

# ウェアラブルセンサを用いた歩行動作による本人認証法の検討

今野慎介<sup>†1</sup> 中村嘉隆<sup>†2</sup> 白石陽<sup>†2</sup> 高橋修<sup>†2</sup>

**概要:** スマートフォンをはじめとするモバイル端末は、蓄積される情報や搭載されている機能の重大性から、他人に不正利用されることを防ぐために様々な本人認証機能が搭載されている。しかし、これまでの認証方法は認証のために特定の操作を行う必要があり、認証機能が煩わしく感じる場面が日常に多く存在している。これを解決するために、端末に搭載した加速度センサにより日常的に繰り返し行われる歩行動作を計測し、得られた信号により本人認証を行う手法が研究されてきた。この認証法が確立できれば、端末を所持して移動している状態においては、認証に必要な操作を行う必要がなくなるが、十分な認証精度が得られていなかった。本研究では、歩行動作による本人認証精度の向上手法について検討を行う。従来の研究の多くは加速度センサなどの単独のセンサのみで歩行動作を測定し、認証を行っていた。本研究では歩行動作を加速度センサに加えて角速度センサで計測し、各センサのテンプレートと入力信号間の距離を組み合わせて認証に使用することで、精度が向上することを示す。

**キーワード:** 歩行認証, 本人認証, 加速度センサ, 角速度センサ

## 1. はじめに

近年、スマートフォンをはじめとした携帯端末を活用する場面はますます広がっている。それに伴い、携帯端末には数多くの個人情報やビジネスに関わる情報の蓄積、金銭の授受などにかかわる重要な機能などが搭載されるようになっており、他人の不正利用から守るために、セキュリティを高める方法が模索されている。対応の一つとして、標準的な暗証番号やパターン認証だけでなく、指紋認証をはじめとしたバイオメトリクス認証が搭載された機種が存在している。

しかし、このような認証機能を端末上で動作させると、端末を使用する前にセキュリティを解除する操作を行う必要が発生する。この操作を行うことは、外出している最中での端末の使用など、非常に煩わしいと感じる場面が日常において多く存在する。そのため、スマートフォンや携帯電話のロック機能を利用するユーザの割合はそれほど高くなく、ユーザの半分程度であると言われている[1][2]。このように現状のセキュリティ機能は少なからず「煩わしさ」が存在し、それが利用を妨げていると考えられる。端末の本人認証における「煩わしさ」を解決するために、ユーザ負担を小さくすることを目的として、行動的特徴を利用した本人認証方法の研究がおこなわれている。その一例として端末の手や腕の動きに着目したジェスチャ認証[3]が提案されているが、認証時に意識的に操作をする必要があるという問題は解決できない。

本研究では本人認証に使用する行動特徴として、歩行動作に着目する。歩行動作は日常的に数多く行われており、成人男性は1日当たり平均7099歩、成人女性は平均6249歩との報告がある[4]。歩行動作により本人認証が行うこと

により、移動した後に端末を利用する際は認証のための特定の操作を全く行う必要が全く無くなり、認証操作に伴う煩わしさを無くすることができる。スマートフォンに代表される携帯端末には加速度センサや角速度センサといった各種センサが搭載されていることから、これらのセンサを用いて歩行動作を計測し、本人認証を行う方法（以下、歩行認証）について検討を行う。

近年、歩行動作を行動特徴とした本人認証法の1つとして、歩容認証の研究が行われている。この研究ではカメラで撮影した歩行中の動画から歩き方の個人の特徴量を抽出し、本人認証を行う。これらの研究との違いは、個人の歩き方を身に付けたセンサで計測するか、設置されたカメラで計測するかといった点である。カメラで撮影した動画より歩き方の個人の特徴を計測し、人物の区別が可能であるならば、直接身に付けたセンサにおいても歩行動作における個人の特徴を抽出し、本人認証が実現可能と考えられる。

本研究においては、第一に認証に適したセンサ端末の所持位置について検討する。歩行認証を実現する際に、特殊な装着具を使用して端末を所持するのではなく、移動時に通常保持する方法で認証可能であることが望ましい。先行研究での検討事例が多い腰部と、本研究で採用するズボン前ポケットの位置を想定した大腿上部にセンサを取り付けて歩行動作を計測し、本研究で導入する信号間距離計算法により、大腿上部にセンサを保持した状態であっても良好な精度で認証が可能であることを示す。

第二に、脚部における歩行認証について、精度を高める手法の検討を行う。先行研究の多くは加速度センサのみを歩行動作の計測に使用していた。しかしながら、最近のスマートフォンは角速度センサを標準的に搭載している機種が多く存在する。本研究では加速度センサの計測信号だけでなく、角速度センサにより計測した信号を活用して個人認証を行うことにより、加速度センサ単体で評価するよりも認証精度が高まることを示す。

<sup>†1</sup> 函館工業高等専門学校  
National Institute of Technology, Hakodate Collage

<sup>†2</sup> 公立はこだて未来大学システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

## 2. 関連研究

### 2.1 端末の所持位置についての検討

歩行動作を所持したセンサにより計測し、個人認証を行う研究は従来から行われてきた。歩行認証のこれまでの研究では、加速度センサの取り付け位置は腰、足首、臀部など様々な位置であった。それらの研究においては、認証精度を高める信号の照手法法についての検討に主眼が置かれており、センサの所持位置については論じることはあまり行われてこなかった。表1に先行研究で行った測定部位及び、測定データのサマリーを示す。

