

大量の屋内PDR歩行軌跡を用いた歩行軌跡の高精度化

四ツ谷 昂亮¹ 伊藤 信行² 内藤 克浩³ 中條 直也³ 水野 忠則³ 梶 克彦³

概要: 建物構造情報は屋内位置情報サービス (Indoor Location Based Services : 屋内 LBS) の実現に必要な情報である。我々の目的は, PDR によって得られた大量の軌跡の統合による歩行空間ネットワーク構造の生成である。高精度な歩行空間ネットワーク構造を生成するためには, 各軌跡の精度を向上させる必要がある。そこで本稿では大量の PDR 歩行軌跡を用いて屋内 PDR 歩行軌跡の精度を向上させる手法を提案する。最初に, センシングデータの安定性に基づいた信頼性の高い歩行軌跡の選択を行う。次に, 歩幅の傾向を調査して歩行距離の修正を行う。最後に, 同一経路歩行軌跡を用いて各経路ごとに軌跡の平均化を行う。屋内歩行センシングコーパス HASC-IPSC を用いた評価実験の結果, 提案手法により歩行軌跡の精度向上が確認できた。修正前の推定歩行軌跡の誤差蓄積速度は 0.1111[m/s], 提案手法を適用した 3 次元推定歩行軌跡の誤差蓄積速度は 0.0622[m/s] となった。

A method to Improve Accuracy of Indoor PDR Trajectory by Using a Large Amount of Trajectories

KOSUKE YOTSUYA¹ NOBUYUKI ITO² KATSUHIRO NAITO³ NAOYA CHUJO³
TADANORI MIZUNO³ KATSUHIKO KAJI³

1. はじめに

位置推定技術の向上によって, 屋内ナビゲーションやポイント広告を始めとした様々な屋内位置情報サービス (Indoor Location Based Services : 屋内 LBS) が展開されている。屋外での位置情報取得方法として, 一般的に GPS や無線 LAN を用いたものが利用されている。一方, 屋内では GPS が利用できない場合が多く, 様々な建物内で安定して位置情報を取得する手法が求められている。有力な屋内位置推定手法の 1 つとして, 歩行者自律航法 (PDR) が挙げられる。PDR とは, 加速度センサや角速度センサなど, スマートフォンに内蔵されている様々なセンサ情報を用いて, スマートフォンを所持している人の歩行や進行方向を推定し, センシング開始地点からの相対的な移動を推定する [1][2][3]。PDR のメリットとして, 新たなインフラ設備を設置する必要もなく, 利用可能な場所が限定され

ないという特徴がある。

屋内 LBS は様々な建物が対象となっている。ショッピングモールや博物館など, 商用目的で屋内 LBS を利用している建物では屋内 LBS の需要も高く投資額も多い。しかし, オフィスビルや学校などの建物が対象の場合, オフィスワーカーへのヘルスケアなどの応用例がある中, 屋内 LBS への投資額が少ないという現状がある。

建物構造情報は屋内 LBS に必要な情報である。しかし, 現在ではあらゆる建物において建物構造情報が利用可能とは限らない。そこで, 複数の人が建物内を様々な経路で歩行したセンシングデータを用いて建物構造情報を推定する研究が進められている [4][5][6][7][8][9]。これらの手法を用いて高精度な建物構造情報を生成するためには, 1 つ 1 つの歩行軌跡を高精度に推定できる必要がある。

建物構造情報にはフロアマップや歩行空間ネットワークなどが存在する。フロアマップでは, 部屋の位置関係や建物全体の構造を一目で確認しやすい。また, 歩行空間ネットワークとは, 人がどのように移動可能であることを示す

¹ 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科

² 三菱電機エンジニアリング株式会社

³ 愛知工業大学 情報科学部情報科学科

ノードリンク構造を指す。歩行空間ネットワークでは計算機を用いた歩行経路の計算が容易である。そのため任意の位置から目的地までの経路を計算できるため、火事や地震などの災害発生時の避難誘導に有効的に活用できる。さらに、オフィスのレイアウト改善や普段の移動経路よりも合理的かつ健康的になる移動経路の推奨、車椅子使用者の移動支援などの、ヘルスケアへの応用が期待できる。

歩行空間ネットワークの生成方法には、既に存在しているフロアマップや CAD データから生成する方法、新たに建物のデータ収集を行って生成する方法などがある。いずれの方法もセンシング機器の用意やセンシング・生成の依頼を行うなどの様々なコストがかかる。そのため、生成コストの少ない歩行空間ネットワークの生成方法が必要とされている。

以上の背景から、本研究の最終目標は、特定建物内における複数ユーザからの日常的な行動センシングデータの収集と、センシングデータを用いて推定された3次元歩行軌跡の統合による歩行空間ネットワーク構造の自動生成である(図1)。特定建物内の複数ユーザから得られた日常的な行動センシングデータを用いると、あらゆる建物に対してデータ収集を行えると考えた。また、ユーザが所持しているスマートフォン端末によるデータ収集手法[10]により、外部にセンシングの依頼をせず、新たにセンシング機器を用意する必要がなくなるため、様々なコストを削減できると考えている。歩行空間ネットワーク構造を生成するためには、個々の歩行軌跡の正確な推定が必要となる。歩行センシングデータを用いた3次元歩行軌跡推定手法[11]では、10秒間の計測で約1mの誤差が蓄積し、約40秒以内のセンシングであれば部屋単位の推定が可能なレベルの推定精度を達成している。しかし、実際の屋内LBSの環境を想定すると、推定歩行軌跡のさらなる高精度化が必要とされている。

