

横歩きや後退に対応できる PDR スマホアプリ

金子 雅亮¹ 伊藤 信行² 内藤 克浩¹ 中條 直也¹ 水野 忠則¹ 梶 克彦¹

概要：屋内位置推定手法は様々な研究が行われているが，中でも有力な屋内位置推定手法として PDR が挙げられる．しかし，一般的な PDR では進行方向を角速度センサの値から求めているため横歩きや後退などの角速度の値が変化しない行動の推定が困難である．我々はこの問題を解決するため，加速度平面成分を用いて 1 歩ごとの進行方向を推定する手法を提案した．この研究によって角速度の値の変化しない行動も推定できるようになったが，直進時に推定軌跡がジグザグになってしまう問題があった．軌跡がジグザグになる主な理由は腰の回転が考慮されていない点によるものである．そこで本研究では，加速度平面成分に加えて角速度平面成分を併用し，腰回転のキャンセルによって 1 歩ごとの進行方向推定を高精度化する．先行研究の手法で推定した進行方向と比較し角度の誤差を求め，精度評価を行った．その結果，先行研究の手法は平均約 14.2°，本研究の手法は平均約 9.1° の誤差となり，平均約 5.1° の精度向上を確認した．また，提案手法をリアルタイム処理に対応させ，Android アプリケーションとして実装した．

A PDR Smartphone Application Considering Side/Backward Steps

MASAAKI KANEKO¹ NOBUYUKI ITO² KATSUHIRO NAITO¹ NAOYA CHUJO¹
TADANORI MIZUNO¹ KATSUHIKO KAJI¹

1. はじめに

近年，スマートフォンなどの普及により，端末に内蔵されているセンサを用いた位置情報を利用するナビゲーションサービスやアプリケーションが提供されている．これらのアプリケーションでは主にスマートフォンに搭載されている GPS(Global Positioning System) を用いており，屋外での位置推定が可能である．しかし，地下街やショッピングモールなどの屋内環境やビルの多い都心部では電波が減衰・遮断されてしまうため高精度の位置推定は困難である．

屋内位置推定の技術について，様々な研究が進められている．GPS を利用できない屋内環境で位置推定を行う手法として，屋内に設置されている RF-ID，Wi-Fi，磁気などを利用する手法 [1], [2], [3] やスマートフォンなどの端末に内蔵されている加速度や角速度センサを利用した歩行者自律航法 (PDR: Pedestrian Dead Reckoning) などがある [4], [5], [6]．

PDR は，スマートフォンに搭載されている加速度・角

速度・気圧センサなどを用いて歩行者の移動距離や進行方向，階層などを推定する．歩行者は体の正面方向に歩行するのが一般的である．そのため一般的な PDR では進行方向を角速度センサの値から求める．よって，横歩きや後退などの角速度の値が変化しない行動の推定が困難であるという問題点がある (図 1)．

本研究では加速度と角速度の平面成分のデータを併用し，横歩きや後退を含む歩行を 1 歩ごとに進行方向の推定を行えるスマートフォンアプリケーションを提案する．我々はこれまでに，加速度平面成分を用いた進行方向推定手法を提案しているが [7]，腰回転の影響で歩行軌跡がジグザグになってしまうという問題があった．本稿では従来手法を改善し，加速度と角速度の平面成分を併用して一歩ごとに進行方向を推定する．

1 歩ごとの進行方向の推定精度が向上すれば位置推定精度向上につながるだけでなく，様々なサービスへの応用が期待できる．障害物を避けるときや迷っているとき，店の棚の前で商品を探しているとき，混雑しているときに横歩きが頻繁に発生すると考えられる．そのため，混雑度の推定，注目されている商品の推定，迷っている状態の推定，

¹ 愛知工業大学 情報科学部情報科学科

² 三菱電機エンジニアリング株式会社

といった状況認識技術につながりうる。また、棚に並べられた商品を注文通り箱詰めするような、物流倉庫でのピッキング作業のトラッキングへの適用が期待できる。他にもダンスやテニスなどのスポーツにおいても横や後ろへのステップが頻繁に発生するため、選手の技能振り返りに役立つのではないかと考える。

本稿の構成は以下の通りである。2章では、屋内環境における位置推定に関する既存研究を紹介し、その問題点を述べる。3章では、2章で述べた問題点を解決するために、本研究の加速度センサと角速度センサを併用して屋内環境における位置推定をする手法を述べる。4章では、本研究の手法の評価と考察を行う。最後に5章で、本研究のまとめをする。