実用化することを想定した場合は、ホルスター型スマートフォンケースなどといった特別な道具を使用せずに個人認証を行えることが望ましい。スマートフォンの持ち歩き方の調査では、「服のポケットに入れる」が5割を占め[5]、携帯電話の所持位置は服のポケットの中でも「スカート・ズボンの前ポケット」に所持する割合が最も高い[6]との調査結果がある。これらの調査結果より、脚部にある前ポケットでの認証がユーザにとって受け入れやすい認証方法であると考えられる。本研究では、日常生活において端末を所持する機会が多いと考えられるズボン前ポケットで歩行認証を実現することを目指す。

### 2.2 異種センサを統合した認証

歩行認証において、これまで加速度信号をもとに認証を行う研究は、多数行われてきた。手法としては、信号間の距離にもとづいてマッチングを行う手法、周波数領域においてマッチングを行う手法、信号から何らかの特徴量を求めて認証を行う手法による手法などが存在する。Alistら[7]は相互相関関数や周波数領域、ヒストグラム、尖度・歪度などの手法を用いて本人認証を試みている。また、Gafurovらは様々な部位の加速度で歩行認証を試み、ズボンポケットにおいては差の絶対値や、尖度や歪度などをもとに本人認証を行っている[8][9][10]。Gracianらは、加速度信号から歩行の特性に基づいた特徴量を提案し、個人認証を行った[12]。また、加速度計ではなく角速度計を用いた歩行認証に関する研究も存在する。Soumikらは各関節に装着した8個のセンサより信号を計測し、ニューラルネットワークなどを使用して本人認証を行っている[13]。これらの研究に共通していることは、認証に用いる特徴量は単独のセンサ由来のものであり、脚部にセンサを保持した研究においては加速度と角速度、両方の信号を利用した認証を行っているものは存在していない。また、脚部に保持したセンサによる歩行認証[10]においては、脚部にセンサを保持する際に計測される加速度信号の特性については考慮しておらず、どの部位においても普遍的に適用できる信号間距離を用いた認証方法となっている。しかしながら、脚部加速度において歩行認証を実現する際は、その特性を十分に考慮する必要がある。

表1 歩行認証における先行研究の概要

研究	被験者数	センサ保持部位	センサ
Alist et al.[7]	36	ベルト	加速度
Gafurov et al.[8]	22	臀部	加速度
Gafurov et al.[9]	21	足首	加速度
Gafurov et al.[10]	50	ズボンポケット	加速度
Rong et al.[11]	21	腰	加速度
Gracian et al.[12]	11	ベルト	加速度
Soumik et al.[13]	30	関節 8 か所	角速度

本研究では歩行認証に加速度センサ及び角速度センサから得られた信号間の距離を統合すること。さらに、認証を行う際のセンサの装着部位である脚部の特性に合わせた本人認証法を提案・適用することで認証精度の向上を行う。

## 3. 提案手法

本研究で提案する認証システムは加速度信号と、角速度信号を併用して認証するものである。歩行時は類似の信号が繰り返し観測されることから、本人のテンプレート信号と入力信号との間で距離を算出し、それらを統合することで認証を行う。本研究で提案する認証システムのシステム構成を図1に示す。まず、認証を受理するか棄却するかの識別器は、あらかじめDBに登録された複数の人物の歩行信号をもとに学習を行う。次に、入力されてきた歩行信号とDBに登録された信号との間で信号間距離を求め、その距離をもとに前述の識別器が認証を受理するか、拒否するかの判断を行う。

本研究では認証に用いる識別器をユーザごとに作成せず、ユーザ共通の識別器とすることが特徴である。これは精度の高い識別器を作成するためには、認証する人物と歩行動作の特徴が類似している人物の信号を、拒否すべき信号として学習する必要がある。しかし、人物ごとにそのような信号の収集は歩行認証において困難と予測される。そこで、本研究で本人認証に使用する識別器は、テンプレート信号と入力信号の距離をもとに本人の入力であるか、他人の入力であるのかとだけ判断する2クラスの識別器とする。距離による判断にすることで、判定から個人性が消え、

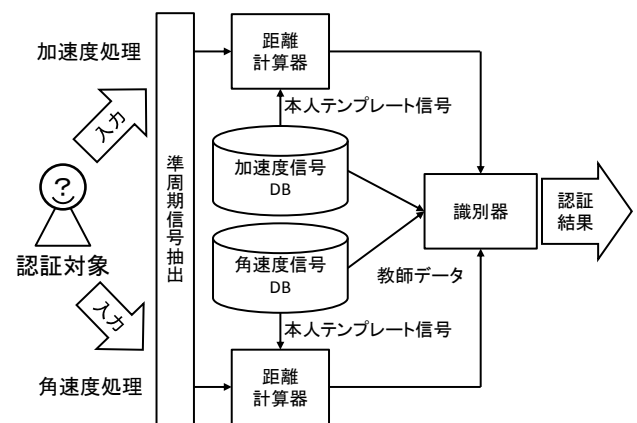


図1 提案する認証方法の流れ

識別器が他人と判断するための学習に使用するデータは、DB に登録されている人物の何れかと似ている他人であるか、DB に既に登録されている類似の動作をする他の人物であっても良いと考える。その結果、学習に必要な歩行動作の収集が容易になるメリットが存在する。なお、スマートフォンは複数人で共有することは少ない。そのため、その端末で認証したいユーザは既知のものとし、DBの中から、誰のテンプレートを選出するかという問題は、特に考慮する必要が無いものとする。