本稿では大量の屋内PDR歩行軌跡を用いてPDR歩行軌跡の精度を向上させる手法を提案する。最初に、センシングデータの安定性に基いて信頼性の高い歩行軌跡の選択を行う。PDRによるデータ収集の時、合理的な移動ができておりセンサの動作が安定している場合、得られるデータの信頼度は高くなると考えられる。さらにPDR歩行軌跡推定の時、信頼度が高いデータを用いた場合、より高精度な歩行軌跡が得られると期待できる。そのため、各同一経路ごとに最も信頼できる歩行軌跡の選択を行い、その軌跡を元に歩行軌跡の修正を行う。次に、歩幅の傾向を調査して歩行距離の修正を行う。PDR歩行軌跡には正確な歩幅の推定が困難であるという問題がある。それにより、推定された歩行距離には偏りが出やすい。そのため、大量の歩行軌跡から歩行距離の偏りを調べ、その偏りに基づく歩幅の修正はPDR歩行軌跡の高精度化に期待できると考えた。そこでPDR歩行軌跡の歩行距離と建物の経路の長さ

を比較し、その値を用いて推定歩行軌跡の歩行距離の修正を行う。最後に、同一経路歩行軌跡を用いて、各経路ごとに軌跡の平均化を行う。オフィス生活圏内の行動センシングデータを収集すると、同じ部署に所属する人達から複数の同一経路歩行軌跡が得られると考えられる。それら複数の同一経路歩行軌跡を用いた軌跡の平均化は、歩行軌跡の精度向上につながると考えた。そこで複数の同一経路歩行軌跡を用いて平均軌跡の生成を行う。これらの手法を用いてPDR歩行軌跡の高精度化を目指す。

本稿の構成は以下のとおりである。まず2章では関連研究を挙げ、3章では大量の屋内PDR歩行軌跡を用いてPDR歩行軌跡の修正を行う。4章では提案手法の評価を述べ、5章ではまとめと今後の課題を述べる。

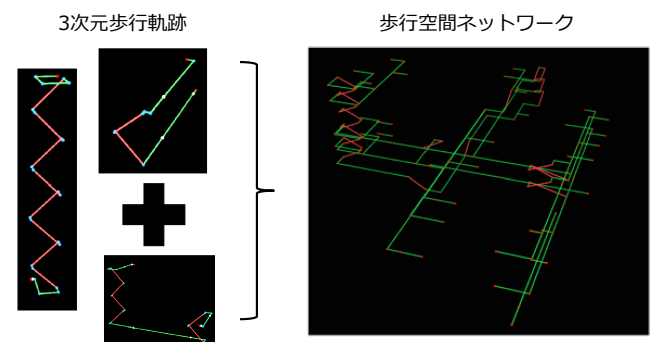


図1 複数の歩行軌跡の統合による歩行空間ネットワーク構造生成

2. 関連研究

建物構造情報を生成する手法として、既に存在しているフロアマップや CAD データから生成する方法、新たに建物のデータ収集を行って生成する方法などがある。いずれの方法もセンシング機器の用意やセンシング・生成の依頼を行うなどの様々なコストがかかる。そこで近年では、特定の建物内を複数人のユーザが様々な経路で歩行し、その歩行センシングデータを統合して、歩行空間ネットワーク構造や部屋と通路の構成といった建物構造情報を生成する研究が進められている[4][5][6][7][8][9]。

正確な建物構造情報を生成するためには、1つ1つの歩行軌跡が正確に推定される必要がある。多くのPDRでは、加速度から歩数や歩幅を推定して単位時間あたりの移動距離を算出し、角速度の情報から進行方向を求め、それらの情報を元に歩行軌跡の推定を行う[1][2][3]。また、歩行センシングデータを用いた3次元歩行軌跡推定[11](図2)の現状の精度として、10秒間の計測で約1mの誤差が蓄積し、約40秒以内のセンシングであれば部屋単位の推定が可能なレベルの推定精度を達成している。実際の屋内ナビゲーションを利用する環境について想定すると、大きな建物の最下層の端から最上階の端まで移動する時間は約180秒程度必要だと考えられる。また、部屋の幅を約10mとして想

定すると、ナビゲーション時に部屋を間違えないためには部屋の大きさの半分までに誤差を収めたいと考えた。そのため現状の推定歩行軌跡を建物構造情報生成に用い、屋内LBSの実現に利用すると、精度が不十分だと考える。そのため推定歩行軌跡のさらなる高精度化が必要である。

RFIDやマップマッチングの併用によりPDRの屋内位置推定の精度を向上させる手法が提案されているが、インフラの維持、管理や建物構造の事前調査などのコストが問題視されている。安齋らの研究[12]では、直線移動時と曲がり角においてマップマッチングを利用し、誤差を軽減する手法を提案している。地磁気センサや角速度センサから、進行方向を変更して歩行したと判断すると、事前に設定しておいた曲がり角座標にシフトし、位置を補正する。興梠らの研究[2]では、位置の補正手段としてRFID測位システムと、階段やエスカレータの動作認識によるマップマッチングを導入している。移動経路中に設置されたRFIDリーダが特定のIDを持つタグを検知したとき、そのIDに対応する利用者に対して、そのRFIDリーダの設置位置情報とその検知時刻をネットワーク経由で通知し、位置を補正する。また、屋内環境におけるフロア間の移動は、階段とエレベータ、エスカレータに限られる。そのため、エレベータ、エスカレータの昇降を検知し、事前に与えられた環境マップ情報と照合して、検知されたエレベータ、エスカレータの位置へ推定結果を補正する。先行研究では、PDRにRFIDやマップマッチングを併用し、高い精度での位置推定を実現している。これらの手法ではインフラの維持、管理や、事前の入念な調査、設計が必要といったコストがかかる。このコストは、PDRの推定精度が高ければ、インフラ設置個数の削減や事前調査の手間を減らすなどにより削減できる。可能な限りコストを低くし、かつ高い精度での位置推定の実現のためには、PDRの精度向上が必要となる。

