

3 軸加速度センサを用いた歩行者推定 に関する研究

杉森大輔[†] 岩本健嗣[†] 松本三千人[†]

近年、認証システムには IC カードによる認証や、指紋認証など多くのシステムが利用されている。しかし、そのほとんどはユーザが認証機の前で何らかのアクションを起こして認証を行うため、ユーザに負担をかけることになる。そこで、ユーザが機器の前で特別なアクションを起こさずに認証を行う方法として、歩行動作による認証方式を提案する。本稿では、携帯電話に搭載されている 3 軸加速度センサを用いて、ユーザの歩行データから特徴量を抽出し、分類器を用いて歩行者を推定する実験を行い、その精度を評価した。本稿で提案した特徴量と分類を 2 段階に分けて行う方法を用いることで、高い正答率を得ることができた。

A Study of Identification of Pedestrian by Using 3-axis Accelerometer

Daisuke Sugimori[†] Takeshi Iwamoto[†]
Michito Matsumoto[†]

Recently, various authentication systems are used in our society, for example, IC card system and fingerprint authentication. However, most of them require imposition of users, as users need some actions at domain of authentication system. Therefore, we suggest walking authentication system without user's special actions for authentication system. In this research, we use 3-axis accelerometer mounted on mobile phone. We extracted feature amounts from user's walking data and experimented identification of pedestrian. In experiments, we evaluated a capability of classification. We showed that a proposed method gained correct mobile phone's position and correct user with high probability.

1. はじめに

1.1 研究背景

今日の認証方式には様々な方式があり、実際に社会で使用されている。例えば、パスワードなどによる認証の WYK(What You Know)認証、カードを専用の機械に通すタイプや、2次元コードをリーダーにかざすタイプなどの WYH(What You Have)認証は、携帯電話のロック機能や高速道路における ETC など、私たちの身の回りに多く存在しており、密接な関係であるといえる。また近年では、指紋認証や血管の静脈認証といったバイオメトリクス(biometrics)認証という生体情報を用いた WYA(What You Are)方式も実用化されている。しかし、これらの認証方式のほとんどはユーザが認証機器の前で何らかの動作を行う必要があるという問題を抱えている。認証を行うためだけにユーザに何らかの動作を要する認証方式は、ユーザに負担のかかる認証方式であるといえる。

そこで認証を行う上でユーザに負担のかからない認証方式について検討する。この認証方式が満たすべき点は、認証の際にユーザに特別な行動を必要としないことと、多くの人にとって認証のためだけに必要なものを持たせないことである。もし、日常生活の中で行っている行動の中に個人を特定できるような行動が存在すれば、ユーザが特別なアクションを行うことなく認証が可能になると考えられる。

現在、行動的特徴を利用した認証方式の1つとしてキーストローク認証がある。これは、キーボードのタッチの癖などを特徴量とする方式である。日常生活でキーボードを使用している場合、ユーザに負担のかからない認証方式であるといえる。しかし、キーボードを使うという場面は、日常動作の中では限定的な場面であることや、屋外では不向きであることが考えられる。一方、ユーザになにも持たせずに認証を行う方式として歩容認証をはじめとしたカメラを用いた認証がある。この認証方式は、ユーザへの負担がほとんどない。しかし、認証のためにカメラを用いているため、決まった場所や特定の範囲でしか認証を行うことができない。

1.2 歩行認証

本稿では、認証を行う上でユーザに負担をかけずに、そして場所を選ばずに認証を受けることができる環境を想定する。この条件を満たす認証方式として、本稿では日常生活で多くの人が行っている行動であると思われる、歩行動作に着目した歩行認証方式を提案する。歩行は日常生活の中で意識せずに行うことができる動作の1つである。そのため、歩行による認証方式が確立できれば、歩行という場所を選ばない比較的自然な動作を行うだけで認証が可能となる。しかし、歩行による認証を行うために

[†] 富山県立大学大学院 工学研究科 情報システム工学専攻

は、日常動作の中から、歩行動作を抽出しなければならない。また、ユーザと非ユーザを正確に分類する必要がある。歩行動作を抽出するために、新たな認証専用の機器をユーザに所持させてしまうと、ユーザの負担の増加に繋がる。そこで、今日の携帯電話の普及率が高い水準にある点と、加速度センサを用いて行動認識やコンテキスト推定する研究が盛んに行われている点から、本研究では、加速度センサを搭載した携帯電話を利用する。実際に歩行認証が有効に作用する例として次のような状況が挙げられる。