次に、歩行認証に必要な入力信号の長さについて検討する。歩行認証に用いる入力信号の長さを考えた場合、認証するために長い時間歩行する必要があると精度の向上は期待できるが、実際の使用を考えた場合に不便さが残る。ズボンポケットに保持した場合、端末はどちらかの足のポケットに保持することになる。従ってセンサは、端末を保持している脚を振る動作によって生じる信号、両脚が接地している期間の信号、端末を保持していない反対側の脚を振る動作によって生じる信号を観測することになる。いずれの期間の信号にも個人差が存在するという仮説のもと、認証に用いる信号は2歩を1周期の信号として認証に用いる方式を採用することとした。本研究では各種信号を腰部と脚部にセンサを取り付けて測定し、部位の違いによる認証精度の検討を行った。本研究では測定において、全て被験者の左脚部と左腰部にセンサの取り付け位置と各軸の方向を図2に示す。脚部においてセンサは大腿部正面にx軸は直立時に鉛直下向きに、y軸は胴体側方に、z軸は大腿部後方とした。腰部においてx軸は直立時に鉛直下向きに、y軸は体の後方に、z軸は胴体の側方外側とした。歩行は、地面に足が接地している立脚期と、地面から足が離れている遊脚期の繰り返しである。腰部付近の重心位置で加速度を測定した場合、上下方向の運動について、鉛直上向きの加速度が最大となるのは遊脚期が終わり、足が地面に接地する両脚支持期となることが知られている[14]。先行研究においても、鉛直上向き方向の加速度極大値をもとに歩行を準周期信号に分離する手法がとられているものが多い。本研究もこれに習い、腰部信号から2歩1分の区間を準周期信号として抽出した。

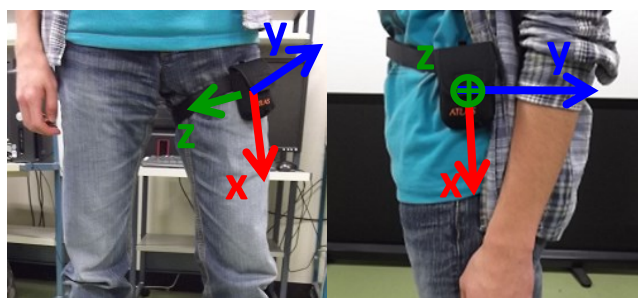


図2 センサの取り付け位置と軸の方向

しかし、脚部にセンサがある場合は、センサが脚部と一体となって動作することから、地面に対して上下方向の加速度成分のみを検出することは難しい。そこで本研究では歩行加速度の周期性を利用して2歩分の信号を検出し、分離することで、1周期の信号抽出を実現した。本研究で測定した脚部における、ある被験者のx軸の加速度を図3に示す。各被験者の加速度信号を観察したところ、加速度x軸において、図3に印をつけたように、+方向（静止時に鉛直下向き）の方が対応する極大値が明瞭に確認できることが観察された。そこで、まずは分離の始点となる極大値を決め、これを1周期ごとに分離する処理を行うための処理開始点とした。これは歩行を開始してから一定時間内に存在する振幅最大値とした。次に、その最大値から一定時間の範囲にある複数の極大値を次の周期の始点候補として、全て記録を行った。候補とした各極大値について、付近の信号を切り出したベクトルを作成し、始点とした最大値付近の信号を抽出したベクトルとの間で、相互相関関数による類似性の比較を行い、前の周期の始点と対応する次の周期の始点となる極大値を求めて、2歩分の準周期信号に分離した。これ以降の信号開始についても、同様に一定範囲内に存在する極大値を候補として検出し、類似性を比較することで周期の分離時間をもとめている。この分離時間と同時刻で他の軸の加速度や角速度も分離を行い、周期信号を得た。

本研究では本人認証を行う際に、加速度信号と角速度信号を併用して認証を行う。歩行認証のような行動特徴を用いて認証を行う場合において問題となるのは、2歩1周期として取得した信号は、完全な周期性をもった信号として測定されるのではなく、変動を持った準周期的な信号である点である。同一人物であっても、周期や対応する各時間における振幅値に違いがあるため、認証を行う際に如何に個人の特徴を残したまま周期や振幅を認証のためのテンプレートと入力信号の間で合わせて、本人信号間の距離を小さくすることが問題となる。本研究では次に示す方法により解決を試みた。