PDRを用いた歩行軌跡推定の際に、センサの動作の安定性によって歩行軌跡の推定精度に影響が出ると考えられる。PDRを用いて収集された歩行センシングデータから3次元歩行軌跡を推定する研究[11]では、安定歩行区間という概念を導入し、信頼できるデータの検出を行っている。安定歩行区間とは、右左折や蛇行をとまなわなない歩行が一定時間以上安定してセンシングできている区間を指す。合理的に移動できており、かつセンサの動作も安定している場合、移動のうちの多くが安定歩行区間として検出される。そのため信頼性の高いデータは、安定歩行区間の割合によって検出される。推定歩行軌跡の推定精度を評価する実験の結果、全ての歩行センシングデータを用いて推定された歩行軌跡よりも、信頼性の高い歩行センシングデータのみで限定した場合のデータを用いて推定された歩行軌跡のほうが推定精度が高かった。このため、センシングデータの安定性に基づいた推定歩行軌跡の選択は推定歩行軌跡

の高精度化に有効な手段であると考えられる。

歩行者の身長や加速度センサの振幅から歩幅を算出し、その値を用いて歩行距離を算出する方法[12]では、各個人に適応した歩幅が必ずしも得られるわけではないという問題点がある。歩幅は個人の体格や歩き方の個性に影響して変化しやすい。そのため、歩幅の算出に固定の値や式を用いると、歩行者ごとに歩幅の差が顕著に出て歩行距離に偏りが出やすい。事前の入念なキャリブレーションによって歩行者の歩幅が得られればこの問題の解決に役立つが、大きな手間になってしまう。これらの問題は、複数の歩行者による大量の歩行データを用いた歩幅の調査によって解決できるのではないかと考えた。複数人の歩行者が歩いた大量のデータから歩行距離の偏りを調査し、その偏りに基づく歩幅の修正はPDR歩行軌跡の高精度化に期待できると考えている。

軌跡の高精度化に対するアプローチのひとつとして、複数の同じ文字や図形の軌跡を用いた平均化が挙げられる。複数の軌跡を用いた平均化によって軌跡の精度を向上させる研究として中村・新納らの研究[13][14]がある。先行研究では、複数人のユーザに同じ文字や図形を手書きしてもらい、複数の同一の軌跡を平均化して平均文字を作成している。評価実験として手書き文字と平均文字のどちらの軌跡が綺麗か判定してもらった研究となっている。評価結果として、手書き文字よりも平均文字のほうが軌跡が綺麗になっていると評価されている。また、オフィス生活圏内の歩行センシングデータを収集すると、同じ部署に所属する人たちから複数の同一経路歩行軌跡が得られると考えられる。このため、複数人の同一経路歩行軌跡を用いた軌跡の平均化は軌跡の高精度化が期待できる。

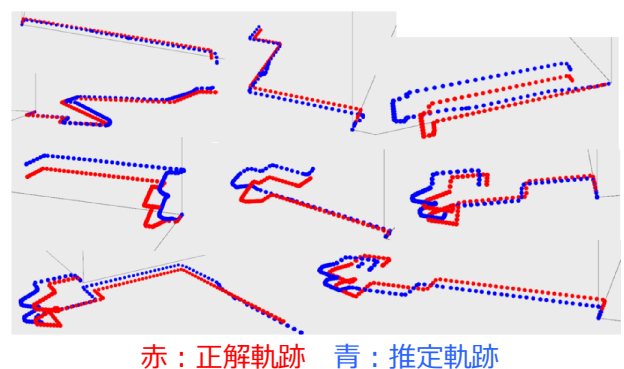


図2 3次元推定歩行軌跡 [11]

3. 大量の屋内PDR歩行軌跡を用いたPDR歩行軌跡の高精度化

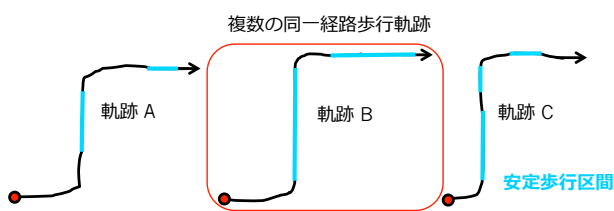
本章では、大量の屋内PDR歩行軌跡を用いてPDR歩行軌跡の精度を向上させる手法を提案する。PDR歩行軌跡の高精度化へのアプローチとして、最初にセンシングデー

タの安定性に基づいた信頼性の高い歩行軌跡の選択を行う。次に、歩幅の傾向を調査して歩行距離の修正を行う。最後に、同一経路歩行軌跡を用いて各経路ごとに軌跡の平均化を行う。

3.1 センシングデータの安定性に基づいた推定歩行軌跡の選択

歩行軌跡の修正を行う際に、推定精度の良い歩行軌跡に基づいて修正を行うと、より精度の良い歩行軌跡が得られるのではないかと考えた。そこで、複数ある歩行軌跡の中からどの軌跡に対して修正を行うか検討する。同一経路を歩行した歩行軌跡でもユーザの歩行の特徴、センサの動作の安定性によって、推定される歩行軌跡の精度が異なる。そこで、データの信頼度が高い推定歩行軌跡は、高精度な推定ができていないのではないかと考えた。先行研究 [11] ではデータの信頼度に閾値を設定し、信頼度の高い経路データのみを用いた場合、歩行軌跡の精度向上が見られた。そのため、データの信頼度に基づいた軌跡の選択は有効な手段だと考える。