1. 電車における端末の所有者認証

電車やバスから下車する時に携帯電話を忘れた場合を考える。携帯電話における一般的な認証方法は4桁の暗証番号による認証である。簡単な暗証番号であった場合、もしくは、人により携帯電話を起動する度に暗証番号を要求されることが煩雑なため、暗証番号による認証機能を使用していなかった場合、所有者が携帯電話を忘れたことに気付く時間が遅ければ遅いほど、第三者が認証を突破して携帯を悪用される危険性が増加する。一方、歩行認証において、携帯電話を車内に忘れた場合、要求される認証方法が歩行動作のため、第三者による認証の突破が暗証番号より困難であると考えられる。また、携帯を所持して下車した場合を想定する。歩行認証は歩行中に認証状態を確認するが、下車直後は歩行を行っている可能性が高い。よって暗証番号のように起動する度に煩雑な動作をする必要が無いため、所有者の負担を軽減することができると考えられる。以上のことから、歩行認証が有効であると考えられる。

2. ドアでの認証

一般的に認証を必要とするドアに採用されている認証方式はカードキーが主流である。また、その他にもパスワードや指紋による認証が存在する。例として、カードキーによる認証の場合を考える。ドアを通過するためには、ドアに到着した後にカードを取り出し、認証機器にカードを通すことが必要である。しかし、この認証までの一連の動作の中には、カードを取り出す動作、カードを通す動作、さらにカードをしまう動作が必要となり、ドアを通る度にこの動作を行うのは煩わしい。一方、歩行認証の場合、ドアに到着するまでに、所持している端末が歩行によって認証を完了しているため、ドアに到着した時に端末と認証機器が通信を行うことで、ドアを通過できる。この場合、認証の前後に被認証者が認証を行うためにすべき動作はドアへ向かう歩行動作のみとなり、ユーザの負担を軽減できると考えられる。また、一定時間歩行が確認できない場合には再度認証を要求することで、本人ではない人が携帯電話を所持して歩行認証を突破することを防止できると考えられる。以上のことから歩行認証が有効であると考えられる。

1.3 研究目的

歩行により歩行者を推定するためには、歩行の特徴を検出する機器を、歩行者が携帯し、歩行することで、歩行者特有の特徴量を得ることが必要である。また、その特徴量から歩行者を推定するアルゴリズムも必要である。そこで、本稿では歩行者に3軸加速度センサ搭載した携帯端末を携帯させ、歩行を計測し、そのデータを用いて、分類器による歩行者の分類を行う。この際有効な特徴量を決定し、歩行認証方式の有用性を示す。

2. 歩行の特徴検出のための基礎実験

加速度センサを用いてユーザ認証を行うためには、歩行におけるユーザ固有の特徴量を抽出し、最適なアルゴリズムを決定する必要がある。そのため、本章では、歩行の特徴を検出するために、実際に携帯電話を使って基礎実験を行う。また実験から、歩行認証に有効な特徴量について検討する。携帯電話を所持したまま歩行すると、どのようなデータが取得できるのか、また、得られたデータの中に歩行認証を行う上で個人を特定し得る特徴量が存在するのかについて考察する。

2.1 実験概要

本実験では実験用端末として HTC 社の HT-03A[1]を使用する。HT-03A には3軸加速度センサの他に地磁気センサ、温度センサを搭載している。また、センサから取得したデータは、外部メモリである SD カードに保存することができる。本実験の目的は、3軸加速度センサを搭載した携帯電話を所持して歩行した際の加速度データの特徴を把握することである。また、得られたデータから歩行を歩行と判断できるのかどうか、個人を特定し得る特徴量が存在するのかについて検証を行うことである。

実験は図1のように体の真横の位置に携帯電話をベルトで固定して行う。被験者は5名とし、この状態で、被験者は平坦な直線の廊下を10歩程度歩行し、データを取得する。以下この取得したデータを歩行データとする。また、今回取得する加速度は3軸合成加速度の値とした。これは、人により携帯電話を所持する向きは異なると考えられるため、軸毎に特徴量を決定して歩行動作を判断するのは不相当であると考えられるからである。取得した歩行データは SD カードに保存し、処理用 PC に転送してから、表計算ソフトで整理し、可視化する。

