

気圧センサを用いたステップ認識手法

磯村 奎介¹ 梶 克彦²

概要: 本研究では気圧センサを利用したステップの認識を行う手法について提案し、歩数推定実験の結果を提示する。現代人はオフィスワーク等の勤務体系から慢性的な運動不足が問題とされており、日常的な運動量を計測する目的として歩数計や運動量を測定するスマートフォンのアプリケーションが普及している。平地を歩行している場合と坂や階段を歩行している場合では運動量が異なるため、加速度センサを用いてステップを測り気圧センサを用いて歩行者の上下方向に対する移動を測定する。つまり歩数計や運動量を測定するアプリケーションでは加速度センサと気圧センサを併用して運動量の計測を行っている。したがって気圧センサを用いたステップ認識が可能となれば、気圧センサを単独で利用した運動量の測定が期待できる。ステップの認識には歩行時に周期的に変化する気圧センサの値を利用する。センサを手に持ち歩行した場合では手の振りによりセンサの高さが推移して気圧センサ値が周期的に変化し、センサをポケットやケースに納めて歩行した場合は歩行動作によりポケットやケースが変形して内部の気圧値が変動するため気圧値が周期的に変化する。気圧値の極大値、極小値の差はある一定値以上発生するため、閾値を設定し極値の差が閾値以上だった場合にステップとして認識する。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。推定誤差は気圧が5.2%、加速度が2.3%、標準偏差は気圧が2.0歩、加速度が1.2歩となった。

Step Recognition Method Using Atmospheric Pressure Sensor

KEISUKE ISOMURA¹ KATSUHIKO KAJI²

1. はじめに

本研究では気圧センサを用いたステップ認識手法について提案する。歩行者のステップを認識する手法としては加速度センサの利用が一般的であり、歩行者の上下方向に対する移動検出のために気圧センサが使用される。そのため日常的な活動量の計算が可能な活動量計は加速度センサと気圧センサが併用されており、本稿で述べる気圧センサを用いたステップ認識が可能となれば気圧センサ単体で日常的な活動量の計算が期待できる。

オフィスワークの勤務体系や交通機関の発達により日常的な運動不足が問題とされており、運動不足解消のために

日常的な活動量を計測する活動量計や、スマートフォンやウェアラブルデバイスに内蔵されたセンサを用いて活動量を計測するアプリケーションが普及している。運動量は平地を歩行している場合と坂や階段を歩行している場合では異なるため、歩数だけではなく上下方向への移動を推定すればより精度の高い運動量の計測が可能となる。つまり運動量の計測には歩数と高さ推移のデータが必要であるが、歩数推定には加速度センサ、高さ推移の推定には気圧センサの使用が主であり、これらのセンサを併用して行う。つまり本研究で提案する気圧センサを用いたステップ認識が可能となれば加速度センサとの併用が必要なくなり、気圧センサを単独で利用した日常の活動量測定が期待できる。

単一のセンサを使用した運動量計測のメリットとしては省電力性の向上やデバイスの小型化が挙げられる。本研究ではスマー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

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
Aichi Institute of Technology

が増大する。そこでセンサをそれぞれを単一的に使用し運動量計測を行えば消費電力が抑えられると考えられる。また従来の手法では複数のセンサを併用させて運動量の計測を行うため、単一のセンサを用いて運動量計測が行えればデバイスの小型化が期待できる。

また我々は角速度と磁気センサを単独で利用したステップ認識手法を提案しており、角速度と磁気から歩行者の進行方向を推定すればセンサを単独で利用した2次元のPDRが期待できる。本稿で提案する気圧センサからステップを認識する手法をこれらの手法と併用すればPDRの精度向上、また気圧センサから得られる歩行者の高さ情報を併用させれば3次元のPDRが期待できる。

2. 関連研究

気圧と標高は相関関係を持ち、気圧センサを用いて歩行者の行動を認識し屋内の階層検出する手法がある。階層検出は歩行者の屋内位置推定手法 (PDR) において歩行者の高さの推定に必要な情報であり、気圧センサや加速度センサを利用して階層検出を行う。また平面を移動している場合と上下方向を含む移動をしている場合では運動量が異なるため、気圧センサを用いて歩行者の上下方向に対する移動を検出できれば歩行者の運動量測定につながる。

屋内では屋外のようにGPSを用いた位置推定手法の利用が困難である。そのため様々なセンサを用いてPDRが行われており [1][2][3]、加速度から移動距離、角速度から進行方向、気圧から高さを推定し、3次元における歩行者の歩行軌跡を生成する研究が進められている [4]。歩行者の高さ検出を行うため、平面を歩行しているのか、階段や坂を歩行しているのか、エスカレータを利用しているのかといった移動状態の検出が必要である。移動状態検出のため、各移動状態の単位時間当たりにおける気圧変化量の相違を利用し、閾値判定や気圧変化量を利用して移動状態を検出し階層判定を行う研究がある [5][6]。階段を昇降する速度は階段の混雑度によって異なるため加速度を用いて推定した歩行者の歩数を利用し、一定歩数ごとの気圧変化量を利用して移動状態を推定する研究が進められている [7]。

