

角速度と磁気センサを単独で用いたステップ認識手法

磯村 奎介¹ 梶 克彦²

概要: 本研究は角速度、磁気を単独で使用しステップを認識する手法について提案し、歩数推定実験の結果を提示する。ステップと進行方向の情報は歩行者の位置推定につながるが、位置推定には複数センサの併用が一般的である。複数のセンサを利用した場合端末の消費電力が問題となるが、本研究のように角速度と磁気を単独で用いてステップ認識し、かつ進行方向の推定が行えればセンサの併用が不必要であり省電力性の向上が期待できる。また磁気センサを単独で用いた位置推定手法として歩行時に取得された磁気系列から磁気 Fingerprint を作成する手法があるが、磁気 Fingerprint には歩行時のステップ成分が含まれてしまう。本研究ではステップ認識を行う際歩行時に取得された磁気系列からステップ成分を除去するため、この手法を利用してステップ成分を除去した磁気 Fingerprint を作成できれば精度の向上が期待できる。ステップ認識には歩行時に人は一歩ごとに腰が回転するといった特徴を利用する。角速度の場合、センサのヨー軸値を積分し腰の回転を推定し、算出された角度の極値を検出し歩数推定が可能である。しかし右左折した場合にはセンサから得られる推定角度が大きくなり変動し極値が潰されてしまいステップの認識が困難となる。そのためローパスフィルタを用いて歩行成分の抽出を行いステップ認識を可能にした。磁気の場合、センサの水平成分である2軸の値に三角関数を利用して腰の回転を推定し、歩数の推定が可能となる。しかし屋内には場所によって観測される値が異なる残留磁気が存在するため屋内歩行時には磁気センサの値が変動し腰回転の推定が困難となる。そのため角速度同様ローパスフィルタを用いて歩行成分の抽出を行いステップ認識を可能にした。これらのステップ認識手法の精度を検証するため歩数推定実験を行い、ステップ認識に主流な手法である加速度を用いたステップ認識手法の精度と比較を行った。推定誤差は加速度が $\pm 1.1\%$ 、角速度が $\pm 3.1\%$ 、磁気が $\pm 7.3\%$ 、標準偏差は加速度が1.1[歩]、角速度が4.4[歩]、磁気が6.2[歩]となった。

Step Recognition Methods Using Individual Sensors of Angular Velocity and Magnetism

KEISUKE ISOMURA¹ KATSUHIKO KAJI²

1. はじめに

スマートフォンの普及により様々な位置情報サービスの需要が高まっている。歩行者の位置を推定する技術としてはGPSを用いた測位やPDR(Pedestrian Dead Reckoning)と呼ばれる技術がある[1][2][3]。PDRとは歩行者の位置推定技術であり、歩行者の移動距離、移動方向、高さの推移といったデータが必要であるが、移動距離には加速度セン

サ、移動方向には角速度センサ、高さ方向の推定には気圧センサがの使用が主であり、PDRを行うためにはこれらのセンサが併用される。本研究では角速度センサ、磁気センサをそれぞれ単独利用しステップ認識を行い、加速度センサを用いた歩数推定手法は歩数計に使用されるほど一般的であるため、加速度センサを用いたステップ認識と角速度、磁気センサを用いたステップ認識の精度を比較し検証する。角速度や磁気のセンサ値から移動方向の推定し、歩数と移動方向が推定できれば単一のセンサによる位置推定が期待できる。単一のセンサを使用した位置推定のメリットとしては省電力性の向上が期待できる。本研究ではスマー

¹ 愛知工業大学大学院 経営情報情報科学研究科
Graduate School of Business Administration and Computer
Science, Aichi Institute of Technology

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

トフォンに搭載されたセンサを主に使用するが、センサを併用した場合にはスマートフォンの消費電力が増大する。そこでセンサをそれぞれを単一的に使用し PDR を行えば消費電力が抑えられると考えられる。他に位置推定に使用される主流のセンサとしては GPS が挙げられる。GPS は消費電力が大きく、端末が屋内など電波の届かない場所にあり GPS を使用できない場合においても常に電力を消費するため、屋内では GPS を利用しない位置推定手法が必要である。

角速度と磁気センサを用いたステップ認識手法としては腰の回転を利用する。歩行者は 1 歩進む度に腰が水平方向に回転するため、センサを腰部後方に装着し腰の回転を検出し歩数を推定する。この手法の精度評価を行うため歩数推定実験を行った。

2. 関連研究

ステップ認識に使用されるセンサとしては加速度センサと角速度センサが挙げられる。歩行時に加速度センサを腰に装着した際、加速度の大きさは安定した正弦波を示すため波形の極値を検出し、他のセンサよりもステップ認識が容易である [3]。ステップ認識の容易さから一般的に加速度センサは歩数計に利用され、その誤差は $\pm 3\%$ と定められている [4]。そのため加速度を用いたステップ認識精度と本研究の角速度と磁気を単独で使用したステップ認識精度の比較を行い有用性を示す。角速度センサを用いたステップ認識手法では、歩行時に生じる腰の回転を利用して推定する [5]。歩行時には腰が回転し、踵が接地する瞬間にその値は最大になる。そのため角度データの極値からステップの認識が可能である。角速度を用いたステップ認識では直進歩行のみを想定しているが、本研究では右左折を含む歩行時においてステップ認識が可能な手法を提案している。ステップと歩幅を利用して移動距離の算出を行い、磁気センサと角速度センサから移動方向の推定ができればセンサを単独で使用した歩行者の位置推定が期待できる。

