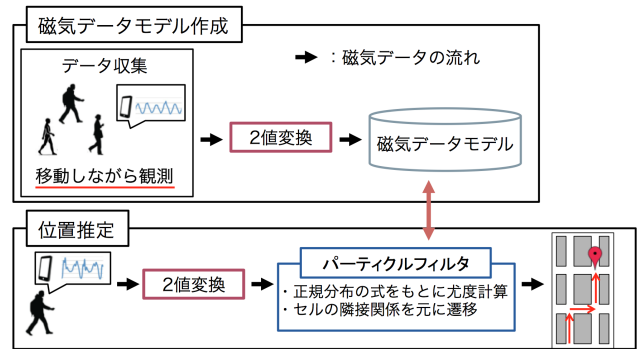


図1 提案手法の全体像

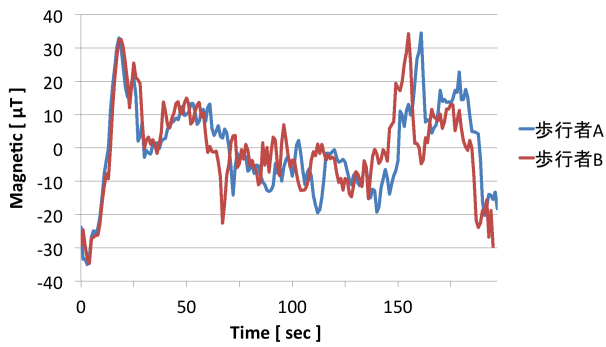
ニングのみを用いた長時間の位置推定は困難とされる。

単一センサでの位置推定精度の向上は、屋内位置推定のフィービリティ向上につながる。前述のさまざまな手法を組み合わせれば、高精度の位置推定が可能であるが、利用するセンサや機器の増加とともに、消費電力、機器の維持・管理コストやデータ収集による人的コストも増加する。単一センサでの位置推定が可能であれば、コスト削減や位置推定精度の切り替えによる対応の柔軟性の幅を広げる可能性がある。これまで、単一センサを用いた移動経路推定に関する研究[10][11][12]は行われているが、磁気センサによる屋内位置推定精度の追求は十分になされていない。

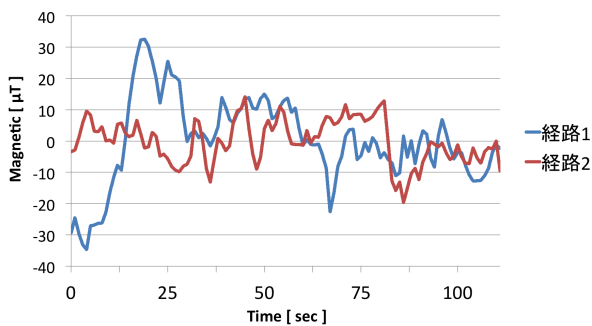
## 3. 残留磁気を利用した位置推定手法

本研究では磁気に着目し、磁気センサのみを用いた屋内位置推定手法を提案する。建物には、鉄骨等に残留磁気が存在し、この残留磁気には時間変化が少なく、観測される値は場所によって異なるといった特徴がある。提案手法では、この残留磁気の特徴を位置推定に利用する。提案手法の全体像を図1に示す。センサノイズの影響を軽減し、正確に位置推定を行うために、位置推定環境の磁気データモデルを作成する。磁気データモデルの作成には、複数の歩行者によって収集されたデータを利用する。移動中に観測された磁気データをメッシュでセルに分割し、同一セル内で観測されたデータをまとめ、磁気データモデルを作成する。

磁気データモデルと観測された磁気データの比較には、パーティクルフィルタを利用する。建物内において、観測される磁気値は場所によって異なるが、類似した値をもつ場所も少なからず存在する。しかし、移動しながら磁気を観測した場合、その変化系列には特徴が表れる[12]。異なる経路を移動した場合と同一経路を移動した場合の、垂直方向の磁気データを図2に示す。同一経路を移動した場合では、全体的にグラフ形状が類似している。異なる経路を移動した場合は、部分的に類似した値を持つ瞬間もあるが、全体的なグラフ形状は異なっている。この経路ごとに異なる磁気変化を多数のパーティクルによって追従し、