気圧センサは分解能が大きくスパイクノイズが多く含まれているため、階層移動などの低い周期で発生する特徴量の検出にしか使用されなかった。しかし近年ではセンサの性能向上によりステップなどの高い周期で発生する特徴量の検出が可能となった。したがって本研究では身体の様々な位置にセンサを装着して歩行した際に発生する気圧値の変化を検出し、ステップを認識する手法を提案する。

歩行者の移動状態は運動量の測定に必要なものである。平面歩行時と坂や階段歩行時などの上下方向を含む歩行をしている場合では運動量が異なるため、上下方向を含む歩行では平面歩行時に比べカロリー消費量が大きくなる [8]。したがって本研究のステップ認識と気圧センサを用いた歩行者

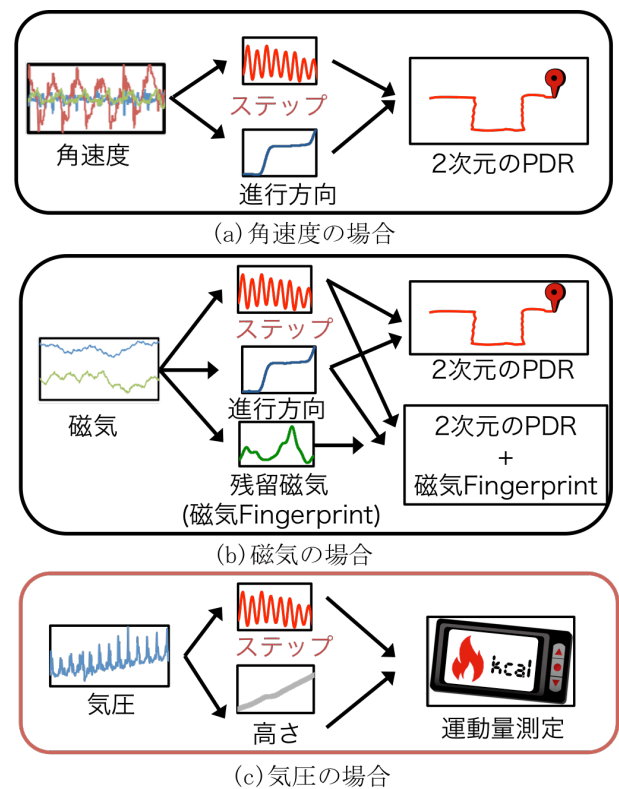


図 1: 単一センサによるステップ認識とその応用

の移動状態推定が可能となれば、気圧センサを単独で利用した運動量測定が期待できる。

3. 加速度以外のセンサを利用したステップ認識手法

ステップ認識手法として加速度センサを用いた手法があり [9]、我々は角速度と磁気センサを単独で用いたステップ認識手法を提案した [10]。人は歩行時に腰が回転する特徴があり [11]、Murray らの研究によれば腰の回転角度は 9 ± 4 度である [12]。そのため閾値を設定し、閾値以上の腰回転みられた場合にステップとして認識する。このように歩行者がステップを行った際に発生する値の変化をステップ成分と定義する。角速度や磁気は角度の算出に使用されるセンサであるため、身体の腰部後方にセンサを装着してステップ成分の認識を行う。また角速度と磁気は歩行者の進行方向推定に使われるセンサであるため、これらのセンサを用いてステップの認識が可能となれば角速度と磁気センサを単独で利用した PDR が期待できる。

角速度を利用した手法では、直進歩行時の腰回転を推定しステップ認識をする手法があり [11]、我々は歩行者が右左折をした際にもステップを認識する手法を提案した。ステップ認識には歩行時に回転する腰の角度をセンサを用いて推定するが、右左折により歩行者の進行方向が変化した際にもセンサの角度が大きく変化してしまいステップ成分の抽出が困難となる。しかしステップ成分の周期と右左折により変化する角度の周期は異なるためデジタルフィルタ

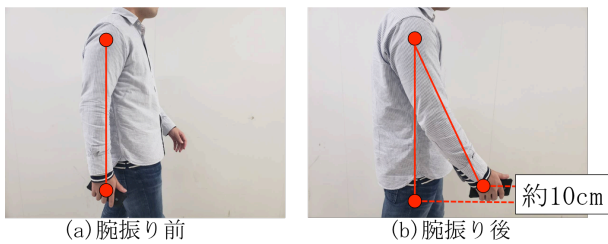


図 2: 腕振りを意識しない歩行

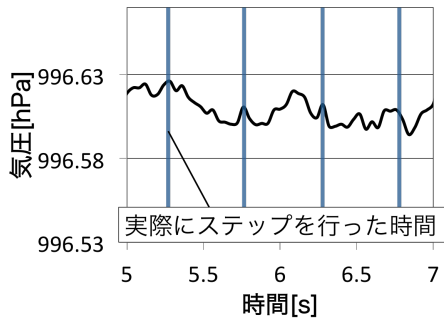


図 3: 腕振りを意識せず歩行した際の気圧値の時系列変化

を用いてステップ成分と進行方向成分の分離を可能とした。したがって図 1 に示すように角速度からステップを認識し、同じく角速度から進行方向を推定すれば角速度センサを単体で利用した二次元の PDR が期待できる。