歩行者のステップを認識せずに行う位置推定手法としては RFID タグや Bluetooth を利用した手法 [6][7] や事前に設置された無線 LAN 基地局を利用する Wi-Fi fingerprinting 方式 [8][9] がある。RFID タグや Bluetooth を利用した手法は相対的に位置を推定する PDR とは反する絶対的位置測位手法と呼ばれ位置推定が高精度である。しかしこれらの手法は事前に機器の設置が必要なため、本研究のように歩行者が所持する端末を利用した手法は低コストな位置推定が期待できる。Wi-Fi fingerprinting 方式はあらかじめ位置推定を行う建物の領域内を複数のブロックに分割し、それぞれのブロックにおいて観測された Wi-Fi の電波強度をブロックの位置情報と関連付けてデータベースに保存する。位置推定を行う際には取得した電波強度とデータベースに保存されている電波強度を照合し位置を推定する。

また単一のセンサを利用した位置推定手法として建物内の残留磁気 [11][12] を利用した手法がある。残留磁気を利用した手法では磁気センサを用いて位置推定を行う建物内の残留磁気を取得する。残留磁気とは建物内の鉄骨等から発生される磁気を指し、場所によって観測される値が異なるといった特徴がある。そのため Wi-Fi fingerprinting 方式と同様に取得された値をデータベースに保存し照らし合わせて位置推定を行う。これらの手法は事前に歩行してデータを収集する時間的コストがかかる。また複合商業施設や巨大なビルの場合にはさらにコストが膨大になる。しかし歩行者に装着したセンサデータからステップ成分を検出して位置推定を行う場合にはこれらの事前データ収集が不要なためコストが抑えられるメリットがある。

3. 角速度センサを用いたステップ認識

人は歩行時に上下の軸を中心に回転するといった特徴がある。その回転角度は片方の踵が接地した瞬間に極大値が発生し、もう片方の踵が接地した瞬間に極小値が発生する。これらの極値をステップ成分と定義した。角速度センサを歩行者の腰部後方に装着し、センサのヨー軸を積分して角度を算出し、ステップ成分の推定が可能である。そしてステップ成分である極値の差が一定以上だった場合に歩数として推定する。また直進歩行時の角速度データにはセンサノイズ、角度のドリフト値、ステップ成分が含まれ、右左折時には移動方向変化による角速度の変動値が含まれる。そのためステップ認識を行うためには様々な成分が含まれた角速度データからステップ成分を抽出する必要があり、ローパスフィルタを利用してステップ成分の抽出を行う。

角速度センサを単一的に用いる利点としては移動方向の推定が期待できる点である。歩行者の位置推定を行うためには移動距離や移動方向といった情報が必要となる。移動距離は歩数と歩幅を用いて算出するが、歩幅を歩行者の身長から算出を行い [13][14]、本研究のように歩数を推定すれば移動距離の算出が行える。移動方向を角速度センサを用いて推定できれば単一のセンサによる位置推定が期待できる。

また加速度センサを用いたステップ認識手法は高齢者にみられる低速な歩行の場合、ステップ認識が困難である。しかし低速歩行においても腰の回転はみられるため、角速度センサはそのような腰の回転を推定して低速度における歩数の推定が期待できる [5]。

3.1 端末角度推定手法

腰の回転角度を測定するために、センサが回転した際の角度を算出可能にする。角速度センサにはヨー軸、ピッチ軸、ロール軸の 3 つの軸が存在するが、本研究では地面と水平な面における角度を算出するためヨー軸の値を使用する。ある時間における端末の回転角度 θ_t を算出するため

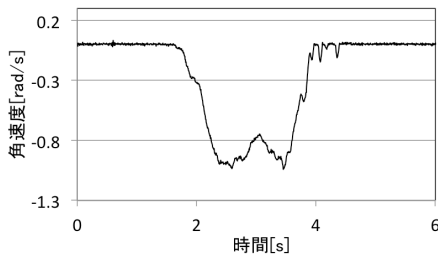


図 1: 端末を 90 度回転させた際の角速度

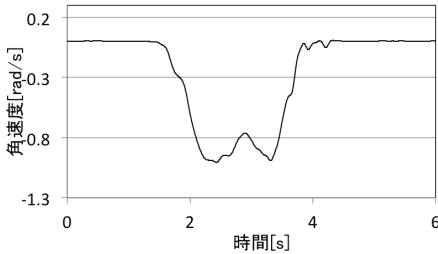


図 2: 図 1 にローパスフィルタを利用しセンサノイズ除去

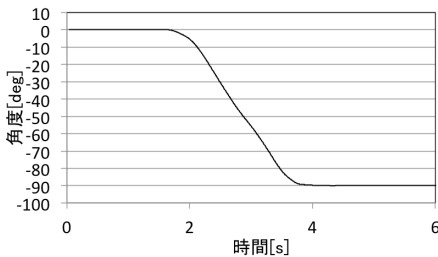


図 3: 図 2 から推定した端末角度

に式 1 のように角速度値を積分し角度の算出を行う。V は角速度の値を表す。

$$\theta_t = \int_0^t V(t)dt * \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