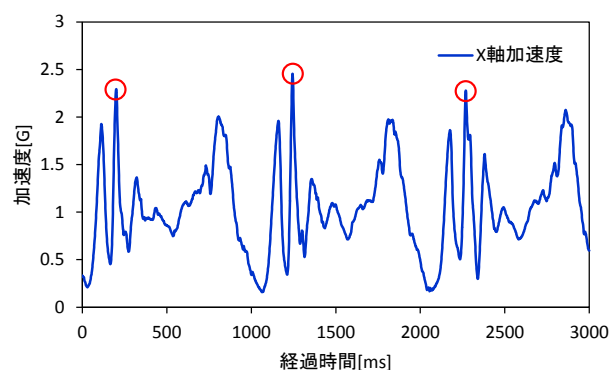


図3 脚部 x 軸加速度

### 3.1 周期の正規化

周期について、これまでの研究では固定長のウィンドウで信号を取り出す手法や、信号長の正規化によりテンプレート信号の周期と入力信号の周期を合わせる手法が行われてきた。本研究では周期を正規化するのではなく、音声認識などの分野で広く使用されている Dynamic Time Warping (以下、DTW) を用いて異なる周期の信号同士の対応付けを行い、信号間の距離を算出する。DTW は異なる信号間の距離を最小化するように信号長を調整する特性があり、線形な信号長の正規化では合わせることができないマッチングのずれを解決することが可能となる。長さ  $n$  の信号  $\mathbf{X} = (x_i | i = 1, 2, \dots, n)$  と長さ  $m$  の信号  $\mathbf{Y} = \{y_j | j = 1, 2, \dots, m\}$  の DTW による信号距離  $D(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$  は以下で定義される。

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = f(m, n)$$

$$f(i, j) = \min \begin{cases} f(i-1, j-1) + d(x_i, y_j) \\ f(i, j-1) + d(x_i, y_j) + GP \\ f(i-1, j) + d(x_i, y_j) + GP \end{cases} \quad (1)$$

なお、 $GP$  は非線形に信号を伸長してマッチングを行った場合のギャップペナルティである。また、 $d(x_i, y_j)$  は、マッチングさせた 2 つの信号の距離を示し、後述する信号種別に応じた種々の距離計算法を適用することで求める。

DTW において、歩行の周期が長いユーザである場合、短いユーザと比較すると、DTW 距離が大きくなることが考えられる。ユーザの違いによりマッチングにおける信号距離に大きな差が生じてしまうと、信号間距離により判断するユーザ共通識別器の学習に悪影響を与える可能性がある。そこで、テンプレート信号と入力信号の最終的な距離  $D(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$  をテンプレート信号と入力信号の信号長の和で割ることで、1 サンプルあたりの距離に正規化を行い、ユーザごとの歩行周期の違いが、本研究で使用するユーザ共通の識別器の学習に与える影響を排除するように試みた。

### 3.2 加速度信号の距離算出法

本研究で採用した加速度信号の正規化手法について述べる。脚部動作による本人認証を行うためには、脚部の運動特性を考慮した手法を検討することが重要と考えられる。

歩行は脚を振る遊脚期と足を接地した状態である立脚期の繰り返しである。これを単純な物理モデルに置き換えるため、遊脚期は股関節を支点として脚部を振る運動を行っていると考え、図 4 に示す股関節を中心とした回転運動と捉えることができる。 $r = |\mathbf{r}|$  一定とする回転運動の物理式にあてはめると、脚部センサの  $x$  軸方向で観測される加速度は以下の式となる。

$$a_r = r\omega^2 \quad (2)$$

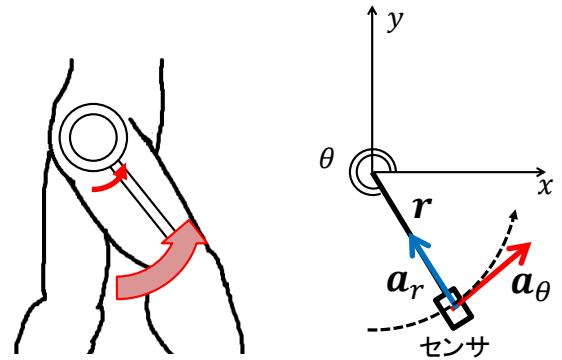


図 3 大腿部動作の回転運動モデル

同様にセンサの  $z$  軸方向で観測される加速度は、(3)式で示される式となる。

$$a_\theta = r \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

これらの式において  $r$  は回転の中心である股関節からの距離であり、ユーザが全く同じ動作で歩行をしている場合においても、股関節からの距離によってセンサで測定される加速度が異なることを示している。同様に、側方方向で検出される加速度についても、股関節を固定点とした円錐振り子と仮定すると、センサ  $y$  軸方向に検出される加速度は回転の中心方向に向かう加速度と見なすことができる。回転の半径は大腿部と鉛直下向きのなす角度を  $\varphi$  とすると、その回転半径  $r' = r \sin \varphi$  となる。つまり、いずれの軸においても、測定される加速度は股関節からの距離に比例することを示している。このことより、ユーザが全く同じ動作をしていても、股関節からのセンサの保持距離が異なれば、マッチングをした際に信号間距離は 0 にならない。従って加速度を何らかの方法で正規化しない信号距離算出法は、センサの保持位置の変化に対応できないと考えられる。

また、実際は同一人物の歩行動作であっても、歩行測定信号の準周期性が示すように、その人物の固有の動作に、固有の動作からの「ずれ」を加えた結果が測定されると考えられる。この「ずれ」は同一周期の信号において一様に加算されるものではなく、時間ごとに増減する値であると本研究では仮定する。従って、その周期における振幅最大値を正規化に用いるような振幅の正規化手法は、各時刻における「ずれ」が一樣の割合で加算されると仮定して正規化するものであり、その人物の本来の信号に正規化することはできないと考えられる。また、1 つの周期の各軸における振幅最大値は、同時刻に発生しないことから、このような正規化手法は 3 軸に対して、別々の比率で正規化を行うことになり、同時刻における 3 軸の加速度がそれぞれ異なった比率で正規化されることになる。結果として、正規化された各軸の加速度を合成すると、その方向は正規化前