各同一経路ごとの推定歩行軌跡の信頼度は、安定歩行区間 [11] の割合によって算出できると考えた。安定歩行区間とは、一定時間以上安定して直線的に歩行している区間である。合理的な移動できており、かつセンサの動作も安定している場合、移動中の多くが安定歩行区間として検出される。そこで、歩行センシング時間の内、安定歩行区間として検出された時間の割合が最も大きいデータを信頼度の高いデータ (図 3) とみなし、それらの軌跡に対して修正を行う。



$$\text{推定歩行軌跡の信頼度}[\%] = \frac{\text{安定歩行区間の時間長}}{\text{センシング時間}} \times 100$$

	軌跡 A	軌跡 B	軌跡 C
安定歩行区間の時間長	10秒	21秒	12秒
センシング時間	30秒	35秒	30秒
軌跡の信頼度	33%	60%	40%

図 3 複数の同一経路歩行軌跡の中で最も信頼できる軌跡の選択

3.2 歩幅の修正

PDR 歩行軌跡には正確な歩幅の推定が困難であり、歩行距離に偏りが出やすい傾向がある。そのため、歩行距離の偏りを調べ、その偏りに基づく歩幅の修正は PDR 歩行軌跡の高精度化に期待できると考えた。先行研究である 3

次元歩行軌跡推定手法 [11] では、経路の正解データよりも推定歩行軌跡の歩行距離が大きく推定される傾向が見られた。先行研究での歩行距離算出方法は、歩幅を身長 の 0.46 倍として、歩数 × 歩幅によって移動距離を求めていた [1]。さらに、階段昇降による歩幅は通常時の歩幅よりも短い場合が多いため、建物知識を導入し、階段昇降時の歩幅を固定値 (0.3m) としていた [15]。また、推定歩行軌跡から折り返し階段構造の検出を行う研究 [16] では、階段部分の歩行距離は短く推定される結果が得られている。よって、階段区間以外の歩行距離が経路の正解データよりもどれだけ大きく推定されているのかを調べ、歩幅の修正を行う。

階段区間以外の経路の正解データと推定歩行軌跡の累計歩行距離を比較し、その比を歩幅の縮尺として算出する (図 4)。階段区間以外の抽出は、3 次元歩行軌跡の座標データの内、高さ方向の変化が見られる Z 軸の変化から抽出できる。階段区間以外の座標データを抽出した後、各座標間の距離を算出し、その距離の累計を求める。正解経路と推定歩行軌跡それぞれの累計歩行距離を比較し、歩幅の縮尺を算出する。

全ての軌跡に対して歩幅の縮尺を算出後、縮尺の度数分布を確認する。結果を図 5, 6, 表 1 に示す。図 5 は全ての推定歩行軌跡の縮尺の分布、図 6 は各同一経路の中から最も信頼できる軌跡を選択してきたものの縮尺の分布である。これらの分布の形が正規分布のような形状をしているため、今回は縮尺の平均値を使用して歩幅の修正を行う。また、今回はデータの信頼性を考慮し、各同一経路の中で最も信頼できる軌跡の縮尺の平均値を用いる。

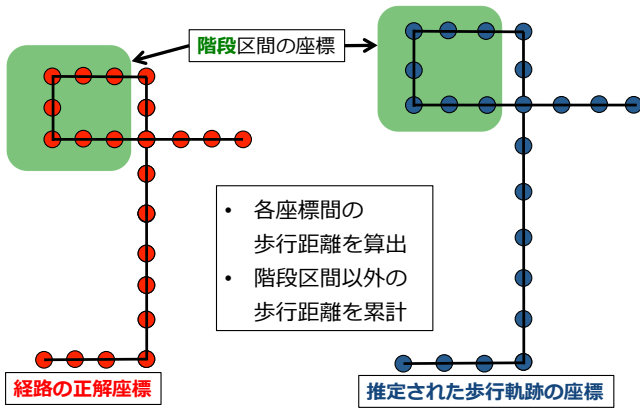
算出した縮尺の平均値を用いて歩幅の修正を行う (図 7)。今回は階段区間以外の歩幅の修正を行うため、階段区間以外の座標データの X 座標, Y 座標に対して修正を行う。階段区間以外の歩行軌跡に対して、歩幅の縮尺を用いて拡大縮小を行う。また、階段区間の軌跡に関しては、拡大縮小後の軌跡に沿うように軌跡のシフトを行う。これらの処理を座標データの終点まで繰り返す。

表 1 縮尺の度数分布の結果

	全ての推定歩行軌跡	選択された推定歩行軌跡
データの総数	424	109
最大値	1.756	1.756
最小値	0.635	0.704
標準偏差	0.145	0.143
平均値	1.070	1.108