この手法によりセンサの回転角度を正しく推定できているかどうか、回転台の上に端末を固定させ、回転台を一定の角度回転させた際に正しい値が算出されるか実験を行った。歩行時の角速度値にはセンサノイズと腰の回転による周期的な値の変化が発生する。腰の回転は片方の足が接地した瞬間に極大値、もう一方の足が接地した瞬間に極小値が現れるため 1 周期に 2 回ステップが存在し、その周期は 1~2[Hz] である。センサノイズは歩行周期より高い周期で発生するため図 1 の角速度センサ値に遮断周波数 2[Hz] のローパスフィルタを適用し平滑化を行いステップの認識を行う。図 2 はローパスフィルタを利用してノイズの除去を行ったデータである。そのため図 2 のデータを積分すれば図 3 のようにノイズの影響を除去した端末角度の時系列変化が算出可能である。

3.2 腰の回転を用いたステップ認識手法

ステップ認識にはステップ成分である腰回転角度の極値を利用する。歩行時には踵が接地する瞬間に極値が発生する。そのため極値からステップの認識が可能であり、極値

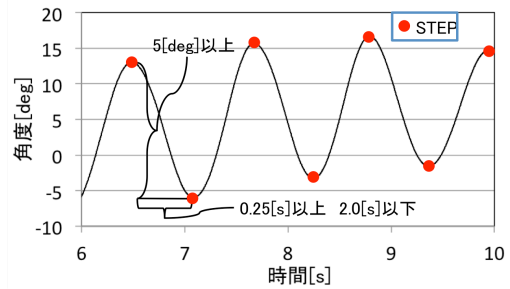


図 4: 端末の回転角度を利用したステップ認識手法



図 5: センサ装着位置

の総数を計算し歩数の推定が可能である。加速度を用いたステップ認識手法では、加減速の際に発生する極大値と極小値の 1 周期をステップとして認識するが [2]、腰の回転を利用したステップ認識手法では極大値を 1 歩、また極小値を 1 歩と推定するため、1 周期に 2 歩のステップを認識する [5]。

単に極値を計算するだけでは静止時や歩行時の小さな値の変化も歩数として計算してしまう。そこで図 4 のように閾値を設定し、極値間に閾値以上の値の変化がみられた場合のみ歩数として計算する。Murray らの研究によれば歩行時の腰回転角度は 9 ± 4 [deg] であるため [15]、5[deg] を閾値として設定し極大値と極小値の差が 5[deg] 以上だった場合に歩数として計算する。また静止時にも関わらず極値に閾値以上の差が現れ歩数として認識されてしまう場合がある。そのため閾値間における時間の差が一定の範囲内だった場合に歩数として認識する。この時間は体験的に 0.25[s] 以上 2[s] 以下と設定した。

3.3 ステップ成分抽出手法

3.1 節の手法を用いてステップ成分である歩行時の腰回転角度を推定する。角速度センサは端末を静止させていても値が微小ながら変化するため、値を積分して角度を算出する手法では微小な値の変化を累積させてしまい角度値がドリフトしてしまう。直線歩行時における端末の角度データはステップ成分とドリフトの影響により値が変化する。さらに右左折時には移動方向変化による値の変化量が含まれる。これらの影響をローパスフィルタを用いて除去しステップ成分の抽出を行う。

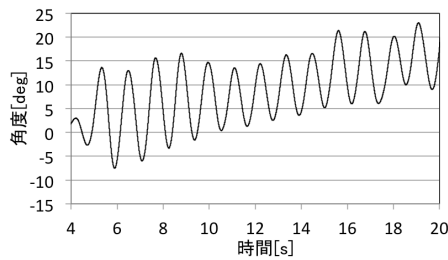


図 6: 直進歩行時における端末角度の時系列変化

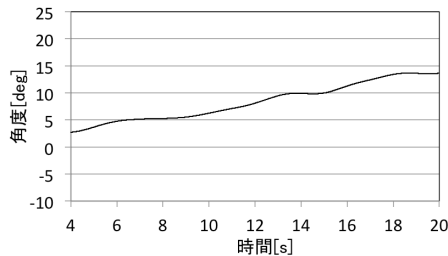


図 7: 図 6 から抽出したドリフト成分

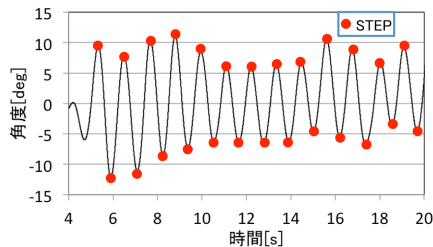


図 8: 図 6 から抽出したステップ成分からステップ認識

3.3.1 直進歩行時におけるステップ成分抽出

端末を図 5 のようにホルダーの中に入れて腰の後方に固定させ、直進歩行した際の端末角度データを図 6 に表す。図 6 のデータにはステップ成分とドリフト成分が含まれているためこれらの成分をローパスフィルタを利用して分離する。データは 3.1 節で述べた遮断周波数 2[Hz] のローパスフィルタを用いて平滑化を行った後 (1) 式を利用して角度の推定を行っている。