から変化し、元のユーザの動作を保存することができないと考えることができる。これらのことから、本研究では正規化後も元の動作を保存するために、加速度の比率を保ったまま正規化をすることが重要であると考えた。本研究では、この「ずれ」は加速度の合成方向を保ったまま生じると仮定し、各時刻における3軸加速度の成分をベクトルとして捉え、加速度の方向を評価することで信号間距離を求める手法[15]を採用する。具体的には、時刻*i*における3軸テンプレート信号ベクトル $\mathbf{a}_t(i)$ と時刻*j*における入力信号ベクトルを $\mathbf{a}_{in}(j)$ とすると、以下の式により3軸加速度の信号距離計算を行う。

$$d(\mathbf{a}_t(i), \mathbf{a}_{in}(j)) = \arccos \frac{\langle \mathbf{a}_t(i), \mathbf{a}_{in}(j) \rangle}{\|\mathbf{a}_t(i)\| \|\mathbf{a}_{in}(j)\|} \quad (3)$$

合成した加速度の角度差を評価することで、ある時刻における入力信号の加速度の大きさに変動が生じてても、3軸の比率が保たれた変動であれば、その人物における3軸加速度がなす方向は変化しないため、信号間の距離は0となる。提案手法を用いることにより、同時刻における3軸の加速度の比率を維持したまま正規化をした効果を得られる。また、回転運動の式より、センサで測定される加速度は、股関節からの距離に比例することから、振幅の大きさを距離として使用しないこの手法は、センサの取り付け位置の違いに対応することが可能と考えられる。

なお、テンプレート信号と入力信号の各サンプルの対応づけを誤ることにより、角度差の評価であっても計算される距離が大きくなること考えられるが、信号長を正規化するのではなく、DTWを適用することにより信号ベクトルの各要素の最適な対応付けが可能となり、この問題は解決できる。この角度差による信号間距離算出法の効果を確認するため、後述の角速度信号の距離計算で用いる正規化によるユークリッド距離計算法についても加速度信号に適用して、認証精度を求めた。

### 3.3 角速度信号の距離算出法

角速度は、加速度信号とは異なり、回転の中心からのセンサの取り付け距離によって測定される値が増減するという問題は発生しない。従って、軸ごとに信号を評価することが可能であるとした。信号の振幅を正規化せずに距離計算する方法に加え、前処理として以下の3つの方法で各周期における振幅を正規化した。

- 1) 振幅絶対値最大値 (以下, MAX)
- 2) 振幅の最大値と最小値の差 (以下, PP)
- 3) 二乗平均平方根 (以下, RMS)

角速度の信号間距離はユークリッド距離を採用した

### 3.4 信号間距離の統合

本研究では、脚部における歩行認証の精度を高める手法として、加速度及び角速度センサで測定された信号間距離

を統合して認証を行うマルチセンサ認証を採用する。統合する手法として、距離または類似度を特徴ベクトルとして捉え、あらかじめ学習により求めた特徴空間上の識別関数をもとに認証を行う手法が様々提案されている。本研究ではサポートベクターマシンによるスコア統合手法[16]を採用する。DTWにより種々のセンサから得たテンプレート信号と入力信号間の距離を求め、各種距離に対してスケールリングを行った後に、本人であるか他人であるかを判断するサポートベクターマシン (以下, SVM) に入力する。その出力に閾値を設定することで各種信号間距離を統合した本人認証法を実現する。

## 4. 実験

本章では、提案した信号間距離計算法を使用することで、先行研究事例の多い腰部だけでなく、脚部においても十分に歩行認証であること。マルチセンサ認証をおこなうために有効な信号距離計算法を検証するために、はじめに単独の信号間距離による認証精度の検証を行う。

次に、前の実験で高い認証精度であった距離を統合したマルチセンサ認証を行い、認証精度が向上することを示す。

### 4.1 歩行データの計測

歩行時のデータは、同一被験者において、左脚大腿上部正面及び左腰部の2箇所にセンサを保持させた状態で、3軸加速度及び3軸角速度信号を計測した。測定条件の詳細を表2に示す。被験者のポケットにセンサを直接保持させた場合、ポケットの形状の違いで、認証精度が向上してしまうことが懸念される。そこで、センサを小型のポーチに入れ、伸縮するベルトで各部位に固定し、ポケット形状の差を排除することとした。

日常における歩行信号を計測するため、被験者自身が普段歩いている普通と思われる速度で歩く様に指示をしてから計測を行った。被験者にはメトロノームや時計などで、歩行のタイミングや速度を通知することは行っていない。歩行するコースについては屋内の平坦かつ、ほぼ直線状の廊下とした。また、測定は各被験者の各部位につき1回である。歩きはじめや、停止直前の歩行においては歩行動作が通常とは異なると考えられるため、信号にノイズが多く含まれる可能性がある。そこで本研究においては、歩行動作が安定している状態だけを認証に用いるため、この部分の信号については認証の精度評価から除外した。