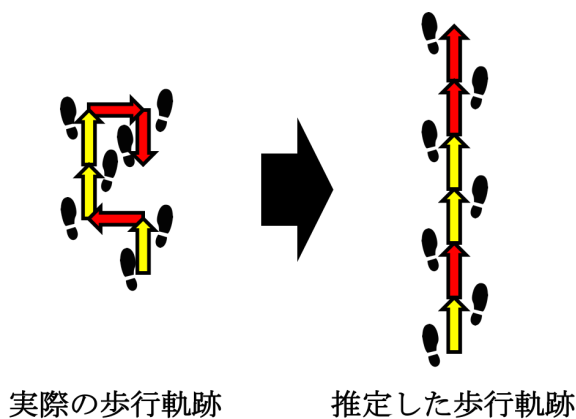


図 1 角速度の値を用いた進行方向推定軌跡

2. 関連研究

位置推定手法の中で、スタート地点からの相対位置を推定する手法として歩行者自立航法 (PDR) がある [4], [5], [6]. PDR は外部の情報を利用せず加速度センサや角速度センサ、気圧センサを用いて、歩行を開始した地点からの移動距離や進行方向、階段の昇降などの相対的な位置推定を行う [8], [9], [10]. また、PDR と他の位置推定手法を組み合わせた研究も提案されている。例えば、PDR と Bluetooth を併用した手法 [11], [12], [13], PDR とカメラを併用した手法 [14], Wi-Fi や磁気の Fingerprint と PDR を併用した手法 [3] など、様々なものがある。近年ではこのようなハイブリッド手法が主流になっているが、PDR はその中でも重要な要素といえる。

一般的な PDR のアルゴリズムでは角速度センサの値を用いて進行方向を推定する。この手法では角速度の平面成分の値を用いて進行方向を推定するため、体の正面の方向に向けて歩行する、という自然な歩行が前提となる。そのため、横歩きや後退などの角速度の値が変化しない行動は直進とみなされてしまう (図 1)。障害物を避けるときや混雑しているとき、道に迷っているときに横歩きや後退が頻

繁に発生すると考えられる。また、角速度センサは、端末が静止している状態でもドリフトが発生する特徴があるため、長時間のデータになるとドリフトや横歩きや後退による進行方向の誤推定が蓄積してしまう。そのため、位置推定の誤差が大きくなり、正確な屋内位置推定が困難になる。

PDR において端末の向きと進行方向の関係を捉えるための手法として、複数歩分の加速度平面成分を用いる手法が提案されている [3]. 人が歩行している際の加速度平面成分は、進行方向に対して加速と減速を繰り返しているという特徴がある。その特徴を利用して、歩行している時の複数歩ごとや指定した時間の加速度平面成分のデータから加速度ベクトルを求めて、加速度ベクトルと直進ベクトルのなす角度の平均を用いて端末の向きに対する進行方向を求める。例えば腰ポケット内で端末が斜めになっていても、その端末からみてどちらの方向に進んでいるかがわかるというものである。しかし、これらの手法では複数歩の長い時間の歩行データから平均の角度を進行方向として推定している。そのため、複数歩の直進している歩行データの中に、人や障害物を回避するために 1 歩横に回避した等の直進していない歩行データが含まれていた場合でも進行方向推定には平均値を使用しているため、直進のデータに吸収されて回避した時の 1 歩の進行方向推定ができない。

横歩きや後退などの角速度の値が変化しない行動を推定する既存研究として、加速度平面成分データから 1 歩ごとに進行方向を推定する研究がある [7]. この手法では加速度平面成分に着目し、人のは歩行時に進行方向に加速してから進行方向とは逆方向に減速するという特徴を利用して進行方向を推定する。そのため、角速度の値の変化しない行動も推定可能となっている。しかし、図 2 のように腰のねじれや回転が原因で正確な進行方向の推定ができないという問題点が明らかになった。その結果図 3 のように推定軌跡がジグザグになってしまう。そのため、一歩ごとの進行方向推定精度の向上が必要となる。

そこで、本研究では加速度と角速度の平面成分のデータを併用した 1 歩ごとの進行方向推定を行う。1 歩の判定には、加速度データの垂直成分を使用する。また、進行方向推定には、既存研究 [3], [7] と同様に進行方向への変化がある加速度データの平面成分を用いる。そして、加速度データの平面成分を角速度データの平面成分を用いて補正し、進行方向を推定する。これらの手法を用いて問題点の解決を行う。

3. 加速度と角速度の平面成分を併用した 1 歩ごとの進行方向推定

提案手法では、歩行時の加速度と角速度の平面成分のデータを併用して 1 歩ごとの進行方向推定を行う (図 4)。人は歩行時に進行方向に対して加速と減速を繰り返す特徴がある。この特徴を利用して進行方向推定を行う。提案手