磁気を利用した手法では、センサの 2 軸の値に三角関数を利用して腰の回転を推定する。右左折歩行時には角速度同様、進行方向変化により磁気値が変化し、屋内を歩行した場合には鉄骨等から発生する残留磁気により磁気値が変化し [13]、推定される角度が変化してステップ成分の抽出が困難となる。しかし右左折により変化する角度の周期と残留磁気により変化する角度の周期は、ステップ成分の周期よりも低いためデジタルフィルタを利用して進行方向成分と残留磁気成分、ステップ成分に分離をする。したがって図 1 に示すように我々の手法を用いて磁気からステップを認識し、磁気から進行方向を推定すれば磁気センサを単体で利用した二次元の PDR が期待できる。また残留磁気を観測して作成した磁気 Fingerprint を利用して屋内の位置推定を行う手法がある [14]。この手法は歩行しながら残留磁気を観測し、その変化系列を利用した位置推定を行う。つまり磁気センサからステップと進行方向を推定して行う二次元の PDR と磁気 Fingerprint による位置推定手法を併用させて、より精度の高い PDR が期待できる。本稿では加速度以外のセンサとして気圧センサを用いたステップ認識手法を提案する。角速度と磁気の場合はステップ認識の応用として位置推定が挙げられるが、図 1 のように本稿ではステップと気圧センサを利用して歩行者の上下方向に対する移動を推定し、気圧センサを単独で利用した歩行者の運動量の測定が期待できる。また磁気センサから推定したステップと進行方向、そして気圧センサから推定した歩行者の高さ情報から三次元の PDR が期待でき、さ

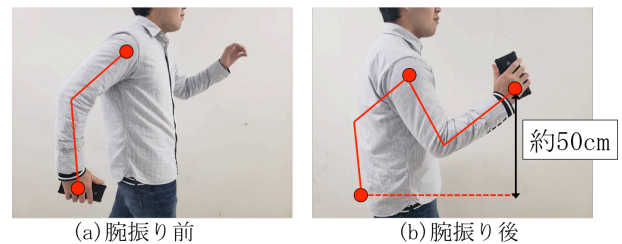


図 4: 腕振りを意識した歩行

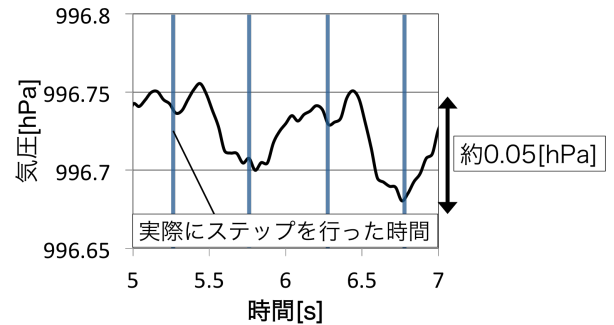


図 5: 腕振りを意識して歩行した際の気圧値の時系列変化

らに磁気 Fingerprint による位置推定手法を併用させてより精度の高い三次元の PDR が期待出来る。

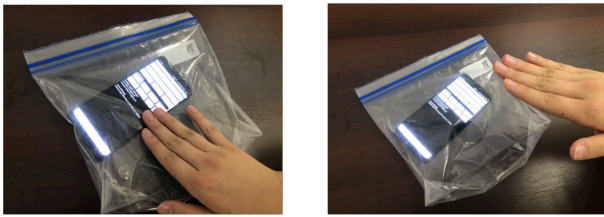
4. 気圧センサを用いたステップ認識

気圧センサを利用したステップ認識手法ではステップの動作によって変化する気圧値を利用する。気圧センサは高度が変化した際に値が変動するセンサであり、平面歩行時には値が変動しないと想定していた。しかしセンサを手に持ち腕振りをした際やポケットに納めて歩行した際、密閉型のケースに入れて身体に装着し歩行した際に気圧値が周期的に変動した。本研究ではこれらのステップの動作によって気圧値が変動し発生する値をステップ成分と定義し、ステップ成分からステップを認識する手法を提案する。

また歩行者が階段や坂等を利用して上下方向に移動した際には気圧値が変動する。この変動する値を歩行者の高さ成分と定義する。階段や坂歩行時には高さ成分により気圧値が変動するため、高さ成分を分離してステップ成分を抽出する必要がある。高さ成分はステップ成分よりも低い周期で発生するため、デジタルフィルタを用いて成分の分離を行う。

4.1 センサを手持ち歩行した際に発生するステップ成分

平面歩行時に高さが推移するセンサ位置として、手やスマートウォッチなど手に近い装着位置を想定した。歩行時には肩を中心に腕を円運動させるため、その高さは体前に出した際に上昇して体に近づくにつれて下降する。そのため手にセンサを持ち歩行した場合には高さの変化により気圧値が周期的に変化しステップ成分が現れると想定した。しかし意識しない限り人はあまり腕を振らず高さが推移しないためステップ成分の検出が困難である。そこで