(a) 同一経路を移動した場合



(b) 異なる経路を移動した場合

図 2 経路移動時に観測される磁気データ (垂直方向)

位置推定を行う。

### 3.1 歩行によるデータ収集

提案手法で利用する磁気データは、移動しながら収集する。データ収集を行う前に、位置推定を行う建物において、人がその建物内をどのように移動可能であるかを表す歩行空間ネットワーク構造を作成する必要がある。歩行空間ネットワーク構造はノードリンク構造で記述する。ノードとは経路の開始・終了地点や階段の踊り場、曲がり角を表す。各ノードには、ノード ID、3次元座標、他のノードとのリンク情報が与えられている。位置推定環境においてノードを設置し、そのリンク情報をもとに歩行空間ネットワーク構造を作成する。データ収集時には、歩行空間ネットワーク構造から、予めどの経路を歩くかを決めておく。端末を体の一部に装着し、開始地点から終了地点まで一定速度で移動し、データを収集する。このとき、通過するノードごとに音声やボタン操作等で通過時間を記録する。

関連研究では、データ収集に Fingerprinting 方式を用いている [1][6]。通常の Fingerprinting 方式では、位置推定を行う環境のマップを用意し、マップに基づいてデータ収集を行う。計測地点で端末を固定し、数秒から数十秒間データ収集を行う。この操作を 1~2 m 間隔で行い、マップ全体のデータを収集する。この方式を用いて、ショッピングモールなどの複数フロアをもつ建物でデータ収集を行った場合、計測時間や人的コストは膨大になる。提案手法では、

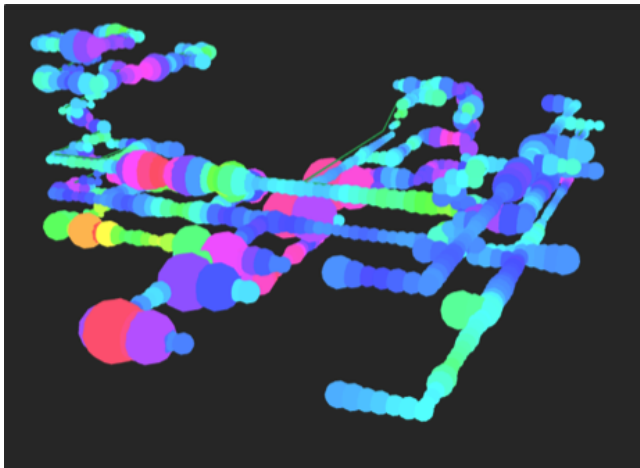
1 経路あたりの計測時間は移動時間と同等と短く、複数の経路を計測した場合でも短時間でデータ収集が可能である。また、歩行空間ネットワーク構造の作成は、位置推定環境のマップがあれば容易に作成可能であり、建物構造が変わらない限り更新する必要はない。そのため、Fingerprinting 方式に比べデータ収集にかかるコストが少なく、更新が容易であるといえる。