表2 測定条件

センサ保持位置	大腿正面上部/腰部左側面
計測時間	約70秒
被験者数	15人
年齢	20~32歳
使用センサ	TSND121
サンプリング周波数	1000Hz

#### 4.2 部位および、信号の違いによる認証精度の検証

脚部においても歩行認証が可能であること、マルチセンサ認証において有効な距離計算方法を確認すること、以上を検証するため、各距離計算方法を単独で適用した場合の認証精度を検証した。被験者数は15人である。被験者1人あたり、各センサの軸ごとに準周期信号30周期を抽出した。そのうちの1周期をテンプレート信号とし、本人の残りの29周期と他人の全ての信号は入力信号として扱う。テンプレート信号及び被験者を入れ替えることで、全ての準周期信号の組み合わせにおける、本人間及び、他人間信号距離を算出した。求めた距離に対して閾値を設定し、閾値以下であれば本人であるとして認証を受理し、閾値より大きい場合は他人であるとして認証を拒否することとした。

認証精度の評価については、バイオメトリクス認証の精度を評価する一般的な指標である等価エラー率 (Equal Error Rate, 以下, EER) により評価を行った。一例として、図4に脚部加速度の信号間距離を提案した3軸加速度角度差により求め、False Reject Rate (以下, FRR) と False Accept Rate (以下, FAR) を記録したグラフを示す。この図の横軸は信号間距離であり、縦軸はその信号間距離を認証のための閾値とした場合に集団に占める割合である。

本研究における FRR は、同一人物間でのテンプレート信号と入力信号の距離を算出し、その距離が閾値よりも大きくなる割合である。つまり入力信号が本人のものであるにもかかわらず、他人であるとして拒否する割合を計算したものとなる。FAR は、テンプレートと入力信号で異なる人物である場合の距離を算出し、その距離が閾値以下である入力信号の割合である。入力信号が他人であるにもかかわらず、誤って本人であるとして本人認証を受け入れてしまう割合を計算したものとなる。閾値を増減させることで、各閾値における FAR と FRR を求めることができる。この FRR と FAR が等しい時の割合が EER であり、バイオメトリクス認証における認識精度を表す指標の1つとされている。図4のグラフにおける FRR と FAR の交点が EER であり、この値が小さいほど優れた認証法であることを示す。

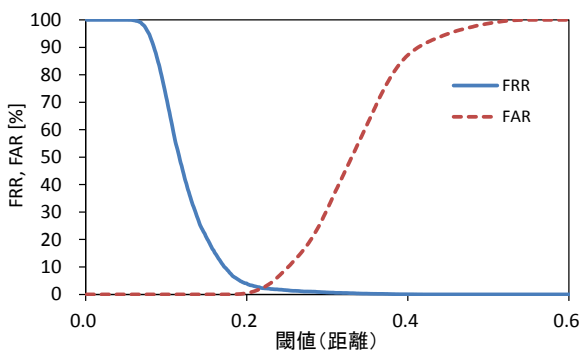


図4 3軸加速度角度差 ( $GP = \pi/4$ ) における FRR と FAR

脚部測定信号において、距離計算法及び正規化手法を適用し求めた EER をまとめたものを表3に、腰部についてまとめたものを表4に示す。 $A_x, A_y, A_z$  はセンサの各軸の加速度信号による認証を示し、 $R_x, R_y, R_z$  はセンサの各軸を中心として測定した角速度信号による認証を示す。また、脚部 EER については、本研究で導入した脚部距離計算方法による効果と比較するために、脚部による歩行認証で最も精度の高い EER を報告した Gafurov らの距離絶対値による手法[10]を適用した結果についても算出した。これは、テンプレート信号の各時刻における加速度振幅値を、6個の準周期信号の同時刻での振幅中央値とする手法である。

加速度信号においては、振幅値の正規化手法とユークリッド距離を併用した場合、部位による大きな認証精度の差は存在しなかった。また、脚部認証精度向上のために提案した3軸角度差による認証では、EERは2.3%と最も優れた精度を示し、従来手法の4.0%よりも良い結果が得られた。3軸加速度角度差による距離計算法は脚部認証精度を改善する効果を示し、腰部での認証と比較しても、優れた精度で認証可能であることが確認された。一方、角速度信号間距離による EER は、加速度と比べると精度で劣る結果となった。

表3 脚部における EER[%]

GP	測定値	正規化なし	MAX	PP	RMS
あり	$A_x$	7.8	13.7	17.9	5.9
	$A_y$	4.9	8.6	7.4	3.9
なし	$A_z$	6.8	9.5	7.5	4.0
	3軸角度差	2.3			
あり	$R_x$	10.2	5.2	4.4	6.1
	$R_y$	11.9	7.7	6.2	6.9
なし	$R_z$	9.4	7.0	5.2	8.5
	3軸角度差	2.6			
あり	$A_x$	12.6	16.6	19.5	11.1
	$A_y$	6.8	9.8	8.7	6.7
なし	$A_z$	8.9	10.2	8.8	5.8
	3軸角度差	2.6			
あり	$R_x$	12.8	9.7	9.0	10.4
	$R_y$	13.5	9.9	8.7	8.4
なし	$R_z$	11.3	11.4	9.2	11.4
	Gafurov[10]	4.0			

表4 腰部における EER[%]