(a) 手で押す (b) 手を離す

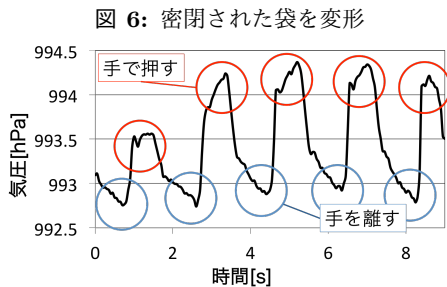


図 7: 図 6 における気圧値の時系列変化



(a) 前方 (b) 後方

図 8: 密閉型ケースにセンサを納め腰に装着

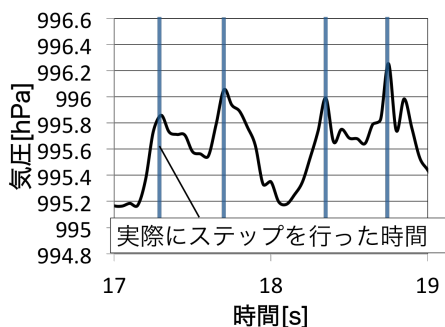


図 9: 図 8 の装着位置で平面歩行した際の気圧値の時系列変化

ウォーキングのように意識して腕振りを行った際にはステップ成分が現れた。ウォーキングのような腕振りを伴う歩行は健康的であるとされており [15], センサを手に持ち歩行した際にステップ成分が現れているかを推定し, 歩行者は腕振りを行い効果的なウォーキングを行っているか否かの認識が期待できる。

センサを手に持ち図 2 のように腕振りを意識せず歩行した際の気圧データを図 3 に表す。また実際にステップを行った時間にラベル付けを行っている。気圧は高度が変化すると値が変化し, 高度が 1m 変化した際に気圧は約 0.1hPa 変化する。腕振りを意識せず歩行した場合には高さの推移が約 10cm しか発生しないため, 気圧は約 0.01hPa しか変化せずセンサノイズに隠れてしまいステップ成分の抽出が困難となる。そこで図 4 のように腕振りを意識して



(a) 手で狭める (b) 手で広げる

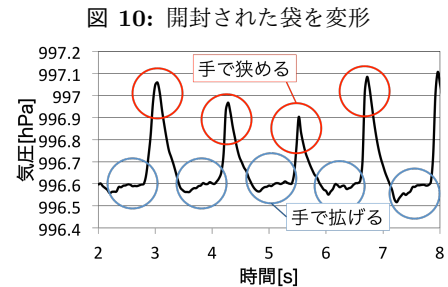


図 11: 図 10 における気圧値の時系列変化



図 12: ポケットに納めたセンサ

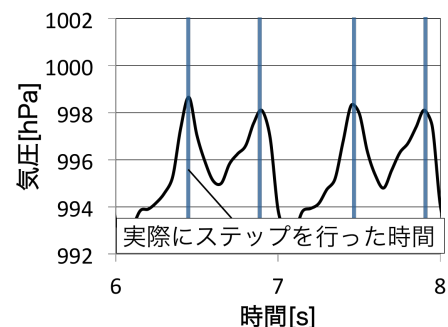


図 13: 図 12 の装着位置で平面歩行した際の気圧値の時系列変化

歩行した際の気圧データを図 5 に表す。図 5 も図 3 同様ラベル付けを行った。ウォーキングのように歩行した際には高さの推移が約 50cm 発生して気圧の変化は 0.05hPa 発生し, 図 4 のように腕振りによる高度の変化に応じた気圧の変化が発生しステップ成分が現れる。したがってウォーキングのような腕振りを伴う歩行をした場合には気圧センサを用いたステップ認識が可能である。

4.2 センサをポケットやケースに納めて歩行した際のステップ成分

気圧センサの値は平面歩行時には 4.1 節で示したセンサを手に持ち腕振りを伴った歩行以外は変動しないと想定していた。しかし服のポケットや身体に装着する密閉型のケースにセンサを納めた場合には気圧の変動がみられた。

これは歩行の動作によりポケットやケースが変形し、内部の気圧が変動したと考えられる。センサを納めたポケットやケースが変形した際に気圧値がどのように変化するか検証するためポリエチレン製の袋にセンサを納め、袋を変形させて気圧値がどのように変化するか検証を行った。

図6のように密閉された袋にセンサを納め、袋を変形させた際の気圧値を図7に表す。このように手で押して袋が圧縮された際に気圧値は上昇し、手を離すと気圧値は下降する。これは密閉型ケースにセンサを納めた場合にも同様の現象が起きる。実際に図8のようにセンサを密閉型のケースに納めて腰部後方に装着し歩行した際の気圧値を図9に示す。図9のデータには実際にステップを行った箇所に正解ラベルを付与している。このようにステップの正解ラベルが付与されている箇所は極大値が発生している。これは片足を出した際、腰に巻いたバンドが引っ張られてケースが収縮し、圧力がかかり気圧値が上昇したと考えられる。そして足を後ろに戻した際には元の形に戻るため極小値を表し、また片足を出した際には極大値が発生する。このようにセンサを密閉型のケースに納めて歩行した際にはステップ成分が発生し、この値を利用してステップの認識を可能とする。