このようにデータは歩行により端末角度の変動がみられるが、値が徐々に増大している。角速度のドリフトによる角度値の変動は歩行周期の 1~2[Hz] よりも低い周期で発生する。そのため図 6 のデータに歩行周期よりも低い 1[Hz] を遮断周波数としたローパスフィルタを適用させ、図 7 に示す角度のドリフト値を算出する。そして図 6 のデータから図 7 のデータを減算させて図 8 のドリフトの影響を除去した端末回転角度の算出が可能となる。また図 8 は 3.2 節の手法を利用してステップとして認識された箇所にラベル付けの処理をした。

3.3.2 右左折時におけるステップ抽出手法

右左折時には直進歩行時に含まれていたステップ成分とドリフトする角度変化量に加え移動方向変化による角度変化量が含まれる。右左折時には端末角度が大きく変動し腰回転による極値の検出が困難となりステップ認識が不可能になる箇所が発生する。そのため角度データをステップ成

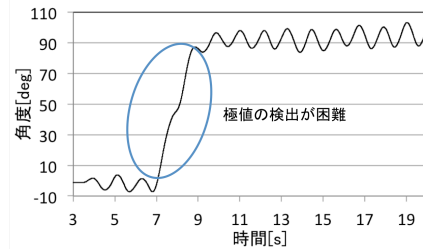


図 9: 右折を含む歩行時における端末角度の時系列変化

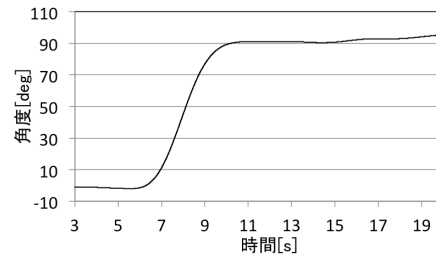


図 10: 図 9 から抽出した進行方向成分

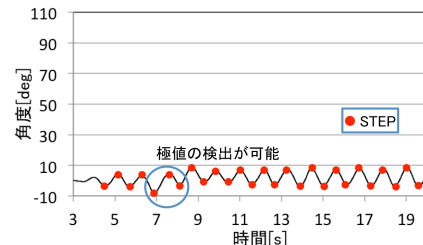


図 11: 図 9 から抽出したステップ成分からステップ認識

分と移動方向成分に分離し、ステップ認識と右左折の推定を可能にした。

図 9 に右折を含む経路歩行時の端末角度データを示すが、このように右折時には角度が大きく変動し、極値が打ち消されてしまい右折中のステップ認識が困難となる。そこで 3.3.1 節の手法を利用して角度データをステップ成分と移動方向成分に分離する。移動方向変化による端末角度の変化はドリフトする端末角度の変化と同様に歩行より低い周期で発生する。そのため図 9 のデータに歩行の周期よりも低い遮断周波数 1[Hz] のローパスフィルタを適用させ、ステップ成分を除去し移動方向成分の抽出を行ったデータを図 10 に示す。

図 8 のデータは移動方向成分とステップ成分が含まれており、図 9 のデータは移動方向成分である。つまり図 8 から図 9 のデータを減算すればステップ成分を算出可能であり、図 10 のようにステップ成分の抽出が可能である。右折時は端末の角度は約 90[deg] 変化するため、それよりも小さな腰の回転角度は打ち消されてしまっていたが、図 9 の 7~9[s] 間に現れていなかった極値が図 11 では検出されており、ステップ成分の抽出を可能にした。また図 11 は 3.2 節の手法を利用してステップとして認識された箇所にラベル付けの処理をした。

図 10 のデータは移動方向成分であるが、ドリフトによる変化量も含まれているため正確な移動方向ではない。し

かしドリフトによる値の変化は低い周期で発生し、右左折による値の変化は1~2[s]の短時間で発生するためドリフトによる影響は少なく、またドリフトによる変化量よりも大きな変化が発生するため右左折の推定が期待できる。ステップと移動方向の情報を併用すれば歩行者の位置推定が期待できるため、角速度センサを単独で利用した歩行者の位置推定につながる。

4. 磁気センサを用いたステップ認識

磁気センサの場合にも3章で述べた腰の回転を利用する。腰に装着した磁気センサの水平成分である2軸の値に三角関数を利用して腰の回転を推定し、歩数の推定が可能となる。屋外直進歩行時の磁気データにはセンサノイズ、ステップ成分が含まれ、屋内直進歩行時には残留磁気による磁気の変化値が含まれる。さらに右左折時には移動方向変化により磁気値が変化する。そのためステップ認識を行うためには様々な成分が含まれた磁気データからステップ成分を抽出する必要があり、ローパスフィルタを利用してステップ成分の抽出を行う。

磁気センサを単一的に用いる利点としては角速度同様に移動方向の推定ができれば単一のセンサで位置推定を行える点である。角速度センサが10秒間に消費する電流は21.76[mA]、加速度は6.52[mA]であるが、磁気センサは5.78[mA]である[10]。磁気は角速度や加速度センサよりも消費電力が少ないため、磁気センサのみで位置推定が行えれば省電性の向上につながる。