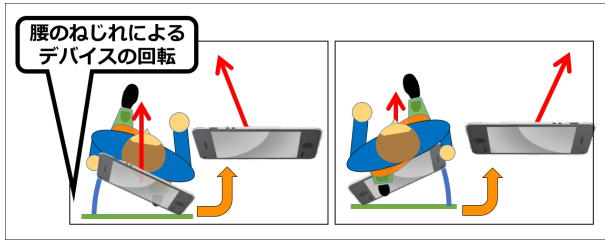


図 2 既存研究の問題点

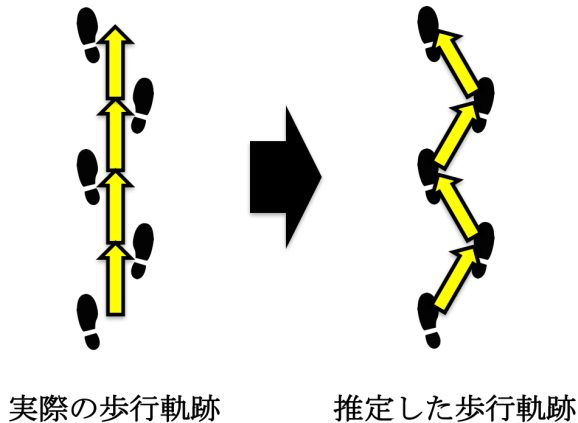


図 3 加速度平面成分を用いた進行方向推定軌跡

法では、混雑している状況で人を避ける行動や障害物を 1 歩横に回避する行動やショッピングモールで商品を探す際の横歩きなどの行動が発生しても正確な屋内位置推定が可能となる。

3.1 進行方向アルゴリズム

加速度と角速度の平面成分のデータを用いて 1 歩ごとの進行方向推定を行う。はじめに、正確な加速度平面成分データを使用するために端末姿勢推定を行う [3]。端末の軸が重力ベクトルと完全に一致していないと、加速度平面成分に重力加速度が分散してしまい正確な加速度平面成分のデータの収集が困難になる。また、世界座標系での正確な角速度平面成分のデータ収集も困難になる。しかし、端末を装着したとき、必ず端末の加速度センサのどれか 1 つの軸が重力ベクトルと完全に一致するように装着するのは困難である。1 歩ごとの進行方向推定には加速度平面成分と 1 歩を判定するために必要な垂直成分の加速度データの収集も必要となる。加速度の垂直成分を用いてステップ検出をし、加速度と角速度の平面成分を用いて進行方向を推定する。そのため、端末座標系ではなく世界座標系でのセンサデータが必要となる。重力 1G を利用して端末の初期姿勢を求める。初期姿勢の傾きの値を用いて座標系変換を行い、正確な加速度と角速度の平面成分データと垂直成分データの抽出を行う。歩行中、姿勢は常に変化しているため正確な平面成分を収集するためには動的に姿勢を推定す

る必要がある。そのため、加速度と角速度を併用し動的に初期姿勢からの姿勢変化を推定を行う。次に、角速度の平面成分を用いて加速度データの平面成分を補正を行う。次に、加速度垂直成分のデータから 1 歩ごとのデータを検出するステップ検出を行う。最後に 1 歩ごとの進行方向推定を行う。以下に提案手法のアルゴリズムを示す。

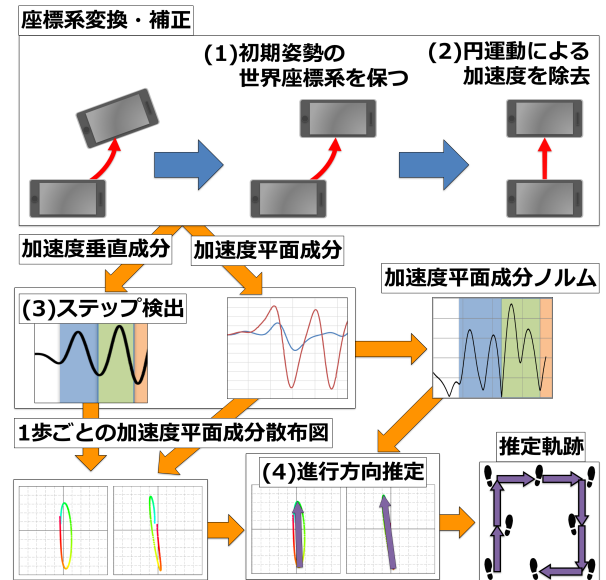


図 4 加速度と角速度の平面成分を併用した進行方向推定

3.1.1 端末姿勢推定

正確な加速度平面成分データを使用するために端末姿勢推定を行う。スマートフォンの加速度センサの平面成分とする 2 つの軸が地面と水平でないと、進行方向への歩行に伴う平面成分の加速度が他の軸に分散してしまい正確な歩行データの収集が困難である。正確な垂直成分と平面成分を得るためには、端末座標系から世界座標系に座標変換を行う必要がある。そのため、端末の姿勢推定を行う。

歩行に伴う加速度の値がセンサに乗ってしまうと端末姿勢推定が困難になるため、重力加速度以外の影響が極めて小さい、歩行を開始する前の静止している加速度データを利用し、姿勢推定を行う。加速度センサには常に、重力加速度の値の影響を受けている。そのため、端末の軸が傾いていると加速度センサの X , Y , Z 値に重力が分散する。重力加速度が 1G と X , Y , Z 軸にかかる加速度 a_x , a_y , a_z の値を用いて、端末姿勢推定を行う。式 (1) でピッチ角 θ_p 、式 (2) でロール角 θ_r を求め、その結果を端末の初期姿勢とする。