3.3 歩行軌跡の平均化

我々はこれまでに安定歩行区間という概念を導入し、推定歩行軌跡中の安定歩行区間を検出した。さらに、複数の同一経路歩行軌跡中で同一直線経路上に存在する安定歩行区間同士を、対応関係のある安定歩行区間として手動でラ



$$\text{歩幅の縮尺} = \frac{\text{推定座標の累計歩行距離}}{\text{正解座標の累計歩行距離}}$$

図 4 歩幅の縮尺の算出

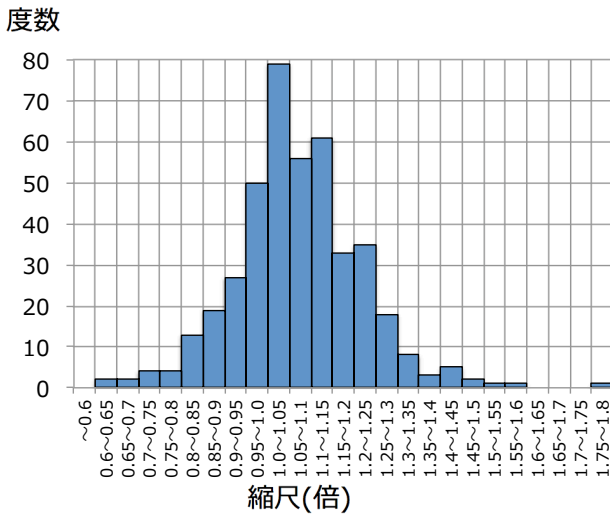


図 5 全ての推定歩行軌跡の縮尺の度数分布

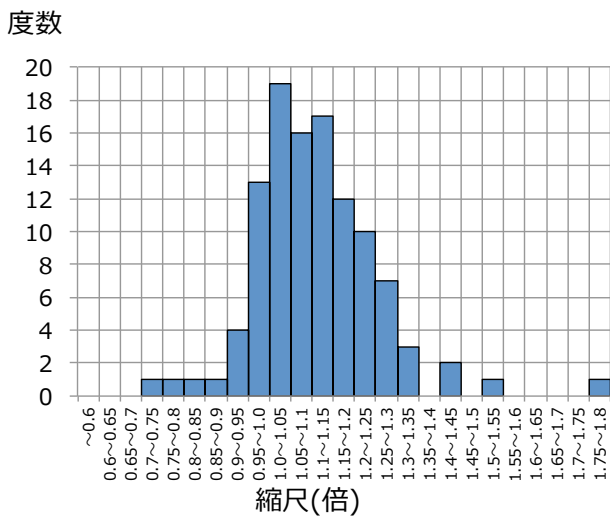


図 6 各同一経路の中から選択された推定歩行軌跡の縮尺の度数分布
ベリングを行った。対応関係のラベリング結果を用いて、歩行軌跡全体の中から 1 つの直線経路にフォーカスした比

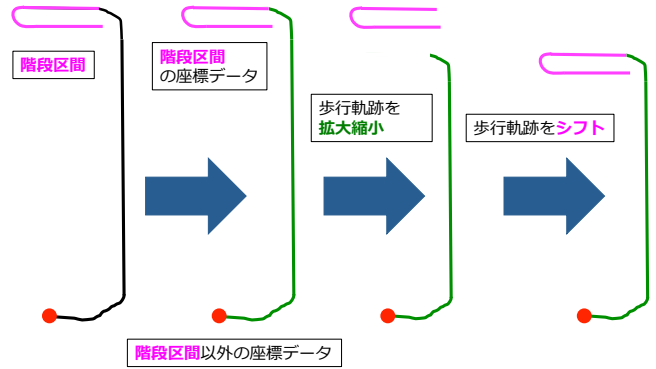


図 7 歩幅の修正

較が行える。

今回、我々は複数の同一経路歩行軌跡を用いた歩行軌跡の修正について、「歩行軌跡の平均化」と定義する。歩行軌跡の平均化として、安定歩行区間の対応関係を利用した推定歩行軌跡の修正を行う。歩行軌跡の平均化の手順は以下のとおりである。

- (1) センシング開始地点から順に安定歩行区間の対応関係を見ていく。対応関係がある最初の安定歩行区間の開始座標から修正位置を求める (図 8)。
- (2) センシング開始地点から修正位置、現在の安定歩行区間までの距離をそれぞれ求める。求めた距離から伸縮の比を求める。センシング開始地点から安定歩行区間の開始座標までの座標に求めた比を用いて伸縮を行う。安定歩行区間の開始座標以降の歩行軌跡は修正位置までの距離を求めシフトさせる (図 9)。
- (3) 最初の対応関係以降は、安定歩行区間の開始座標から対応関係のある次の安定歩行区間の開始座標までの座標に対して同様の処理を行う (図 10)。

処理手順 (1) において、今回の修正位置の決定には任意の軸に対する座標の中央値を用いた。この理由として、複数の同一経路歩行軌跡を見た時に、対応関係のある安定歩行区間同士の位置関係が大きく異なっているものが見られた。このような場合に修正位置の決定に平均値を用いると、位置関係が大きく異なっているものの影響を大きく受けてしまう [17]。そのため、今回は修正位置の決定に中央値を用いた。

修正手順 (2)(3) において、安定歩行区間の開始座標までの座標データとそれ以降の座標データに分けて別々の処理を行った。この理由として、大きな誤差を生む行動の影響が軌跡全体に影響を与えてはいけな思考えられるためである。歩行にはまっすぐ歩く、曲がり角を曲がる、人や物を避けるなど様々な行動がある。その中でも何かを避けるといった行動は歩行軌跡推定時に大きな誤差となってしまう。また、そのような大きな誤差を生む行動は、歩行軌跡全体に対して一様に存在しているわけではない。そのため、一部の大きな誤差を修正するための処理を歩行軌跡全体に