また残留磁気を用いた位置推定では、事前に屋内を歩行し取得された残留磁気から磁気 Fingerprint を作成し、位置推定時には磁気 Fingerprint と歩行時の酒盗値を比較し位置推定を行うが、磁気 Fingerprint にはステップ成分が含まれている[11][12]。本研究ではステップ認識を行う際、歩行時の取得値をステップ成分と残留磁気成分に分離しているため、ステップ成分を除去した磁気 Fingerprint を作成しより高い精度の位置推定が期待できる。

4.1 端末角度推定手法

磁気センサにはX, Y, Zの3軸が存在するが、本研究では水平面における腰の回転を推定するため水平に直行する2つの軸を利用する。ある時間 t における角度 θ を求めるには(2)式のようにX, Yの2つの軸に逆正接関数を用いて角度を算出する。

$$\theta_t = \tan^{-1} \left(\frac{X_t}{Y_t} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{X_0}{Y_0} \right) \quad (2)$$

X_t, Y_t はある時刻 t における水平な面における2軸の値を表し、 X_0, Y_0 は $t=0$ における2軸の値を表す。単に逆正接関数を用いただけでは0度を磁北とした方角が算出されしまうが、本研究では最初の静止時における歩行者の向きを0度とした腰の回転角度を算出したいため、初期値で

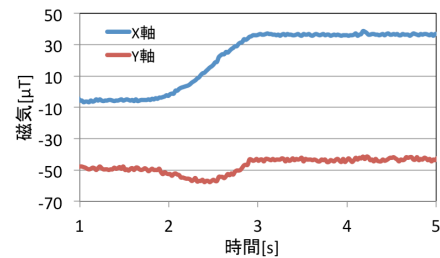


図 12: 端末を 90 度回転させた際の磁気

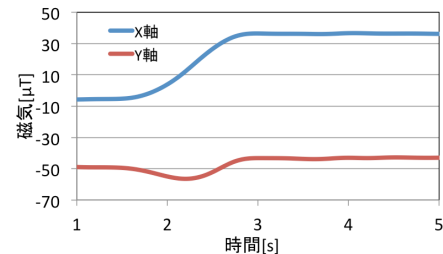


図 13: 図 12 にローパスフィルタを利用しセンサノイズ除去

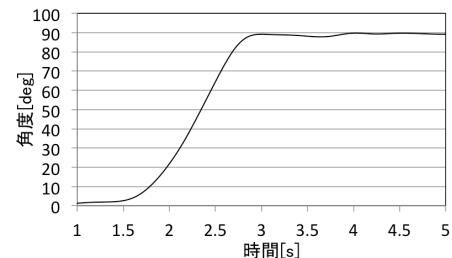


図 14: 図 13 から推定した端末角度

ある $t=0$ の角度を減算させ相対的に角度を算出する。

この手法によりセンサの回転角度を正しく推定できているかどうか、回転台の上に端末を固定させ、回転台を一定の角度回転させた際に正しい値が算出されるか実験を行った。歩行時の磁気にはセンサノイズと歩行による周期的な値の変化が発生する。歩行による値の変化は1~2[Hz]の周期で発生し、センサノイズは歩行周期より高い周期で発生する。そのため図12の磁気センサ値に遮断周波数2[Hz]のローパスフィルタを適用し、図13のように平滑化を行う。ノイズを除去し平滑化を行ったデータに(2)式を利用し図14のように端末角度の時系列変化が可能である。

4.2 腰の回転を用いたステップ認識手法

磁気センサの場合も角速度センサの場合と同様に腰の回転を利用して歩数の推定を行う。3.2節同様に閾値を5[deg]とし、極値間に閾値以上の差がみられた場合に歩数として推定する。また極値間の時間差にも閾値を設定し、0.25[s]以上2.0[s]以下の際にステップとして認識する。