また図10のように開封された袋にセンサを納め、袋を変形させた際の気圧値を図11に表す。開封された袋においても気圧値の変動がみられ、これはズボンのポケットのように開封された箇所にセンサを納めた場合にも同様の現象が起きる。実際に図12のようにセンサをズボンのポケットに納め歩行した際の気圧値を図13に示す。このようにステップの正解ラベルが付与されている箇所は極大値が発生している。これは片足を前に出した際にズボンのポケットは収縮するため気圧値が増大し極値が現れ、足と胴体が一直線に並んだ際にポケットの形は元にもどるため気圧値が減少し極値が現れる。そしてもう片方の足を前に出した際にもポケットが収縮して極大値が現れる。このようにセンサをポケットに納めて歩行した際にもステップ成分が発生し、この値を利用してステップの認識を可能とする。

4.3 坂や階段歩行時におけるステップ成分の抽出

坂や階段を歩行している場合には歩行者の高さ変化により気圧値の値が変化する。歩行者の高さ推移による値の変化を高さ成分と定義した。坂や階段歩行時には高さ成分により気圧値が増減してしまう。そこで高さ成分を除去してステップ成分を抽出する必要があり、デジタルフィルタを利用してステップ成分の抽出を行う。

図14はセンサをケースに納めて腰部後方に装着し階段を歩行した際の気圧値である。このように歩行者が上下方向に移動して気圧値が増大している。そのため図14のデータからステップ成分を抽出する必要があり、そのためにもまず図14のデータから歩行者の高さ成分を抽出する。ス

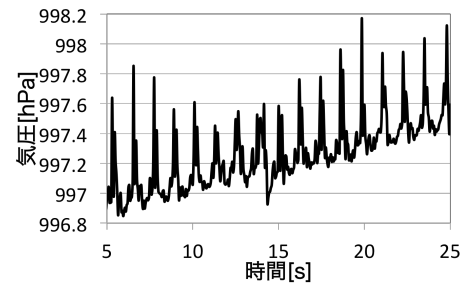


図 14: 階段歩行時における気圧値の時系列変化

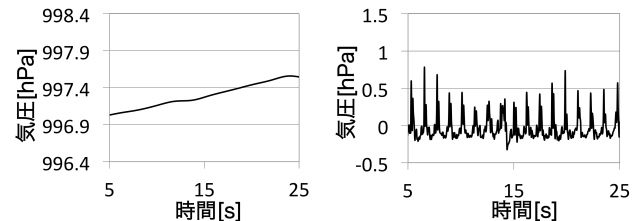


図 15: 図 14 から抽出した高さ成分
図 16: 図 14 から抽出したステップ成分

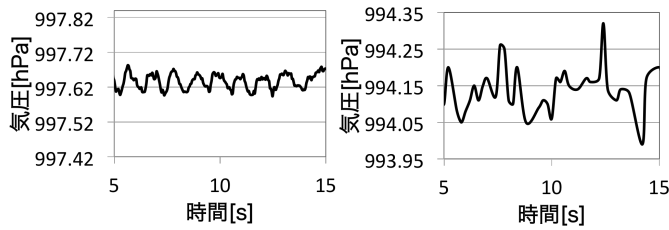
テップ成分は1~2Hzの周期で発生し、高さ成分はステップ成分よりも低い周期で発生するため、遮断周波数1Hzのローパスフィルタを使用し図14のデータから歩行者の高さ成分を抽出する。そして図14のデータから高さ成分である図15のデータを減算させて図16に示すステップ成分の抽出を可能とした。

歩行者が平面を歩行している場合と上下方向の移動を含む歩行をしている場合では運動量が異なるため歩行者の運動量推定には歩数と高さが必要である。したがって図16のデータから抽出したステップ成分から歩数を推定し、高さ成分から高さが推定可能となれば、気圧センサを単体で利用した歩行者の運動量測定が期待できる。

4.4 デバイスの性能差

本稿で述べる気圧センサを用いたステップ認識手法はセンサの性能向上により可能になったと考えられる。本研究で使用したデバイスは2018年にソニー株式会社によって開発されたXperia XZ2だが、2011年にサムスン電子とGoogleによって開発されたGalaxy Nexusと比較すると分解能や精度に大きな差がある。2つのデバイスを比較するため、センサを手を持ち意識的な腕振りを行いながら歩行した際のデータを示す。分解能や精度はステップ推定の際に大きく影響するため、デバイスの性能向上によりステップ認識が可能になったと考えられる。

センサを手を持ち腕振りを意識した歩行を行った際の気圧値を図17に示す。腕振りを意識して歩行を行った場合、高さの推移は約50cm発生する。高さが1m推移した際に気圧値は約0.1hPa変化するため、腕振りを意識して歩行した場合は気圧値が約0.05hPa変化する。Xperia XZ2のデータでは腕振りにより値が周期的に変化し、上限値と下