次に、 θ_p , θ_r を用いて座標系変換を行う。加速度センサの値は端末の軸を基準とした座標系で取得されるため、端末の垂直成分とする軸を重力方向のベクトルと一致するように (3)(4)(5) の回転行列を用いて、端末座標系の値から重力成分ベクトルを垂直成分とする世界座標系への変換を行う。座標系変換を行うと端末が傾いていた場合の歩行時

の加速度の値が3軸それぞれに分散してしまう問題点を改善でき、正確な歩行データを収集可能になる。座標系変換には式(3)でX軸を中心とした回転 R_x 、式(4)でY軸を中心とした回転 R_y を行い座標変換を行う。

$$\theta_p = \tan^{-1} \left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}} \right) \quad (1)$$

$$\theta_r = \tan^{-1} \left(\frac{-a_x}{a_z} \right) \quad (2)$$

$$R_x(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$R_y(\beta) = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$R_z(\gamma) = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

次に動的な姿勢推定を行う。人の歩行時には加速と減速があるため原点を中心に加速と減速を繰り返していると想定される。そのため、角速度の平面成分を用いた進行方向の補正 3.1.2 では原点を中心とした回転を前提としている。しかし、人は歩行時常に同じ姿勢ではなく、前傾姿勢や後傾姿勢等になるため端末の姿勢も変化し重力加速度の値が加速度平面成分に分散してしまう。前傾姿勢や後傾姿勢などの姿勢変化により図7(a)に示すように加速度平面成分が全体的に片側に寄ってしまっている。加速度平面成分の偏りによる補正結果の違いを図5、図6に示す。図6は図5を並行移動したものである。図5と図5の(a)の減速の極大値を原点を中心として反時計回りに約30°回転させ補正する。図5と図5の(b)にそれぞれの補正結果を示す。図5(b)と図6(b)から加速度平面成分に重力加速度が分散してしまうと補正結果も変わってしまう。

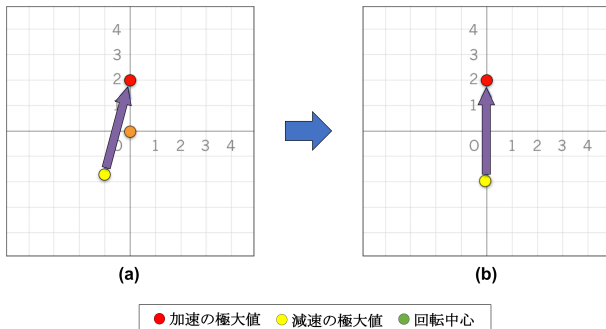


図5 加速度平面成分の偏りがない場合の補正

そのため、加速度の垂直成分と平面成分を分離するため

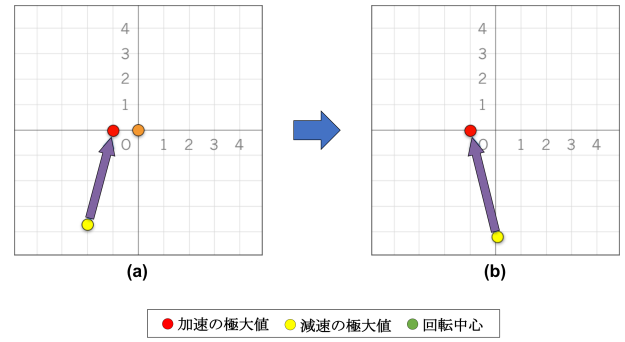


図6 加速度平面成分の偏りがある場合の補正

に、加速度と角速度を併用して動的に姿勢推定をする。そして、動的に姿勢を推定し加速度センサのz軸が重力方向ベクトルと一致するように式(3)、式(4)を用いて座標系変換を行う(図8)。姿勢推定には加速度から推定した姿勢角 θ_{acc} と角速度から推定した姿勢角 θ_{gyro} を用いて式(6)の相補フィルタを適用した。動的姿勢推定の結果を図7に示す。姿勢推定前は図7(a)のように全体的に加速度が右下側に寄ってしまっているが、姿勢推定の結果図7(b)のように原点を中心に加速度が分布するように補正された。