### 3.2 磁気データモデルの生成

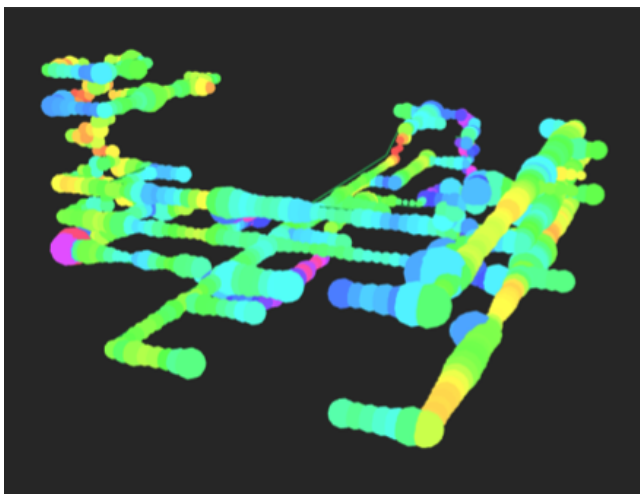
観測される磁気値は、必ずしも同じ場所で同じ値が観測されるとは限らない。そのため、建物内の経路移動中に観測されたデータを用い、磁気データモデルを作成する。利用する磁気データは、腰に端末を装着した状態で経路を歩行し、収集している。収集された磁気データは、変化は類似しているが、大きさに違いが見られる。これは、観測時の端末の装着位置の影響が考えられる。例えば、身長が違う歩行者が同様の方法でデータを収集した場合、地面に埋め込まれている鉄骨の残留磁気の影響は、身長の低い計測者の端末に強く現れる。ただし、腰の高さといった個人差は相対的な磁気変化量に大きな影響を与えるほどではないため、オフセット値の加減算によってフィッティングできる。そこで、観測された磁気データ全体から平均値を算出し、その値を減算し相対的な変化のみを用いる。

磁気データモデル作成のために、観測された磁気データをメッシュでセルに分割する。メッシュ分割により特徴的な磁気変化をしている区間を切り出し、セルごとに異なった値をもたせられる。メッシュのサイズは、大きすぎると特徴的な磁気変化を捉えられなくなり、小さすぎると類似の値をもつセルの数が膨大になってしまう。そのため本稿では、メッシュのサイズを 1m としている。複数の歩行者によって収集されたデータを同様の方法でセルに分割し、同一セル内で観測された磁気データをまとめて磁気データモデルを作成する。各セルには、セルの ID、セル内で観測された磁気値の平均値、標準偏差や座標、隣接関係といった情報が与えられている。

また、磁気データは水平・垂直の 2 値に変換している。磁気は 3 軸の値として観測されるが、残留磁気の影響で方位がわからないため、そのままでは利用できない。そのため、観測に利用する端末の姿勢は固定されていると想定し、磁気値の X・Z 軸方向を合成した水平成分、Y 軸成分を垂直成分に変換して利用する。作成した磁気データモデルを図 3 に示す。色が磁気値の大きさ、半径が観測される磁気値の標準偏差を表している。また、図 4、図 5 に各セルが持つ磁気データの値とその標準偏差を示す。類似した値をもつ箇所も存在するが、セルごとに値が異なっている。また標準偏差が大きい箇所も多く、セルの情報があまり信用できない箇所も存在する。この磁気データモデルを利用し、位置推定を行うためには、観測された磁気データの曖昧さも考



(a) 垂直方向の磁気データモデル



(b) 水平方向の磁気データモデル

図 3 磁気データモデル

慮しなければならない。

### 3.3 パーティクルフィルタによる位置推定

提案手法では、位置推定にパーティクルフィルタを利用する。パーティクルフィルタは時系列フィルタの一種であり、ノイズを含む観測値から尤度に基いて対象の状態を推定する手法である。作成した磁気データモデルには、特徴的な値をもつセルだけでなく、標準偏差が大きく、観測される値にばらつきがあるセルも存在する。そのため、多数のパーティクルによってばらつきの大きい磁気変化を追従する。しかし類似した値や磁気変化をする箇所も多くあるため、瞬間的に観測した磁気値やその変化だけでの位置推定は難しい。そのため本研究では初期位置を与え、初期位置からの変位を多数のパーティクルによって追従し、位置推定を行う。

入力する磁気データは、磁気データモデル作成時と同様の処理を行う。その後、観測した磁気データに窓をかけ、窓内の平均値をとり、入力値として利用する。本稿では窓幅を 0.5s、窓のスライド幅を 0.25s とした。