4.3 ステップ成分抽出手法

4.1節の手法を利用しステップ成分である歩行時の腰回転を推定する。歩行時の磁気センサ値は周辺磁場の影響により変動し、交流磁場や残留磁場の影響が挙げられる。交

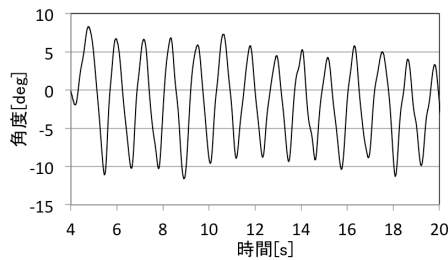


図 15: 屋外直進歩行時における端末角度の時系列変化

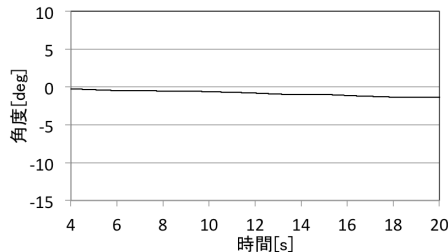


図 16: 図 15 から抽出した残留磁気成分

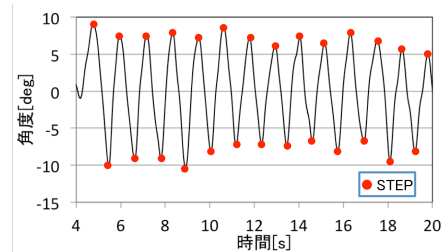


図 17: 図 15 から抽出したステップ成分からステップ認識

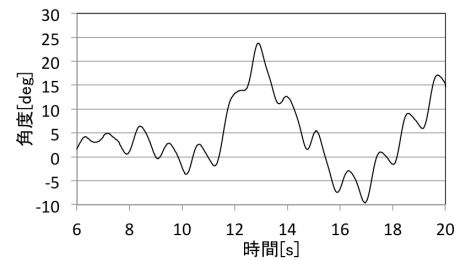


図 18: 屋外直進歩行時における端末角度の時系列変化

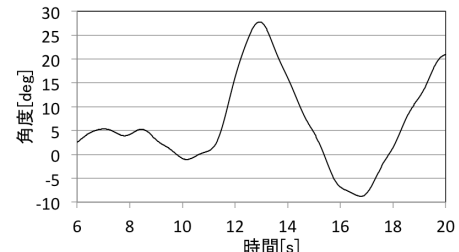


図 19: 図 18 から抽出した残留磁気成分

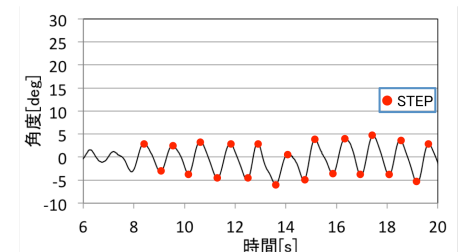


図 20: 図 18 から抽出したステップ成分からステップ認識

流磁場とは交流電源により発生する磁場であり、静止していても時間的な変化が生じる。残留磁気とは鉄骨等の磁性体が製造や施工の過程に生じる磁場の影響で磁気を帯び、施工後も磁気が残留する現象である [16]。磁性体によって発生する磁場の強度は異なるため、歩行時に取得される磁気は残留磁気によって変化が生じる。これらの影響をローパスフィルタを用いて除去しステップ成分の抽出を行う。

4.3.1 屋外直進歩行時におけるステップ成分抽出

端末を図 5 のようにホルダーの中に入れ腰の後方に固定し、周辺に建物や金属が無い屋外を直進歩行した際の端末角度データを図 15 に示す。データは 4.1 節で述べた遮断周波数 2[Hz] のローパスフィルタを用いて平滑化を行った後 (2) 式を利用して角度の推定を行っている。残留磁気の影響による角度値の変動は歩行周期の 1 ~ 2[Hz] よりも低い周期で発生する。そのため図 15 のデータに歩行周期よりも低い 1[Hz] を遮断周波数としたローパスフィルタを適用させ、図 16 に示す残留磁気の影響による角度の変動値を算出する。図 15 はステップ成分と残留磁気の影響により値が変動し、図 16 は残留磁気の影響による角度の変動値である。つまり図 15 から図 16 を減算し残留磁気の影響を除去したステップ成分の抽出が可能である。

しかし図 15 と図 17 を比較するとほとんど差がみられない。原因としては屋外には鉄骨等の磁性体が少なく、残留磁気の影響がほとんど生じないためである。そのため屋外

では残留磁気の影響による角度の変動値が小さく、屋内に比べステップ成分の抽出が容易である。また図 17 は 3.2 節の手法を利用しステップとして認識された箇所にラベル付けの処理をした。

4.3.2 屋内直進歩行時におけるステップ成分抽出

図 18 はセンサを腰に装着し屋内を直進歩行した際の端末角度の時系列変化である。このように直進しているにも関わらず、屋外歩行に比べ値に大きな変動がみられる。原因として屋外に比べ屋内には鉄骨等の磁性体が多く存在しているためである。磁性体による残留磁気の影響により端末角度の時系列変化は大きく変動し、ステップ成分による極値がみられない箇所や極値間の差が小さくなる箇所が発生する。そのため 4.3.1 節と同様の手法を利用して端末角度の時系列変化を図 19 の残留磁気成分と図 20 のステップ成分に分離を行いステップ認識を可能にした。また図 20 は 3.2 節の手法を利用しステップとして認識された箇所にラベル付けの処理をした。

4.3.3 右左折を含む屋内歩行時におけるステップ成分抽出

屋内で右左折を含む経路を歩行した際には、端末角度の時系列変化はステップ成分、残留磁気、進行方向成分が混在する。そのためローパスフィルタを利用しこれらの成分を分離する必要がある。