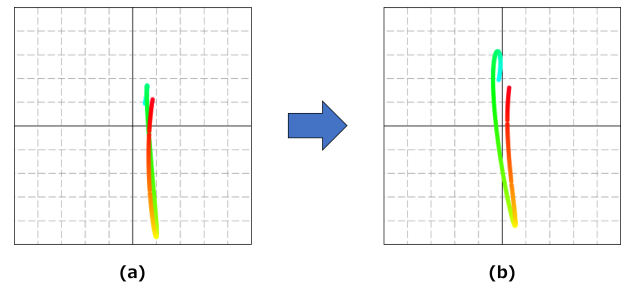


図7 動的姿勢推定による加速度平面成分の補正

$$\theta = \theta_{gyro} \times 0.95 + \theta_{acc} \times 0.05 \quad (6)$$

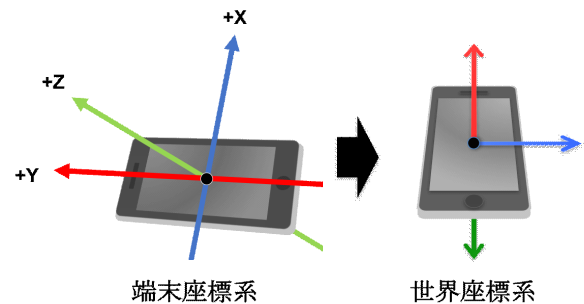


図8 座標系変換

3.1.2 角速度を用いた進行方向の補正

既存研究 [7] では推定軌跡がジグザグになってしまう問題があった。歩行時には足を一步前に踏み出す動きに伴い腰をひねる動作が発生する。加速度平面成分のベクトルの向きは端末の向きに依存している。例えば、右足を踏み出して前進した時の加速時の端末の向きは 0° 、減速時の端末の向きが反時計回りに約 20° 回転していた場合、図 9 (b) のような加速度平面成分が得られる。前進しているにもかかわらず進行方向は右斜め前方向と推定される。また、左足を踏み出して前進した時は左斜め前方向と推定される。このような動きの繰り返しにより移動軌跡がジグザグになると考えられる。これは加速度平面成分が端末の向きに依存しているためであると考えられる。

そのため、角速度の平面成分を用いて加速度平面成分を補正する。角速度を積分し、 z 軸まわりについて初期姿勢からの相対的な角度を推定する。加速度とその瞬間の角度から式 (5) を用いて原点を中心として回転させ、初期姿勢の世界座標系を保ち端末の向きに依存しない加速度平面成分に変換する。補正結果を図 9(c) に示す。

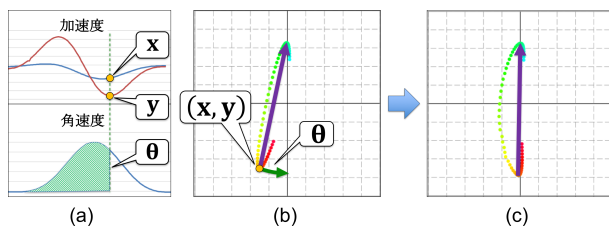


図 9 角速度を用いた進行方向の補正

3.1.3 円運動による加速度の除去

次に、角速度の平面成分を用いて回転運動による加速度平面成分への影響を除去する。歩行時に角速度平面成分の変化があるとき端末を軸に回転するわけではなく、主に体幹を軸として回転運動する。このとき回転運動による接線加速度や向心加速度が加速度平面成分にも分散する。進行方向を推定するためには歩行による加速度のみを取得する必要がある。そのため、角速度の値を用いて回転運動による加速度を減算し加速度平面成分への影響の除去を行う。

3.1.4 ステップ検出

ステップ検出を行い、1 歩ごとの加速度平面成分データを抽出する。ステップ検出について図 10 に示す。ステップ検出には、座標系変換を行った歩行データの垂直成分である Z 軸の値を使用し判定を行う。1 歩の判定は足が地面に着いた瞬間を 1 歩と判定するため、 Z 値に閾値を設定する。閾値は経験上 0.9 とした。1 歩の判定は閾値を 2 回超えた瞬間を 1 歩とした。

3.1.5 進行方向の推定

1 歩ごとの加速度平面成分データの進行方向を求める。加速度平面成分の極大値を用いて進行方向推定を行う。1

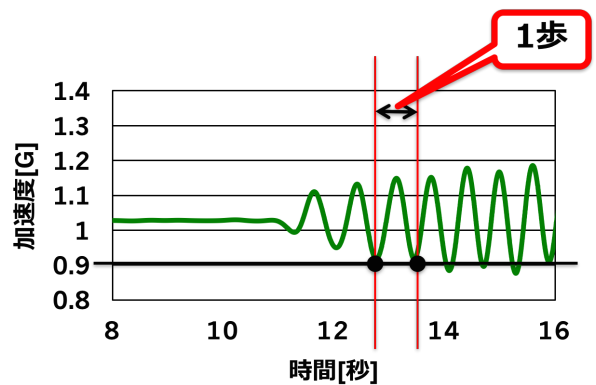


図 10 ステップ検出

歩ごとの加速度平面成分のノルムの極大値を求める。1 歩分の加速度平面成分のデータは進行方向へ加速し、進行方向の逆方向へ減速しているという特徴があるため、1 歩分の加速度平面成分のノルムの極大値は 2 つ存在する。その極大値を利用して、極大値を結ぶ線分を求める。次に、この線分から進行方向を求める。歩行した時の加速度平面成分のデータの変化は、最初に進行方向に対して加速し、次に逆方向へ減速している。この特徴を利用し、1 歩分の加速度平面成分データの極大値を前半と後半に分ける。次に、歩行する時は最初に加速するため、前半の極大値に加速して進んでいると考えられる。そのため、前半の極大値の方向に進んでいるとして線分の向きを求める。次に、進行方向ベクトルと直進方向ベクトルのなす角 θ° を求め、その角度を進行方向とする (図 11)。