(a)Xperia XZ2 (b)Galaxy Nexus

図 17: センサを手に持ち意識的な腕振りを行い歩行した際の気圧値の時系列変化

限値の差は約 0.05hPa である。しかし Galaxy Nexus の場合は値が周期的に発生しておらず、上限値と下限値の差は 0.3hPa 発生している。0.3hPa は上下方向に約 3m 移動した際に発生する値であり、腕振り歩行時に変化する高さ約 50cm のため、Galaxy Nexus では腕振りによる高さの変化を認識できていない。また分解能も XperiaXZ2 が 20ms であるのに対し、Galaxy Nexus は 2ms であり、Xperia XZ2 は短い周期に発生する気圧値の変化を検出可能である。これらの理由から本稿で述べる気圧センサを用いたステップ認識手法は気圧センサの性能向上により可能になったものと考えられ、今後気圧センサの性能が向上すればさらに精度の高いステップ認識が期待できる。

4.5 ステップ成分を利用したステップ認識手法

4.1 節や 4.2 節のようにセンサを手に持ち、ウォーキングのように意識的な腕振りをして歩行した場合や、センサをポケットや密閉型のケースに納めて歩行した場合には気圧値が周期的に変化し、ステップ成分が現れる。したがってステップ成分からステップの認識が可能である。ステップ認識にはステップ成分は 2 歩で 1 周期現れるという特徴を利用し、デジタルフィルタを利用してステップ成分の抽出を行う。また同様にデジタルフィルタを適用させてセンサノイズや高さ成分の除去を行う。そしてステップ成分である極値間の差は一定以上の値がみられるため、閾値を設定して極値間の差が閾値以上みられた場合にステップとして推定する。

まず腕振り歩行時に発生するステップ成分について検討する。腕振りは歩行者が 2 歩進む間に 1 往復し、片足を出した際に腕が振られ高度が上昇して気圧値は極小値を表し、もう一方の足を出した際に腕が振り下ろされ高度が下降して気圧値は極大値を表す。つまり腕振り歩行時の気圧値には 1 周期に極大値と極小値が 1 つずつ存在し、2 歩を 1 周期とするステップ成分が発生する。次にセンサをポケットやケースに納めて歩行した場合は、図 18 のように 1 歩あるくごとに極大値が発生し、極小値は発生する値が異なり 2 歩を 1 周期とするステップ成分が発生するが、1 周期に極大値と極小値は 2 個ずつ存在する。これらのステップ成分からステップ認識を同様の処理で行うために、ローパ

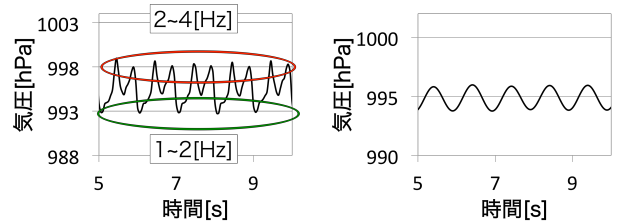


図 18: 歩行時の気圧値にみられる周期の違い
図 19: 図 18 の 2 ~ 4[Hz] 帯を減衰させ平滑化

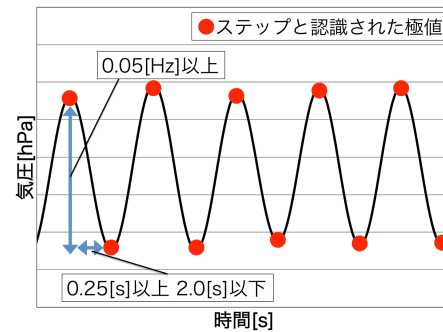


図 20: ステップ認識手法

表 1: 各成分の周波数

成分	周波数
センサノイズ	~100[Hz]
ステップ	1~2[Hz]
高さ	0~[Hz]

スフィルタを用いて平滑化を行う。

図 18 に示すセンサをポケットやケースに納めて歩行した場合には 1 歩ごとに極大値が発生するため、極大値の周期は 2 ~ 4Hz である。しかしステップ成分は 2 歩で 1 周期発生するため、ステップ成分の周期は 1 ~ 2Hz である。したがって遮断周波数を 2Hz としたローパスフィルタを用いて平滑化を行うと極大値が減衰し、図 19 に示すような 1 周期に極大値と極小値が 1 つずつ存在する波形に平滑化される。このようにして腕振り歩行時の気圧値とポケットやケースにセンサを納めて歩行した際の気圧値を同様の波形に統一させてステップ認識を行う。

また表 1 に示すように、歩行時の気圧値にはステップ成分以外にセンサノイズや高さ成分が発生している。センサノイズはステップ成分より高い周期で発生するためローパスフィルタを利用し除去を行う。また歩行者の上下方向の移動により発生する高さ成分はステップ成分よりも低い周期で発生するため、ハイパスフィルタを利用し除去を行う。これらのフィルタを利用してステップ成分の抽出を可能とした。

ステップ推定の際、単に極値を認識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 20 のように閾値を設定し、極値間に閾値以上の変化がみられた場合に歩数として計算する。極値間の差はどの装着位置においても 0.05hPa 以上みられたため、閾値は