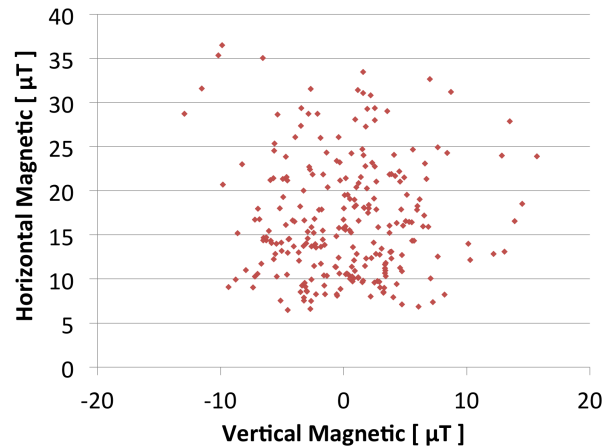


図 4 磁気データモデルの磁気の分布

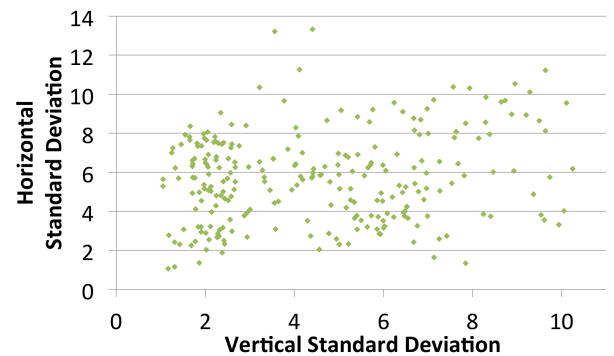


図 5 磁気データモデルの磁気の標準偏差

以降、観測された磁気データを時系列順に入力し、各パーティクルが存在するセルの情報と比較する。各パーティクルは、自身の尤度を計算し、尤度の高い箇所にパーティクルが集まるように自身の位置を更新する。パーティクルの遷移には、セルの隣接関係を利用している。パーティクルフィルタは、予測、尤度計算、リサンプリングの 3 つの処理を 1 ステップとして繰り返し、位置推定を進める。以下に各処理の詳細を述べる。

#### 3.3.1 予測

各パーティクルの位置を更新する。パーティクルは、磁気データモデルのいずれかのセルに存在している。各セルがもつ隣接関係の情報を元に、パーティクルを遷移させる。遷移するセルは、隣接関係の中からそれぞれ等確率で選択する。セルの隣接関係には、現在パーティクルが存在するセルとそのセルが隣り合うセルが含まれる。また、パーティクルには直前の位置からの移動方向をもたせている。パーティクルの移動方向とセルの隣接関係を利用し、パーティクルの位置を更新する。