図 18 に右左折を含んだ屋内歩行時の端末角度データを示すが、このように歩行時における端末角度が大きく変動

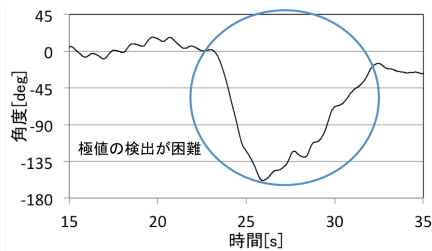


図 21: 右左折を含む屋内歩行時における端末角度の時系列変化

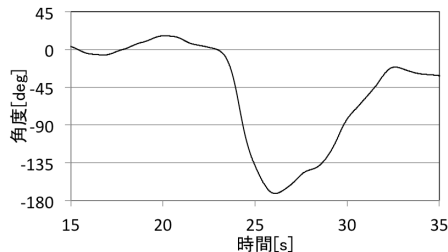


図 22: 図 21 から抽出した残留磁気成分および進行方向成分

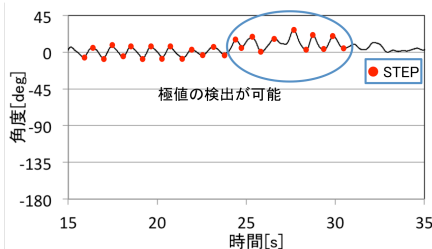


図 23: 図 21 から抽出したステップ成分からステップ認識

し、極値が打ち消されてしまいステップ認識が困難となる。そこで 3.3.1 節の手法を利用し角度データをステップ成分と残留磁気成分、進行方向成分に分離する。しかし残留磁気成分と進行方向成分の周期は似通っているため混在してしまっており分離が困難である。そのため今後 2 つの成分を分離する手法が必要となる。残留磁気成分と進行方向成分は歩行より低い周期で発生する。図 18 のデータに歩行の周期よりも低い遮断周波数 1 [Hz] のローパスフィルタを適用させ、図 19 のようにステップ成分を除去し残留磁気成分と進行方向成分の抽出が可能である。

図 21 のデータはステップ成分と残留磁気成分、進行方向成分が含まれており、図 19 のデータは残留磁気成分と進行方向成分である。つまり図 18 から図 19 のデータを減算すればステップ成分である腰回転角度を算出可能であり、図 23 のようにステップ成分が抽出できる。残留磁気や進行方向の変化により端末の推定角度が大きく変動するため腰の回転角度は打ち消されてしまっていたが、図 21 の約 25~35[s] 間に現れていなかった極値を図 23 では検出されておりステップ成分の抽出を可能にした。また図 23 は 3.2 節の手法を利用しステップとして認識された箇所にラベル付けの処理をした。

5. 歩数推定実験

本稿で提案した磁気センサと角速度センサを単独で用い

たステップ認識手法の精度検証のため歩数推定実験を行った。また磁気センサ、角速度センサに加え、ステップ認識において一般的な手法である加速度センサの歩数推定精度と 2 つのセンサにおける推定精度を比較する。

5.1 実験環境

実験環境として各センサが歩数推定の際不利になる環境を想定し、右左折を含む屋内経路、屋内を直進する経路、屋外を直進する経路の 3 経路を設定した。右左折を含む屋内経路は 2 つの直線的な経路が直角に交差する点を右左折する経路である。経路として 2 回右折する経路と 2 回左折する経路を設定し、歩行開始地点から 1 つ目の交差点までの距離、2 つ目の交差点から歩行終了地点までの距離が等しくなるように設定した。屋内を直進する経路は屋内における一般的な廊下を直線的に歩行する。また屋外を直進する経路は周辺に金属や建物が存在しない場所において直線的に歩行する。

右左折を含む経路は磁気センサ、角速度センサ共に不利な環境になる。右左折をした際にはセンサから得られる端末角度の時系列変化が大きくなる。屋内を直進する経路では角速度に影響はないが、磁気センサは残留磁気の影響により端末角度の時系列変化が大きくなる。そのため右左折を含む経路では磁気センサと角速度センサ、屋内を直進する経路では磁気センサのステップ成分取得が困難と考えられるが、本研究で提案したステップ成分の抽出手法によりステップが認識されるか検証を行う。また周囲の環境や進行方向から影響を受けない環境として屋外を直進する経路を設定し精度の比較を行う。

加速度を用いた歩数推定には加速度センサ 3 軸のノルムの値を利用する。静止時にノルムの値は重力加速度である 1.0[G] を表し、歩行時にはノルムの値が増減する。そのため閾値として 1.1[G] を設定し、閾値を越えた際の極大値をステップとして認識する。

屋外直進経路、屋内直進経路、右左折を含む屋内直進経路の 3 経路において男女 10 人が歩行し実験を行う。歩行距離を指定するのではなく歩数を指定し、その歩数は 40 歩と設定した。

5.2 実験結果

実験結果として各経路における加速度センサと角速度センサ、磁気センサの推定誤差を表 1 に示し、各センサの推定誤差を表 2 に示す。

加速度センサを用いた歩数推定誤差は $\pm 1.1\%$ であり、歩数計の誤差基準である $\pm 3\%$ 以内となった。角速度センサを用いた歩数推定誤差は $\pm 3.1\%$ であり、歩数計の誤差基準とほぼ同程度だったが、右左折を含んだ経路においては誤差が -5.0% となった。一方磁気センサを用いた歩数推定誤差は $\pm 7.3\%$ となり歩数計の基準誤差を満たさなかった。

表 1: 各経路, 各センサの推定誤差

歩行経路	センサ	誤差 (%)	標準偏差 (歩)
屋外直進経路	加速度	-0.8	0.8
	角速度	2.3	1.8
	磁気	-2.8	1.4
屋内直進経路	加速度	-0.8	1.1
	角速度	3.0	1.4
	磁気	-7.5	5.0
右左折を含む	加速度	-1.8	1.2
	角速度	-4.0	5.3
屋内直進経路	磁気	-11.5	9.0