対して行ってしまうと、安定歩行区間として検出されている区間にも影響が出てしまうと考えた。そのため、別々の処理を行った。

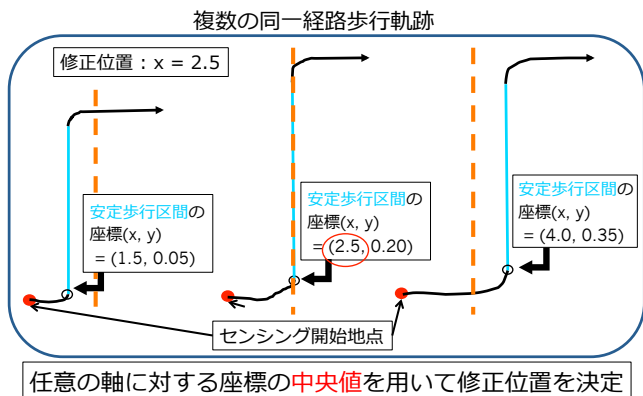


図 8 安定歩行区間を用いて修正位置を決める

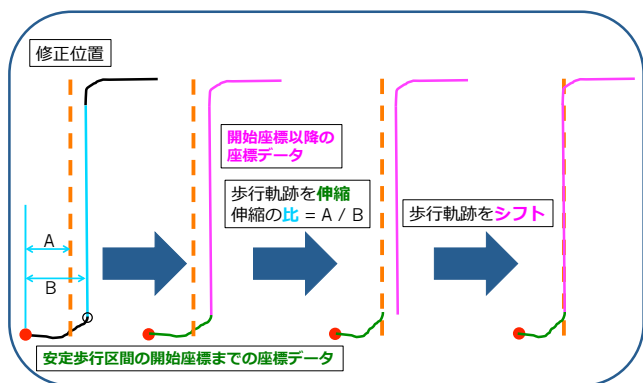


図 9 修正位置へ歩行軌跡を伸縮する

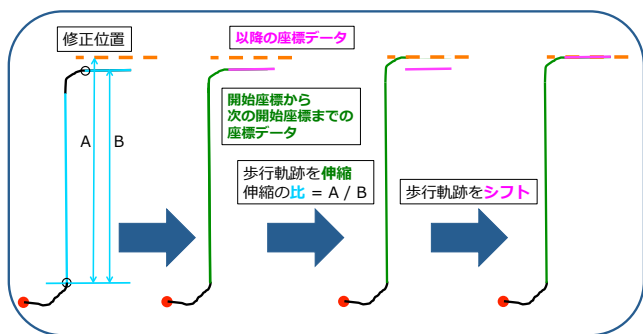


図 10 最初の対応関係以降の処理

4. 評価実験

本稿で提案したデータの信頼度に基づいた推定歩行軌跡の選択、歩幅の修正、歩行軌跡の平均化について評価実験を行った。評価には屋内歩行センシングコーパスである HASC-IPSC[18] に先行研究 [11] の手法を用いて推定された 3 次元歩行軌跡の座標データを利用した。今回評価実験に用いたデータは、経路の種類は 109 種類、各経路ごとに

数人ずつ歩いたデータがあり全部で 424 回分の歩行データを使用した。

推定歩行軌跡の精度を評価するため、経過時間と位置推定誤差の関係性を調査した。結果を図 11, 12, 13, 14 に示す。これらの散布図は、各推定歩行軌跡の 1 秒毎の座標を正解座標と比較して位置のユークリッド距離を誤差 (図 15) としてプロットしたものである。また、誤差の蓄積速度を求めるため、原点を通る回帰直線を引き、その傾きを求めた。

今回は 4 種類のデータに対して評価を行い、精度の比較を行った。全ての経路データを用いた場合の誤差蓄積速度は、 $0.1111[m/s]$ であった。各同一経路内で最も信頼できる軌跡を選択したデータのみを用いた場合、誤差蓄積速度は $0.0837[m/s]$ となった。また、歩幅の修正後の誤差蓄積速度は $0.0669[m/s]$ 、歩行軌跡の平均化後の誤差蓄積速度は $0.0622[m/s]$ となった。これらの精度と目標としている精度の比較を行った結果を図 16 に示す。これらの結果から推定歩行軌跡をそのまま用いるよりも、データの信頼度に基づいた推定歩行軌跡の選択、歩幅の修正、軌跡の平均化をそれぞれ行った方が推定歩行軌跡の精度向上が見られた。しかし、最終的な精度と目標とする精度 (誤差蓄積速度 $0.0278[m/s]$) を比較した場合、誤差蓄積速度は約 2.2 倍となっている。この結果から、目標とする精度を達成するためにさらなる推定歩行軌跡の高精度化が必要だと考えている。

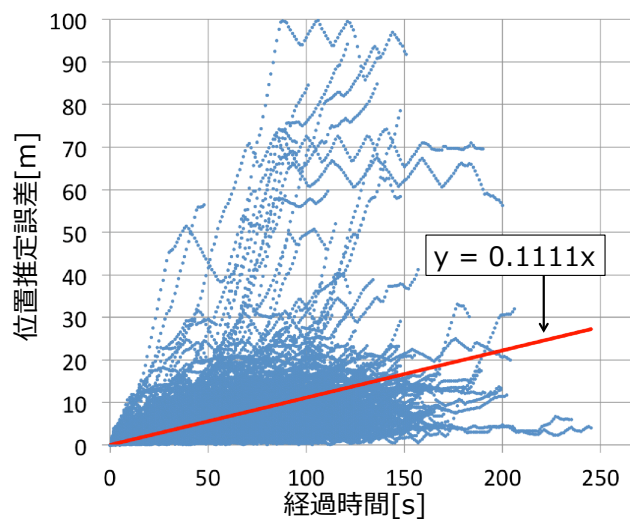


図 11 修正前の位置推定誤差

5. まとめ

本稿では、大量の屋内 PDR 歩行軌跡を用いて PDR 歩行軌跡の精度を向上させる手法の提案をした。PDR 歩行軌跡の高精度化に対するアプローチとして、センシングデータの安定性に基づいた信頼性の高い歩行軌跡の選択、歩幅