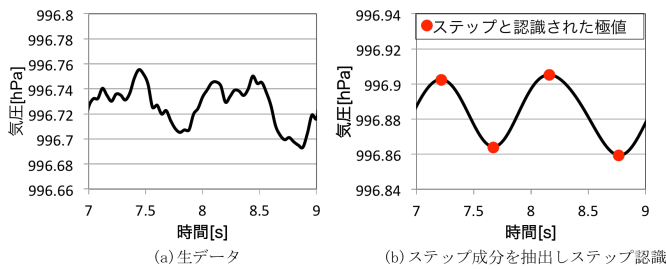


図 21: センサを手に持ち腕振りを意識して歩行した際の気圧値の時系列データからステップ認識

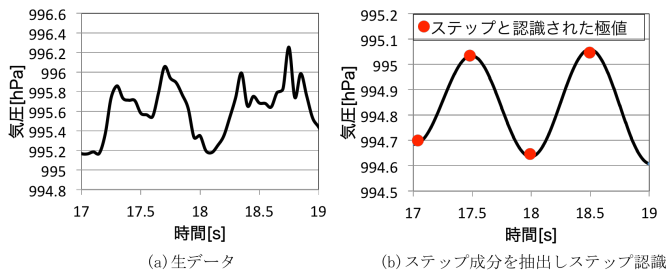


図 22: センサを密閉型ケースに納めて歩行した際の気圧値の時系列データからステップ認識

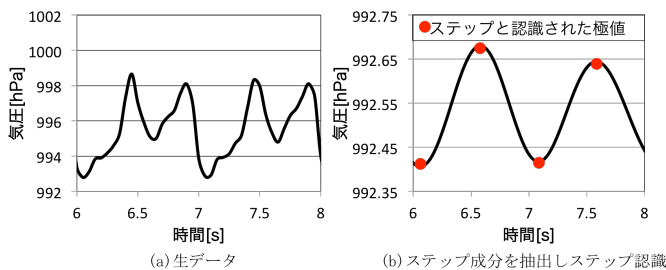


図 23: センサをポケットに納めて歩行した際の気圧値の時系列データからステップ認識

0.05hPa として設定し極大値と極小値の差が 0.05hPa 以上だった場合に歩数として認識する。また静止時にも極値に閾値以上の差が現れ歩数として認識してしまう場合がある。したがって極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 0.25s 以上 2s 以下と設定した。

この手法を利用してステップが認識できるか、節 4.1 で示したセンサを手に持ち意識して腕振りを行った歩行時の気圧値、節 4.2 で示したセンサをズボンのポケットやケースに納めて腰部後方に装着した歩行時の気圧値からステップが認識できるか図 21~23 のように検証を行った。これらのデータは平面を歩行しており高さ成分は含まれていないとする。図に示すように歩行時の気圧値に平滑化を行い 1 周期に極大値と極小値を 1 つずつ存在する波形にし、装着位置を考慮しないステップ認識を可能とした。

5. 歩数推定実験

本稿で提案した気圧センサを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。気圧センサに加え、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気圧センサにおける推定精度を比較する。また歩数計の基準として推定誤差は 3%以内と定められているため [16]、この基準を満たしているか比較を行う。

5.1 実験環境

実験環境として平面を歩行する経路、坂を歩行する経路、階段を歩行する経路の 3 経路を設定した。平面を歩行する経路として地面に傾きのない屋外で直進する経路を設定した。坂を歩行する経路では、坂の途中から歩行開始し坂の途中で歩行を終了する。階段を歩行する経路は途中で踊り場を一つ含む直線階段を歩行し、階段の初めで歩行を開始し、階段の終わりで歩行を終了する。坂と階段を歩行する経路では登りと降りの 2 パターンを設定した。センサ装着位置としてはズボンのポケットに納めた場合、ケースに納めて腰部後方に装着した場合の 2 パターンを設定した。今回は普段通りの歩行からステップを認識できるか検証を行うため、センサを手に持ち歩行した場合は実験環境から外す。

加速度を用いた歩数推定には加速度センサ 3 軸のノルム値を利用する。静止時にはノルム値は重力加速度である 1.0G を表し、歩行時にはノルム値が増減する。そのため閾値として 1.1G 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。またセンサはケースに納めて腰部後方に装着している。

平面を直進する経路、坂を直進する経路、階段を直進する経路の 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気圧センサの推定誤差を表 2、各経路における加速度センサの推定誤差を表 3 に示し、各センサの推定誤差を表 4 に示す。センサ位置ポケットはズボン右足太腿部分のポケットに納めて歩行した場合、ケースはスマートフォンケースに納めて腰部後方に装着した場合を示す。加速度センサを用いた歩数推定誤差は各経路において歩数計の誤差基準である 3%以内となった。気圧センサを用いた歩数推定誤差はポケットやケースの場合において歩数計の誤差基準を 2~3%上回った。

6. 考察

ポケットに納めたセンサからステップを認識する手法では、歩行者の服装によりステップ成分が発生し易い場合とし難い場合があると想定していたが、服装によるバラツキはなくステップの推定ができた。誤差が増大した原因として、静止時の細かな動きをステップとして検出したためである。したがって静止と歩行の認識精度の向上が今後必要だと考えられる。