GP	測定値	正規化なし	MAX	PP	RMS
あり	$A_x$	7.1	11.3	16.0	6.4
	$A_y$	5.3	7.3	4.5	3.5
なし	$A_z$	3.8	4.3	7.6	5.7
	3軸角度差	2.9			
あり	$R_x$	13.4	9.5	7.9	7.0
	$R_y$	8.8	8.5	7.5	6.4
なし	$R_z$	10.0	6.3	5.3	4.0
	3軸角度差	5.1			
あり	$A_x$	12.1	17.3	22.5	12.1
	$A_y$	6.7	9.0	6.9	6.3
なし	$A_z$	6.6	7.7	7.4	9.2
	3軸角度差	5.1			
あり	$R_x$	13.6	12.9	12.2	12.1
	$R_y$	11.1	11.6	11.0	10.0
なし	$R_z$	11.1	10.2	9.2	9.1

### 4.3 マルチセンサ認証における認証精度評価

4.2 項において、提案した手法が脚部での歩行認証において良好に作用することが確かめられたため、これらを用いて更なる精度向上法を検討する。

これまでの脚部歩行認証では、加速度センサで測定した信号をもとに本人認証が行われていた。本研究では脚部における認証精度を高める手法として、加速度センサ、角速度センサの計測信号を併用して認証を行う「マルチセンサ認証」を行い、その有効性を検証する。提案する認証システムは図 1 に示した通りである。

本研究で識別器の評価は交差検定により行うこととした。4.2 項と同じ被験者、同じ準周期信号を用いて実験を実施する。各被験者の準周期信号の数は 30 周期、交差検定の分割数は 6 とする。各被験者の 25 周期の準信号間を事前に DB に登録された信号（以下、リファレンス信号）とし、本人間、他人間、全ての組み合わせにおける信号間距離を求める。これを識別器の学習データとして使用し、ユーザ共通の識別器を生成した。

次に各被験者 5 周期の信号を入力信号とし、入力と同一人物のリファレンス信号の中から、距離計算のために使用するテンプレートの信号を 1 つ選出した。選出方法についてはルールを設けることで、認証精度が高まる可能性が考えられるが、本研究では 1 人につき 25 周期のリファレンス信号全てがテンプレート信号として選出された場合について EER を求めることとした。テンプレート信号と入力信号間の距離を算出し、それを特徴ベクトルとして識別関数の出力を求めた。識別関数を求める手法としては様々な手法が研究されているが、本研究では SVM にカーネル法を導入し、識別関数を求めた。使用したカーネル関数は Gaussian カーネルである。交差検定を行うため、入力信号を入れ替えて EER を求め、その平均値を計算した。

表 5 に本研究で提案したマルチセンサ認証における EER を示す。加速度信号の距離については三軸加速度角度差を、角速度については検討した手法のなかで最も良好な結果を示した PP で正規化した信号同士のユークリッド距離を組み合わせた。結果として 3 軸加速度の角度差による手法と全ての角速度距離を組み合わせた手法が最も精度が高いとの結果を示した。

#### 4.4 なりすまし攻撃に対する安全性の評価

4.3 項での EER は、他人として入力した信号も DB に登録

表 5 脚部マルチセンサ認証における EER

	EER[%]
加速度角度差 + $R_x$	1.6
加速度角度差 + $R_y$	2.9
加速度角度差 + $R_z$	2.0
加速度角度差 + $R_x + R_z$	1.0
加速度角度差 + $R_x + R_y + R_z$	0.8

したユーザのものであり、事前に登録したユーザを正しく認証できているかを検証しているに過ぎない。しかし、バイOMETRICS 認証システムに対する代表的な脅威の一つとして、本人のふりをしてシステムの突破を試みる人物が自分や協力者の生体情報を入力する zero-effort (ゼロ・エフォート) 攻撃が存在する。提案したマルチセンサ認証は、事前に信号を登録した人物以外に対しても、認証精度を保てるか検討する必要がある。そこで、識別器の学習に使用した 15 人の被験者の他に、なりすまし者として 15 人の被験者から歩行時の信号を計測した。測方法については、4.1 項と同じ計測方法である。被験者の合計人数は 30 人となる。各被験者 30 周期の信号を準周期信号とし、その精度を求めた。認証手順や精度評価法は 4.3 項と同じであり、1 つのテンプレート信号に対して、本人の入力信号が 5 周期、他人かつ登録者の信号が 70 周期 (5 周期×14 人)、他人かつ未登録者の信号が 450 周期 (30 周期×15 人) となる。この実験における提案方法の有効性を比較するために、前述の Gafurov らの手法[10]による EER を求めた。結果を表 6 に示す。距離の組み合わせは、加速度角度差と x 軸及び z 軸の角速度を併用した手法が最も高い認証精度を示す結果となった。また、4.3 項のなりすまし者がいない実験との間で EER の増加幅を比較しても、この距離の組み合わせが一番小さなものとなった。一方、4.3 項で最高精度であった加速度角度差と全ての軸の角速度を用いた手法は、他の認証手法と比べて EER が大きく損なわれる結果となった。

これらの結果より、適切な信号を統合することで、本研究で提案するマルチセンサ認証は、事前に DB へ登録したユーザ以外が認証の突破を試みた場合についても、有効に機能することが確認できた。

表 6 なりすまし攻撃に対する脚部 EER

	EER[%]
加速度角度差 + $R_x + R_z$	1.4
加速度角度差 + $R_x + R_y + R_z$	3.8
Gafurov[10]	4.7

## 5. おわりに

本研究では、第一に歩行認証の精度を高めるために、研究対象とした脚部に着目した信号間距離算出方法を提案した。脚部の動作を回転運動として捉え、センサの所持位置や準周期性による各軸の加速度の変動を考慮するために、三軸加速度のなすベクトルの角度の差を距離とすることで、軸ごとに加速度信号の距離を評価する手法と比較して良好な認証精度を得られえることを示した。