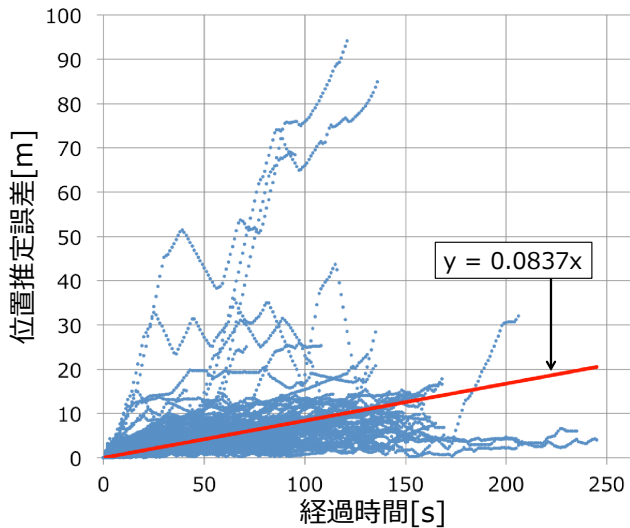


図 12 同一経路内で最も信頼できる軌跡を選択したものの位置推定誤差

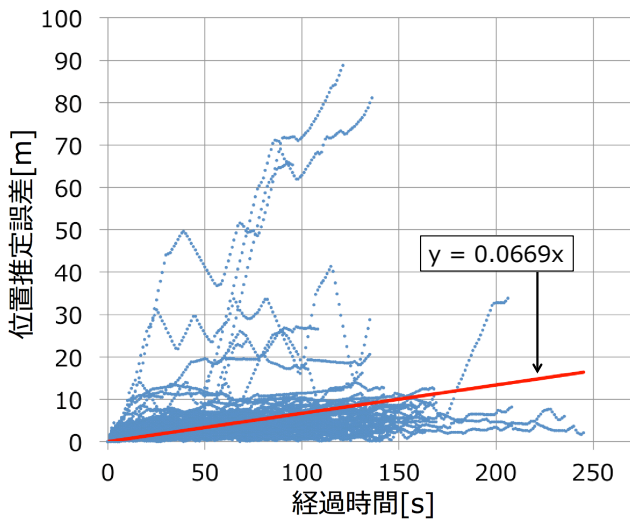


図 13 歩幅の修正後の位置推定誤差

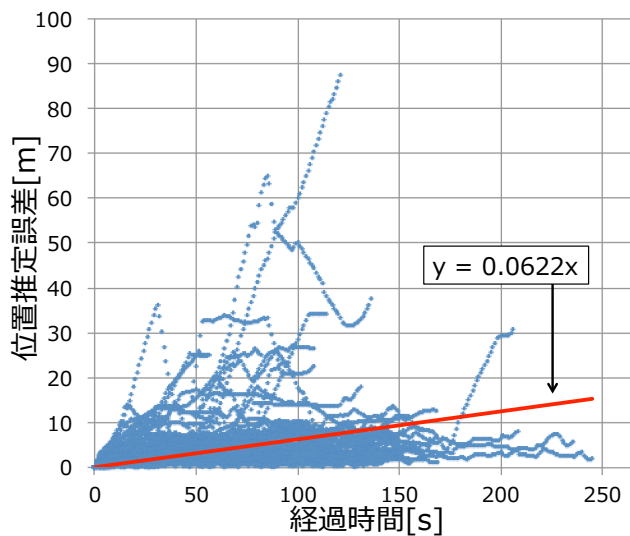


図 14 平均化を行った軌跡の位置推定誤差

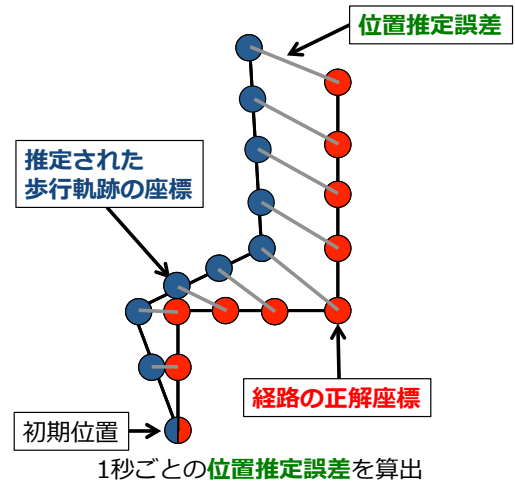


図 15 位置推定誤差

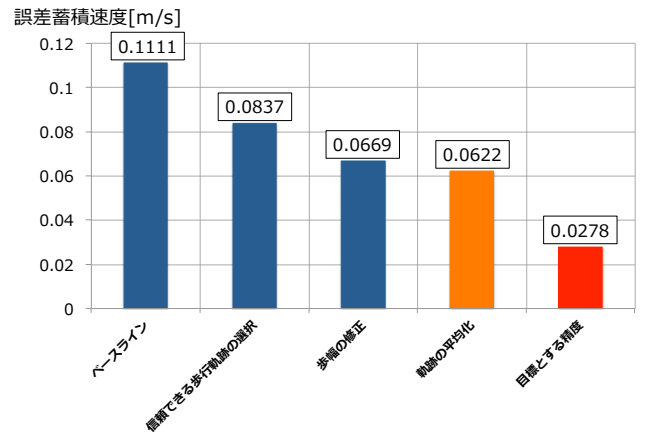


図 16 推定歩行軌跡の精度まとめ

の修正，歩行軌跡の平均化を行った。

屋内歩行センシングコーパス HASC-IPSC を用いた評価実験の結果，修正前の推定歩行軌跡よりも，同一経路内で最も信頼度の高い軌跡の選択，歩幅の修正後，複数の同一経路歩行軌跡を用いた修正後のそれぞれで誤差蓄積速度の減少が見られた。この結果から推定歩行軌跡をそのまま用いるよりも，複数の歩行軌跡を用いた比較結果に基づく修正を行った方が推定歩行軌跡の精度向上が見られた。最終的な 3 次元推定歩行軌跡の精度は，誤差蓄積速度が 0.0622[m/s] であり 16 秒間の移動の間に約 1m の誤差が蓄積する。これは想定された移動時間である 180 秒間の移動の間に約 11m の誤差が蓄積する。180 秒の移動につき 5m 以内の誤差に収めるという目標の精度 (誤差蓄積速度 0.0278[m/s]) を達成できなかったため，さらなる精度向上が期待できる手法が必要である。