#### 3.3.2 尤度計算

観測した磁気データと各パーティクルの存在するセルの情報を利用して、尤度を計算する。本稿で扱う尤度の意味

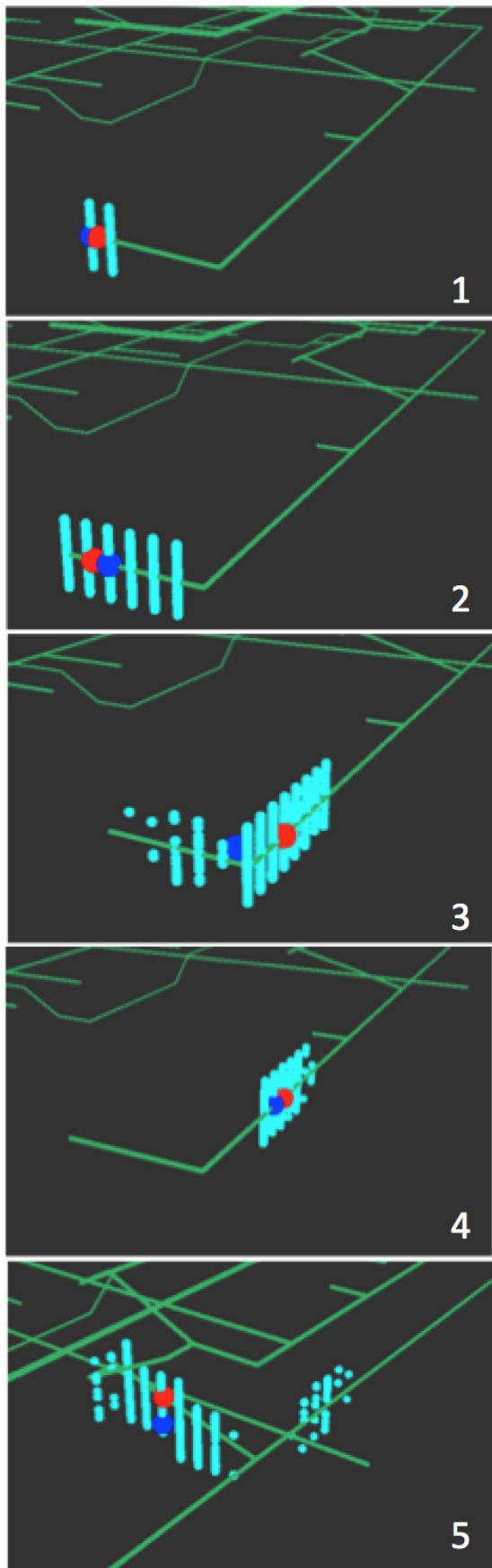


図 6 位置推定の様子

は、パーティクルが存在するセルにおいて、観測された磁気データの値が得られる確率を表す。パーティクルの尤度は、水平方向の磁気データに対する尤度と垂直方向の磁気データに対する尤度の積で求める。尤度の計算には、一般的な正規分布の式を用いる。そのため、観測した磁気の値がセルのもつ磁気の値と類似するほど尤度が高くなる。尤度計算の際に必要な標準偏差には、各セルがもつ磁気の標準偏差の値を利用した。

### 3.3.3 リサンプリング

各パーティクルの尤度に基づいて、リサンプリングを行う。パーティクルの選定には、ルーレット選択を用いる。そのため、高い尤度をもつパーティクルだけでなく、低い尤度をもつパーティクルも確率的に選択される。これは、局所解への収束を防ぐためである。ルーレット選択により、次世代に残すパーティクルを選択し、選択されなかったパーティクルを削除する。減少した数だけ、選択したパーティクルの近くに新たなパーティクルを生成する。

### 3.3.4 パーティクル分布のクラスタリングに基づく位置推定

リサンプリング後のパーティクルの分布から、位置推定を行う。パーティクルは様々な場所に散らばっているため、まずクラスタリングを行う。クラスタリングの手法には、x-means 法を利用した [13]。x-means 法を行った後、もっとも大きなクラスタの重心を推定位置とする。パーティクルフィルタによる位置推定の様子を、図 6 に示す。赤い点が正解位置、青い点が推定位置、水色の点がパーティクルを表している。観測されたデータが入力されるたびに前述のステップを繰り返し、位置推定を行う。

## 4. 評価実験

提案手法を用いて、位置推定精度の評価実験を行った。評価実験には、屋内歩行センシングコースである HASC-IPSC を利用した。HASC-IPSC には、3 つの建物内の経路移動時に観測された加速度、角速度、磁気などのセンサデータが含まれている。このデータのうち、特定の 1 つの建物内を移動した 42 名のデータを評価実験に利用した。利用したデータの詳細を表 1 に示す。経路移動中、計測者は止まることなく、一定速度で移動している。これらのデータを利用し、磁気データモデル作成を行った。また、位置推定に利用するデータは、磁気データモデル作成時と同じものを利用している。