次に、脚部において認証精度を高めるために、角速度と加速度を統合した認証手法について検証を行った。識別器はデータ収集の難しさからユーザ共通識別器とし、テンプレ

レート信号と入力信号間における距離を特徴ベクトルとする認証を行うことで、精度が改善することが確認できた。

さらに、事前に認証 DB に登録されていない人物が自身の情報を入力して本人認証突破を試みるゼロ・エフォート攻撃を想定した実験においても、先行研究の手法に比べ高い認証精度を保ち、その認証精度が大きく損なわれることが無いことを確認できた。提案手法により、脚部ポケットに保持したセンサにおいても従来手法より良好な精度で歩行認証が実現可能であることが確認できた。表 7 に先行研究における認証精度をまとめたものを示す。精度検証に使用したデータセットが異なるため、単純な比較はできないが、本研究ではこれまで報告された歩行認証の EER よりも良い結果を得ることができた。

今後の課題として、テンプレートの選出方法の実装が挙げられる。今回は DB に登録された信号全てがテンプレート信号として選出される可能性があるものとして、テンプレート信号と入力信号の全ての組み合わせについて距離計算を行った。複数の本人登録信号の中から、テンプレートとして最適な信号を選出する方法を実装する事で、さらに高い精度で認証が行える可能性が存在する。

表 7 先行研究で報告された EER

研究	被験者数	EER[%]
Alist et al.[7]	36	7, 10, 18, 19
Gafurov et al.[8]	22	16
Gafurov et al.[9]	21	5, 9
Gafurov et al.[10]	50	7.3, 9.2, 14, 20
Rong et al.[11]	21	5.6, 21.1
Gracian et al.[12]	11	3
本研究	30 (うち攻撃者 15)	1.4

## 参考文献

- [1] マイナビニュース, スマホにロックをかける人はわずか半数 - Google の Android セキュリティ戦略, <http://news.mynavi.jp/articles/2014/10/29/android/> (2015-1-27 アクセス).
- [2] IT media, 調査レポート, ケータイのセキュリティロック、利用率が最も高い世代は, <http://www.itmedia.co.jp/promobile/articles/0912/18/news082.html>, (2015-1-27 アクセス).
- [3] Jiayang Liu, Lin Zhong, Jehan Wickramasuriya, Venu Vasudevan. Accelerometer-based personalized gesture recognition and its applications, *Pervasive and Mobile Computing*, Vol.5, No.6, pp. 657-675(2009).
- [4] 厚生労働省, 平成 25 年国民健康・栄養調査結果の概要, <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkoukyoku-Gantaisakukenkouzhoushinka/0000068070.pdf>, (2015-1-27 アクセス).
- [5] macromill, スマートフォンに関する調査, [http://www.macromill.com/r\\_data/20110228smartphone/20110228smartphone.pdf](http://www.macromill.com/r_data/20110228smartphone/20110228smartphone.pdf), (2015-1-27 アクセス).
- [6] japan.internet.com: 破損させやすい携帯電話の携帯方法は「手で持つ」、ズボンの後ろポケットも要注意, <http://internetcom.jp/research/20080819/1.html>(2015-1-27 アクセス)
- [7] H.A.Ailisto, M.Lindholm, E.Vildjiounaite, S.Makela, J.M`anty, Identifying users of portable devices from gait pattern with accelerometers, in: *Proceedings of the IEEE International Conference*

- on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp.973-976, 2005
- [8] D.Gafurov, E.Snekkenes, T.E.Buvarp, Robustness of biometric gait authentication against impersonation attack, in: *Proceedings of the First International Workshop on Information Security (IS06), OnTheMove Federated Conferences (OTM06)*, pp.51-59, 2006
- [9] D.Gafurov, K.Helkala, T.Sondrol, Gait recognition using acceleration from MEMS, *IEEE International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES)*, pp.479-488, 2006
- [10] D.Gafurov, E.Snekkenes, P.Bours, Gait authentication and identification using wearable accelerometer sensor, *IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies*, pp.220-225, 2007
- [11] L.Rong, Z.Jianzhong, L.Ming, H.Xiangfeng, A wearable acceleration sensor system for gait recognition, *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pp.2654-2659, 2007
- [12] Gracian Trivino, Alberto Alvarez-Alvarez, Gonzalo Bailador, Application of the computational theory of perceptions to human gait pattern recognition, *Pattern Recognition*, 43, pp.2572-2581, 2010
- [13] Soumik Mondal, Anup Nandy, Pavan Chakraborty, G.C.Nandi, Gait Based Personal Identification System Using Rotation Sensor, *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 3(3), 2012
- [14] 江原義弘, 山本澄子, ボディダイナミクス入門, 歩き始めと歩行の分析, 医歯薬出版, 2002
- [15] Fuminori Okumura et al., A Study on Biometric Authentication based on Arm Sweep Action with Acceleration Sensor, *Proc. ISPACS (2006)*, pp.219-222, 2006
- [16] Souheil BenYacoub, Multi-Modal Data Fusion for Person Authentication using SVM, in *Proce. AVBPA '99*, 1999