今後の課題として，推定歩行軌跡のさらなる高精度化を目指す。今回は軌跡の平均化を行うにあたって，各同一経路内で最も信頼できる軌跡の選択して修正を行った。しかし，修正に用いる複数の同一経路歩行軌跡の信頼度の高さについては考慮していない。そのため，軌跡の信頼度が 20

%のように低かった場合でも、軌跡の平均化に用いられる。そのような軌跡が含まれていると歩行軌跡推定、歩行軌跡修正時に大きな影響を与えてしまうと考える。そこで、軌跡の信頼度について閾値を設定し、軌跡の信頼度が一定値以上の軌跡のみを用いて歩行軌跡の平均化を行うと更に軌跡の精度が向上するのではないかと考える。

参考文献

- [1] Kamisaka, D., Muramatsu, S., Iwamoto, T. and Yokoyama, H.: Design and Implementation of Pedestrian Dead Reckoning System on a Mobile Phone, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.94, No.6, pp.1137-1146 (2011).
- [2] Kouroggi, M., Sakata, N., Okuma, T. and Kurata, T.: Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/Rfid/Self-contained Sensor System, *The 16th International Conference on Advances in Artificial Reality and Tele-Existence*, pp.1310-1321 (2006).
- [3] Ban, R., Kaji, K., Hiroi, K. and Kawaguchi, N.: Indoor Positioning Method Integrating Pedestrian Dead Reckoning with Magnetic Field and WiFi Fingerprints, *Proc. 8th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU2015)*, pp.169-174 (2015).
- [4] Gao, R., Zhao, M., Ye, T., et al.: Jigsaw: Indoor Floor Plan Reconstruction via Mobile Crowdsensing, *The 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom2014)*, pp.249-260 (2014).
- [5] Jiang, Y., Yun, X., Pan, X., et al.: Hallway based Automatic Indoor Floorplan Construction using Room Fingerprints, *The 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing(UbiComp2013)*, pp.315-324 (2013).
- [6] Hardegger, M., Troster, G. and Roggen, D.: Improved ActionSLAM for Long-term Indoor Tracking with Wearable Motion Sensors, *International Semantic Web Conference(ISWC2013)*, pp.1-8 (2013).
- [7] 梶 克彦, 河口 信夫: 建物内移動情報の部分マッチングに基づく建物構造生成, *マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム*, pp.1413-1420 (2013).
- [8] Alzantot, M. and Yousef, M.: CrowdInside: Automatic Construction of Indoor Floorplans, *The 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems(SIGSPATIAL'12)*, pp.99-108 (2012).
- [9] Shin, H., Chon, Y. and Cha, H.: Unsupervised Construction of an Indoor Floor Plan Using a Smartphone, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, Vol.42, No.6, pp.889-898 (2012).
- [10] 中島 唯博, 四ツ谷 昂亮, 杉本 壮, 伊藤 信行, 内藤 克浩, 中條 直也, 水野 忠則, 梶 克彦: オフィス圏内行動データの収集と部屋間移動部分の抽出, *WiNF2017(第15回情報学ワークショップ)*, (2017).
- [11] 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).
- [12] 安齋 恵一, 岡島 匠吾, 坪川 宏: スマートフォンを用いた屋内位置の推定と歩行ナビゲーションシステム, *マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム*, pp.921-927 (2011).
- [13] 中村 聡史, 鈴木 正明, 小松 孝徳: 平均文字は美しい, *エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2014 論文集 2014*, pp.32-39 (2014).
- [14] 新納 真次郎, 中村 聡史, 鈴木 正明, 小松 孝徳: 平均図形も美しい, *エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集 2015*, pp.469-478 (2015).
- [15] 村田 雄哉, 梶 克彦, 廣井 慧, 河口 信夫: 歩行者自立測位における行動センシング知識の利用, *マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム*, pp.1614-1619 (2014).
- [16] Kosuke, Y., Haruka, I., Nobuyuki, I., Katsuhiko, N., Naoya, C., Tadanori, M., Kaji, K.: Detection of Half-turn Stairs from Walking Trajectories Estimated by Pedestrian Dead Reckoning, *International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU2017)*, pp.61-62 (2017).
- [17] 四ツ谷 昂亮, 伊藤 信行, 内藤 克浩, 中條 直也, 水野 忠則, 梶 克彦: 複数の同一経路歩行軌跡を用いた推定歩行軌跡の高精度化に関する検討, *第80回情報処理学会全国大会*, 6S-05, pp.1-2 (2018).
- [18] Kaji, K., Watanabe, H., Ban, R., Kawaguchi, N.: HASC-IPSC: Indoor Pedestrian Sensing Corpus with a Balance of Gender and Age for Indoor Positioning and Floorplan Generation Researches, *International Workshop on Human Activity Sensing Corpus and Its Application (HASCA2013)*, pp. 605-610 (2013).