位置推定精度の評価には、HASC-IPSC に含まれる座標データを利用する。磁気を観測した時刻と最も近い時刻の座標データを比較し、誤差を算出する。

### 4.1 実験結果

提案手法を用い、位置推定を行った結果を表 2 に示す。表の値は、各時刻における推定位置と正解位置の誤差を算

表 1 利用した経路データ

被験者数	42 名
経路数	11 経路
1 経路あたりの平均歩行者数	3.8 名
端末	Nexus4 (Android 4.1.1)
端末位置	腰後方中央

表 2 経路毎の位置推定結果

経路名	経路長 [ m ]	平均誤差 [ m ]	標準偏差
ra01	77.2	11.4	9.8
ra02	59.9	5.6	1.7
ra03	96.2	9.9	8.3
ra04	77.4	11.0	7.0
ra05	34.4	6.5	4.4
ra06	67.5	17.8	6.2
ra07	58.5	11.8	4.5
ra08	73.3	18.0	8.3
ra09	95.2	20.1	3.0
ra10	74.0	15.4	10.8
ra11	80.1	6.1	6.0
全体の平均		12.2	6.4
最小の経路平均誤差		5.6	

表 3 同一経路 (ra01) を移動した歩行者の位置推定結果

歩行者	平均誤差 [ m ]	標準偏差
Person1207	2.8	0.04
Person1208	6.1	3.02
Person1217	23.2	0.45
Person1234	1.8	0.25
Person1296	23.1	0.51

出し、その平均値をとったものである。パーティクルフィルタは試行毎に結果が異なるため、1つのデータに対して5回試行を繰り返し、5回の平均値をそのデータの誤差とした。

#### 4.2 考察

評価実験の結果、経路によって誤差の値に大きく差が見られた。推定位置との誤差が小さい経路では、複数のセンサを用いた既存手法に近い精度で位置推定が可能であった。このことから、磁気センサのみでの位置推定は十分可能であるといえる。しかし、誤差が大きい経路も多数確認された。これらの経路では、分岐においてパーティクルが正解位置と異なる方向に進んでいた。パーティクルには直前の分布から算出した移動方向を与えており、パーティクルの移動の際に考慮している。そのためパーティクルが分岐に至った際に、それまでの移動方向の影響を受け、誤った方向に進みやすくなっていたと考えられる。

また、経路だけでなく、歩行者によっても推定結果の値に差が見られた。同一経路を移動した5人の歩行者の推定結果を表3に示す。誤差が小さい歩行者のデータでは、歩

行者の移動に伴い、パーティクルが遷移し高い精度で位置推定が行えている。これに対し誤差が大きい歩行者のデータでは、パーティクルが正解位置と反対方向に進んでいる状態や一部に留まっている状態が確認された。これは、観測した際のノイズの影響が考えられる。計測時の端末の高さによるオフセットの違いは考慮しているが、センサ自体の磁化などに起因するノイズ除去は行っていない。そのため観測した磁気データにノイズが加わり、正解位置のセルに存在するパーティクルよりも異なるセルに存在するパーティクルの尤度が高くなる可能性がある。その結果、間違った方向に進み、正解位置と大きく離れてしまったと考えられる。

#### 5. おわりに

本稿では、磁気センサのみを利用した屋内位置推定手法を提案した。提案手法では移動中に観測される磁気データ系列を利用した。移動中に観測した磁気データの利用により、データ収集時のコスト軽減が可能である。経路移動時に観測された磁気データ系列をメッシュでセルに分割し、磁気データモデルを作成した。この磁気データモデルには、各セル内で観測された磁気データの平均値、標準偏差や座標、セルの隣接関係といった情報が含まれる。また磁気データモデルの作成には、複数の歩行者によって収集されたデータを利用した。収集されたデータを同様の方法でセルに分割し、同一セル内で観測された磁気データをまとめ、磁気データモデルを作成した。位置推定には、パーティクルフィルタを利用した。磁気データモデルと観測された磁気データをパーティクルフィルタによって比較し、位置推定を行った。

評価実験には、HASC-IPSCに含まれる、特定の1つの建物内を移動した42名の移動経路データを利用した。評価の結果、位置推定の誤差は平均約12mであった。今後の課題として、以下の点が挙げられる。

- 初期位置の推定

評価実験では、位置推定前に初期位置を与えている。しかし実環境での利用を想定すると、初期位置は推定によって与えられることが望ましい。そのため、初期位置の推定を組み込む必要があると考えられる。パーティクルフィルタによって初期位置の推定を行うためには、より推定精度を向上させる必要がある。