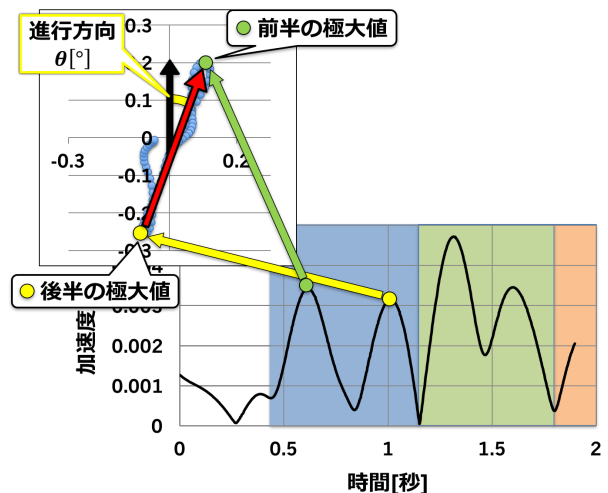


図 11 進行方向の推定

4. 評価実験

まず、提案手法によって横歩きや後退を含む歩行を推定できるかを確認する。一辺約 2 メートルの正方形の経路を進行方向に正対して前進するデータと常に一定の方向を向き前進、右歩き、後退、左歩きを含む歩行したデータを収

集を行う。横歩きの際は足をクロスしないものとした。歩行開始は端末姿勢推定を行うためセンシング開始から5秒後とした。データ収集する端末はNexus 5Xを使用した。

図12(a)は進行方向に正対して歩行した軌跡である。また、図12(b)は常に同じ方向を向いて前進、右方向への横歩き、後退、左方向への横歩きの順で歩行した軌跡である。結果、進行方向に正対して歩行した軌跡と横歩きや後退を含んだ歩行の軌跡も同じような軌跡を推定できた。体の向きに関係なく前進や横歩き、後退を含む歩行の推定も可能であるとわかった。

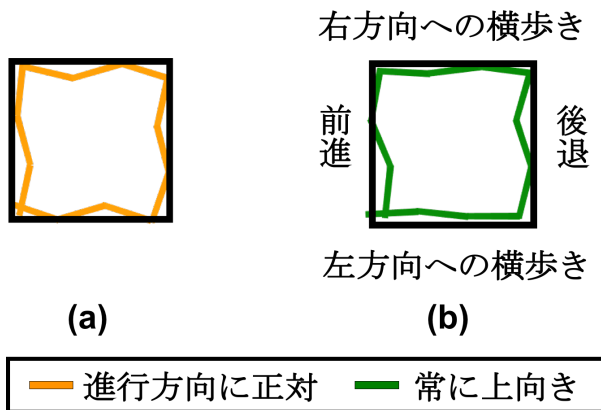


図12 推定軌跡

次に、提案手法の精度評価の手法として、正解方向と推定方向の角度差を算出し、既存研究[7]との比較評価を行う。連続した1歩ごとの歩行データの例を図13に示す。図13は寒色から暖色の順にセンサデータが取得されている。

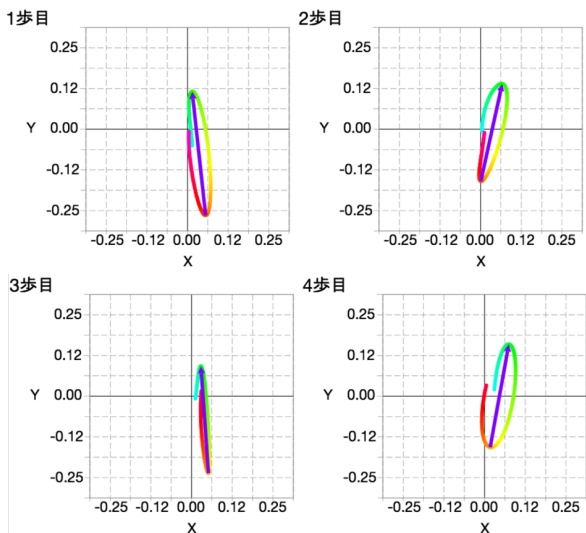


図13 連続した歩行データの例

実環境における実験設定を以下に示す。評価実験では、屋内で直線経路を20歩程度で歩行できるルートを歩行した5人の歩行データの収集を行う。評価には指定したルー

トを歩行したセンシングデータを使用する。また、端末姿勢推定を行うため歩行開始はセンシング開始から5秒後とした。また、本研究の提案手法として1歩ごとの進行方向推定を行うため、評価実験の際には1歩ごとの進行方向の正解データも同時に記録する。