表 2: 各センサの推定誤差

センサ	誤差 (%)	標準偏差 (歩)
加速度	± 1.1	0.8
角速度	± 3.1	4.4
磁気	± 7.3	6.2

5.3 考察

磁気センサの場合ではすべての経路において 40 歩よりも少ない歩数が推定され, 歩数推定誤差が増大した. 原因としては屋内を歩行した際は鉄骨等の磁性体から発生する残留磁気の影響により得られる磁気センサの値が大きく変動するため, 磁気センサ値から算出したステップ成分の極値間の差が閾値以下となるためである. そのため実際の歩数よりも少なく推定されてしまい誤差が増大する原因だと考えられる. 極値間に現れる値の差は減少しているが, 腰回転によるステップ成分は発生しているため閾値を小さくすれば不可能だった箇所のステップ認識が可能となるが, その場合静止時の微小な値の変化をステップとして認識してしまい誤差が増大する. そのため閾値を利用しないステップ認識が可能であれば精度の向上が期待できる.

また角速度の場合では, 直進経路では誤差が抑えられたが右左折を含んだ経路では誤差が増大した. 角速度は周囲の環境に影響を受けないため屋外を歩行する経路, 屋内を歩行する経路共に推定誤差は± 3%以内であったが, 右左折を含んだ経路では-5.0%の誤差がみられた. 原因として右左折時における腰の回転角度が直進歩行時における腰の回転角度より減少するためである. そのため極値間の差が閾値以下となり実際の歩数よりも少なく推定されてしまった. 磁気センサ同様閾値を利用しないステップ認識手法を利用すれば精度の向上が期待できる.

6. おわりに

本稿では磁気センサ及び角速度センサを単独で利用したステップを認識を目的とし, 歩行者の腰の回転に着目してステップ認識を行う手法を述べた. またそれらの手法の精度を検証するために歩数推定実験を行い, 歩数推定において一般的な手法である加速度センサを用いた歩数推定の精度と比較を行い, 推定誤差は加速度が± 1.1%, 角速度が±

3.1%, 磁気が± 7.3%, 標準偏差は加速度が 1.1[歩], 角速度が 4.4[歩], 磁気が 6.2[歩] となった.

センサを単独で利用し位置推定を行うためには歩数だけではなく進行方向の推定が必要である. 今後加速度センサ, 磁気センサを利用した進行方向の推定を可能にし, センサを単独で利用した位置推定を目的とする.

参考文献

- [1] Masakatsu Kourog, Takeshi Kurata: A method of pedestrian dead reckoning for smartphones using frequency domain analysis on patterns of acceleration and angular velocity, Proceedings of IEEE/ION PLANS 2014, pp.164-168, 2014.
- [2] 安斎恵一, 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シンポジウム論文集, Vol.2011, pp.1024-1030, 2011.
- [3] 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.
- [4] 日本工業規格: 歩数計, JIS-S-7200, 1993.
- [5] 関根正樹, 貴嶋芳文, 桑江豊, 田中則子: 超低速度歩行に対応した歩数カウントアルゴリズムに関する基礎的研究, 医療保健学研究, Vol.8, pp11-18, 2017.
- [6] Abdelmoula Bekkali, Horacio Sanson, Mitsuji Matsumoto: RFID indoor positioning based on probabilistic RFID map and Kalman filtering, Proc.WiMOB 2007, p.21, 2007.
- [7] Sudarshan S. Chawathe: Beacon Placement for Indoor Localization using Bluetooth, Proc. ITSC 2008, pp.980-985, 2008.
- [8] 浅見宗広, 福井隆司, 葛城友香, 大杉苑子: GMM を用いた Wi-Fi 位置推定手法の実用化に向けた課題解決, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-MBL-68, No.2, pp.1-8, 2013.
- [9] 藪主輔, 榎堀優, 間瀬健二: レイニー分布を用いた Wi-Fi 電波強度に基づく少数標本時位置推定, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-MBL-7, No.23, pp.1-8, 2014.
- [10] 長堀哲, 荒川豊, 田頭茂明, 福田晃: 端末間の機能分散による消費電力平滑化手法の提案, 電子情報通信学会技術研究報告, モバイルマルチメディア通信, Vol.112, No.493, pp.317-321, 2013.
- [11] 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を利用した屋内位置推定手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集, Vol.2015, pp.1024-1030, 2015.
- [12] 松林勝, 花田智, 白石陽: 屋内人流把握のための磁気系列指紋を用いた歩行速度推定手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集, Vol.2016, pp.242-252, 2016.
- [13] 小西勇介, 柴崎亮介: 自律方式におけ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, 2011.
- [14] 翁長謙良, 吉永安俊, 趙廷寧: 身長と歩幅の相関に関する一考察, 学生の歩幅の事例から, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.45, pp149-155, 1998.
- [15] Murray MP, Kory RC, Clarkson BH: Walking patterns in healthy old men, Journal of Gerontology, Vol.24, pp.169-78, 1969
- [16] 新納敏文, 加川幸雄: 鉄骨建造物における残留磁気の実態とその発生過程の検証, 日本建築学会計画系論文集, No.532, pp97-102, 2001