- 端末姿勢の推定

本稿では、端末は歩行者の腰の後方中心に固定されていると想定している。しかし端末を利用する際、歩行者はさまざまな位置に端末を保持している。端末を保持する場所によって端末の姿勢は異なるため、観測されるセンサデータも異なる。そのため、端末の保持位置とその際の姿勢を考慮し、姿勢によって磁気データモデルや観測した磁気データの変換を行わなければな

らない。

- 類似した磁気をもつ場所への対応

提案手法では，残留磁気の値に着目している．位置推定を行う環境が広くなれば，それだけ類似する磁気の数をもつ場所が増える可能性がある．類似する磁気をもつ場所が増えれば，それだけ推定を誤る可能性も増加する．そのため，より特徴的な磁気をもつ場所で補正をかける，微分値といった特徴量を利用するなど，類似する磁気をもつ場所への対応を考慮に入れなければならない．

推定手法. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 114, No. 418, pp. 61–66, 2015.

- [13] 石岡恒憲. クラスタ数自動決定する k-means アルゴリズムの拡張について. 応用統計学, Vol. 29, No. 3, pp. 141–149, 2001.

## 参考文献

- [1] 坂涼司, 梶克彦, 河口信夫. 磁気と wifi 電波強度を含んだマップ情報に歩行者デッドレコニングを併用した屋内位置推定手法. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 113, No. 399, pp. 23–28, 2014.
- [2] 上田紘平, 鈴木瑛識, 重野寛. Fingerprint とデッドレコニングを併用した屋内位置推定手法に関する検討. 研究報告マルチメディア通信と分散処理(DPS), Vol. 2014, No. 8, pp. 1–8, 2014.
- [3] Katsuhiko Kaji, Hodaka Watanabe, Ryoji Ban, and Nobuo Kawaguchi. HASC-IPSC: Indoor Pedestrian Sensing Corpus with a Balance of Gender and Age for Indoor Positioning and Floor-plan Generation Researches. In *Proceedings of the 2013 ACM Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication, UbiComp '13 Adjunct*, pp. 605–610, 2013.
- [4] 田岡康裕, 納谷太, 野間春生, 小暮潔, 李周浩. Bluetooth の電波強度を用いたユーザの位置推定手法. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 108, No. 138, pp. 147–152, 2008.
- [5] 小川智明, 吉野修一, 清水雅史. 屋内における無線タグを用いた学習型位置推定法. 情報処理学会研究報告, Vol. 2004, No. 66, pp. 31–38, 2004.
- [6] Hongwei Xie, Tao Gu, Xianping Tao, Haibo Ye, and Jian Lv. MaLoc: A Practical Magnetic Fingerprinting Approach to Indoor Localization Using Smartphones. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp '14*, pp. 243–253, 2014.
- [7] Sebastian Hilsenbeck, Dmytro Bobkov, Georg Schroth, Robert Huitl, and Eckehard Steinbach. Graph-based Data Fusion of Pedometer and WiFi Measurements for Mobile Indoor Positioning. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp '14*, pp. 147–158, 2014.
- [8] 五百蔵重典, 鈴木孝幸, 田中博. スマートフォン内蔵センサーを用いた複数フロアデッドレコニング. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, pp. 723–735, 2013.
- [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] 山木通宏, 上岡英史. 加速度センサを用いたパターンマッチングによる移動状態推定. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 376, pp. 67–72, 2011.
- [11] 小川延宏, 岩崎陽平, 梶克彦, 河口信夫. 装着型センサを活用した行動情報によるユーザ移動経路推定. 全国大会講演論文集, Vol. 2012, No. 1, pp. 361–363, 2012.
- [12] 村田雄哉, 梶克彦, 廣井慧, 河口信夫, 神山剛, 太田賢, 稲村浩. 歩行時の磁気センシングデータの比較による移動経路