今回の評価実験ではスマートフォンを体に固定するためにスマートフォンホルダーを用いた(図14)。センシング時に端末を手に保持した場合は体に固定されていないため腕振りなどの歩行以外の加速度の影響がある。また、ポケットなどに入れている場合には固定もされておらず左右対称なデータが取れない。そのため、左右対称で歩行による加速度データのみを取得するため、また比較実験をするため既存研究[7]と同様にスマートフォンを腰後ろの中央部に装着した。装着した際のスマートフォンの向きは、X軸が重力方向と一致するように装着した。また、今回の評価実験では、データ収集する端末としてNexus 5Xを使用した。



図14 スマートフォンホルダ装着図[7]

収集した歩行データから1歩毎の進行方向推定の精度の評価を行った。既存研究の手法で推定した進行方向ベクトルと本研究の手法で推定した進行方向ベクトルを比較し角度の誤差を求め、精度を評価する。その結果、既存研究[7]の手法は平均約14.2°、本研究の手法は平均約9.1°の誤差となり、平均約5.1°の精度向上となった。従来手法と提案手法の推定軌跡の比較を図15に示す。この図から分かるように、既存手法よりも提案手法のほうが軌跡のジグザグを緩和できているのがわかる。

ただし、提案手法によって腰回転をキャンセルしたとしても完全にジグザグが消えて直線的になっているわけではないということが判明した。人は歩行時踏み出した足に引き付けられるように進んでいるため踏み出した足の方向に加速すると考えられる。そのため、推定軌跡がジグザグになってしまう原因としては足の着地位置が考えられる。例えば、右足を1歩踏み出して前進するとき左足を軸として

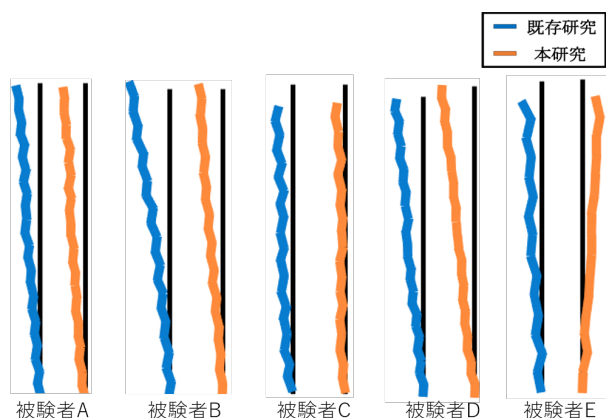


図 15 推定歩行軌跡の例

右足に引き付けられるように前進する。そのため、図 16(a)のように左足から右足の方向に加速度が生じ、右斜め前方向が進行方向だと推定されてしまうと考えられる。また、左足も同様に図 16(b)のように左斜め前方向に加速度が生じ、左斜め前方向が進行方向だと推定されてしまうと考えられる。これらの動きの繰り返しにより、図 16(c)のように移動軌跡がジグザグになってしまふと考えられる。

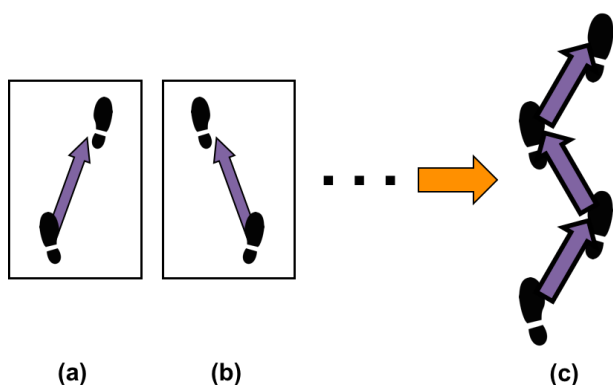


図 16 問題点

足の着地位置と推定歩行軌跡の関係を図 17 に示す。この検証には、本研究の手法を用いて歩行軌跡推定を行う Android のアプリケーションを実装し使用した。一直線上に足を着地させるように歩行した際の推定軌跡は図 17 (b)は、足の着地位置を肩幅程度に開けて歩行した際の軌跡図 17 (a)と比較してジグザグが小さい結果となった。この結果から足の着地点は進行方向に影響を与えらる。また、一般的な歩行では一直線上に足を着地させるような歩行にはならないため、多少のジグザグがみられるのが自然と考えられる。