センサをケースに納めて腰部後方に装着し歩行した場合

表 2: 各経路における気圧センサの推定誤差

歩行経路	センサ位置	誤差 (%)	標準偏差 (歩)
平面直進経路	ポケット	6.5	2.9
	ケース	3.7	1.3
階段直進経路 上り	ポケット	6.2	1.7
	ケース	6.0	1.9
階段直進経路 下り	ポケット	5.2	1.9
	ケース	5.7	1.8
坂直進経路 上り	ポケット	6.3	1.7
	ケース	6.3	1.9
坂直進経路 下り	ポケット	4.0	1.9
	ケース	4.7	1.6

表 3: 各経路における加速度センサの推定誤差

歩行経路	誤差 (%)	標準偏差 (歩)
平面直進経路	1.5	0.7
階段直進経路 上り	2.7	0.6
階段直進経路 下り	2.5	1.5
坂直進経路 上り	2.7	1.3
坂直進経路 下り	2.3	1.0

表 4: 各センサの推定誤差

センサ	誤差 (%)	標準偏差 (歩)
気圧	5.2	2.0
加速度	2.3	1.2

は 40 歩より多く推定された。ケースに納めた場合はポケットに納めた場合と違い服装を考慮する必要がなく、被験者によるバラツキが少なくステップの推定ができた。誤差が増大した原因としてはポケットに納めた場合と同様に静止時の細かな動きをステップとして検出したためである。したがって今後静止と歩行を認識する精度が向上されればステップ認識精度が向上すると考えられる。

各センサの推定誤差として気圧が 5.2%, 加速度が 2.3% となった。歩数計の基準は誤差が 3% であり、加速度はこの基準をクリアできた。気圧は基準を上回る結果となったため、今後さらに精度を向上させる必要がある。

7. おわりに

本稿では気圧センサを利用したステップ認識を目的とし、歩行時に気圧値が変動する装着位置に着目し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精度と比較を行い、推定精度は気圧が 5.2%, 加速度が 2.3% となった。

気圧センサを単独で使用して歩行者の運動量を計測するためには本研究で述べたステップと歩行者の上下方向に対する移動を検出する必要がある。本研究では坂や階段歩行時の気圧値をステップ成分と高さ成分に分離する手法を提案し、高さ成分から歩行者の上下方向に対する移動を検出可能となれば気圧センサを単体で利用した歩行者の活動量

推定が期待できる。また気圧センサの高さ情報を利用し、角速度や磁気センサから得たステップと進行方向情報を併用させ三次元における PDR や、磁気センサから得た残留磁気情報と併用させてより精度の高い PDR が期待できる。

参考文献

- [1] Kamisaka, D., Muramatsu, S., Iwamoto, T., 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., 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., Hiroki, K., Kawaguchi, K.: Indoor Positioning Method Integrating Pedestrian Dead Reckoning with Magnetic Field and Wifi Fingerprints, Proc. 8th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU), pp.169-174, 2015.
- [4] 梶克彦, 河口信夫: 安定歩行区間に基づく歩行軌跡推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp.12-24, 2016.
- [5] 米田圭佑, 望月裕洋, 西尾信彦: 気圧センシング技術を用いた行動認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.1, pp.260-272, 2015.
- [6] 佐川貢一, 伊奈淳, 高橋隆行, 石原正, 猪岡光: 加速度及び大気圧を利用した人間の移動形態の推定, Vol.35, No.2, pp.184-190, 1999.
- [7] 渡邊考文, 上坂大輔, 村松茂樹, 小林亜令, 横山浩: 気圧センサを利用した昇降状態を含む移動状態推定, 電子情報通信学会技術報告, モバイルマルチメディア通信, Vol.111, pp.19-23, 2011.
- [8] 佐川貢一, 大久保憲祐, 佐藤知子: 爪装着型センサによる階段昇降を含む歩行時消費エネルギー推定, 計測自動制御学会論文, Vol.44, No.8, pp.615-621, 2008.
- [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] 磯村奎介, 梶克彦: 角速度と磁気センサを単独で用いたステップ認識手法, 情報処理学会研究報告, 2018-MBL-87(4), pp1-8, 2018.
- [11] 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, pp.11-18, 2017.
- [12] Murray MP, Sepic SB, Gardner GM, Downs WJ: Walking patterns of men with Parkinsonism, American Journal of Physical Medicine, Vol.57, No.8, pp.278-94, 1978.
- [13] 新納敏文, 加川幸雄: 鉄骨構造物における残留磁気の実態とその発生過程の検証, 日本建築学会計系論文集, No.539, pp.97-102, 2001.
- [14] 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, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.1, pp.57-67, 2017.
- [15] 吉村洋輔, 石田弘, 小原謙一, 大坂裕, 伊藤智崇, 吉政かおり, 井上かよ子, 伊勢真樹, 渡邊進: 腕振りの有無が連続歩行での下肢筋活動に及ぼす影響, Vol.39, No.2, pp.Ab0417, 2011.
- [16] 日本工業規格: 歩数計, JIS-S-7200, 1993.