5. おわりに

本研究では、加速度と角速度の平面成分を用いた 1 歩ごとの進行方向推定の高精度化に関する検討を行った。加速度のみの平面成分を用いた 1 歩ごとの進行横行推定の研

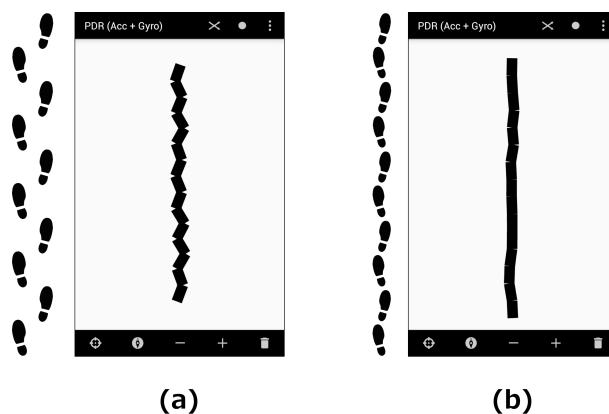


図 17 推定軌跡 (Android アプリケーション上での比較)

究 [7] では直進していても歩行軌跡がジグザグになってしまふという問題があったそのため、本研究では角速度の平面成分を用いた加速度平面成分の補正により一歩ごとの進行方向推定の高精度化を目指した。端末の姿勢推定を動的に行い、加速度と角速度の平面成分と垂直成分のデータ抽出を行った。角速度の平面成分を用いて、進行方向の補正や歩行による加速度以外の加速度の除去を行い高精度化を目指した。加速度の垂直成分データを使用してステップ検出を行い、1 歩ごとの加速度平面成分データを抽出した。次に、角速度の平面成分を用いて加速度平面成分の補正を行った。次に、人は進行方向に対して加速してから、進行方向と逆方向に減速するという特徴と 1 歩ごとの加速度平面成分を利用した進行方向推定を行った。既存研究 [7] と比較実験の結果、平均約 5.1° の精度向上となった。また、進行方向に対して正対している場合でも、既存研究 [7] と同様に横歩きや後退を含む歩行の場合でも進行方向の推定が可能である。

本研究では歩幅の推定しておらず固定としていたため、歩幅の推定が必要となる。歩幅は個人差もあり、状況によっても変化すると考えられる。歩幅の推定の検討について以下に示す。人は歩行時、進行方向に対して加速してから進行方向の逆方向に減速する特徴があるためノルムの極大値は 2 つ存在する。本研究では 2 つの極大値を結ぶ線分を求め進行方向の推定を行った。この線分が長いほど歩幅は大きいと考えられる。そのため、加速度変面成分の極大値を結んだ線分の長さから歩幅が推定が可能だと考えた。また、身長から歩幅を推定する手法との併用により高精度な歩幅推定ができるのではないかと考えた。歩幅の推定が推定できれば屋内位置推定の精度も向上できると考える。

参考文献

- [1] 渡辺勇人, 矢吹太郎, 佐久間博司, “RFID を用いた室内の位置推定手法” 情報処理学会第 69 回全国大会, 4V-7, pp.255-256, 2007
- [2] 藤田迪, 梶克彦, 川口信夫, “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.1069–1181, 2013.

- [3] 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.ASN, 知的環境とセンサネットワーク, Vol.113(399), pp.23-28, 2014.
- [4] 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.
- [5] 大竹久美子, 蒔苗耕司, “自立型測位を用いた歩行者経路案内システムの構築”, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.13, pp.419–422, 2004.
- [6] 興梠正克, 大隈隆史, 蔵田武志, “歩行者ナビのための自蔵センサモジュールを用いた屋内測位システムとその評価”, シンポジウムモバイル論文集 2008, pp.151–156, 2008.
- [7] 清水祥吾, 伊藤信行, 内藤克浩, 中條直也, 水野忠則, 梶克彦 “加速度平面成分を用いた 1 歩ごとの進行方向推定”, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, pp.38–43, 2017.
- [8] 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.
- [9] 小西勇介, 柴崎亮介, “自律方式による歩行者ポジショニングシステムの開発”, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.10, pp.389–392, 2001.
- [10] 宮川寛亮, 武田量, 但野茂, “加速度・角速度センサによる三次元歩行解析” 日本機械学会年次大会講演論文集, Vol.5, pp.63–64, 2010
- [11] 石丸智也, 宮村紅葉, 富樫宏謙, 古川浩, “屋内環境における高精度な測位手法の検討” 情報処理学会研究報告, Vol.2017-MBL-85, No.13 pp 1–5, 2017
- [12] 工藤大希, 堀川三好, 古舘達也, 岡本東, “BLE 測位および PDR を用いたハイブリッド型屋内測位手法の提案” 情報処理学会全国大会, 3U-05, pp.325–326, 2017
- [13] 堀川三好, 古舘達也, 工藤大希, 岡本東, “BLE 位置測位及び PDR を用いたハイブリッド型屋内位置測位手法の提案” 情報処理学会研究報告, Vol.2015-MBL-76, No.13, pp.1–7, 2015
- [14] 根岸拓郎, 藤田悟, “PDR とカメラ画像による進行方向トラッキングを用いた屋内位置推定” 情報処理学会全国大会, 4V-02, pp.451–452, 2017