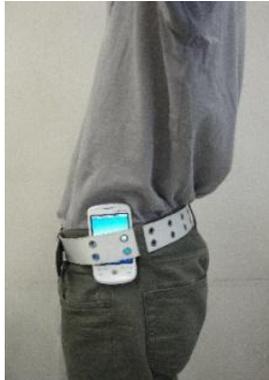


図1 携帯電話の取り付け例

2.2 実験結果

本節では、2.1 節で述べた実験方法で歩行データを収集した結果について述べる。図2は被験者1名による、歩行動作の波形である。図2より以下の特徴を読み取ることができる。また、他の被験者4名においても同様の特徴が確認できた。

(1) 歩行動作中は3軸合成加速度が大きく上下する

歩行動作中は体が動くため携帯電話にも重力以外の加速度が加わる。このとき左足を前に出す歩行と右足を前に出す歩行では、加速度の最大値と最小値が異なっていることが分かる。

(2) 2歩で1周期となる波形である

グラフの波形から、左足と右足または、右足と左足の歩行をひとまとまりとしてみると周期的な波形であることが分かる。これは左腰という左右に依存する位置に携帯電話を保持しているためだと考えられる。一般的にも体の中央に保持していることは少ないと考えられるため、2歩を1つの特徴と見ることは妥当だと考えられる。

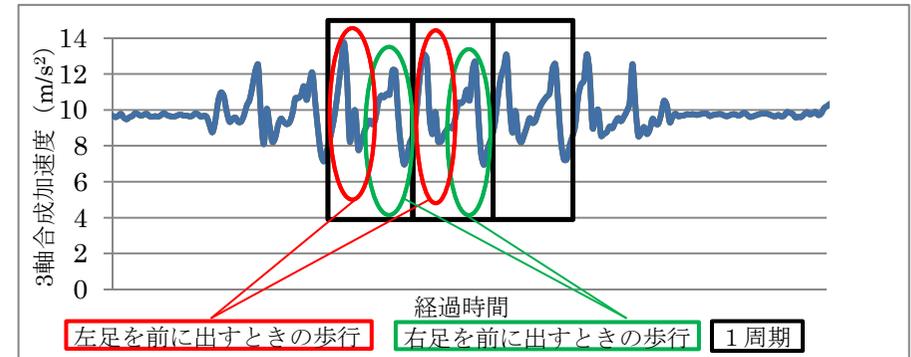


図2 端末を腰部に取り付けた場合の歩行動作の波形

2.3 特徴量の検討

本節では、2.2 節で得られた結果を基に個人の特定に有効な特徴に関して検討を行う。本稿では2つの特徴量を提案する。

(1) 3軸合成加速度の最高、最低数値を特徴量にする

この手法は2.2 節の(1)から考察したものである。人によって歩行における左足及び右足の3軸合成加速度は異なるのではないかと考えられる。

(2) 歩行データを高速フーリエ変換したスペクトルを特徴量にする

この手法は2.2 節の(2)から考察したものである。歩行の波形に周期があるのであれば、フーリエ変換を行うことによって、人により周波数スペクトルが異なるのではないかと考えられる。

これらの特徴量が、個人の特定に有効な特徴量であるのかどうか、以降の章で検証を行う。

3. ユーザ特定手法

本章では2.3 節で述べた特徴量を基に、より詳細な特徴量の選定と、その特徴量をどのように使ってユーザの特定を行うのかについて述べる。

3.1 特定手法の概要

本節では、歩行認証を行う上で、どのようにユーザの特定を行うのか、その特定方法と認証の流れについて述べる。

2章では歩行動作の特徴を探るため、携帯電話を腰に取り付けたが、日常生活の中で携帯電話を腰に取り付けることはない。一般的に、歩行中は手に持って歩くときを除くと、携帯電話はズボンのポケットや胸ポケット、鞆などに所持している場合が考えられる。携帯電話の所持位置によって3軸加速度センサから得られるデータが異なる。図3、4に同一被験者が携帯電話を前ポケットと後ろポケットに入れた際のデータを示す。2つの図より、携帯電話の所持位置の違いによって3軸合成加速度の波形が異なっていることが分かる。よって、ユーザを特定するためには、携帯電話の所持位置の分類とユーザの分類の2項目を分類する必要があることが分かる。

しかし、この2つの分類を同時に行うと、携帯電話の所持位置とユーザを1度で分類することになるため、分類する項目が増加し、結果として推定結果が悪くなる恐れがある。そこで、本稿では2段階に分けて分類を行う。最初に携帯電話の所持位置を分類する。所持位置の分類が完了したら、各所持位置において、ユーザの分類を行い、認証とする。図5に歩行動作から認証を行うまでのフローチャートを示す。このフローチャートを基に次章で歩行によるユーザ推定の評価を行う。

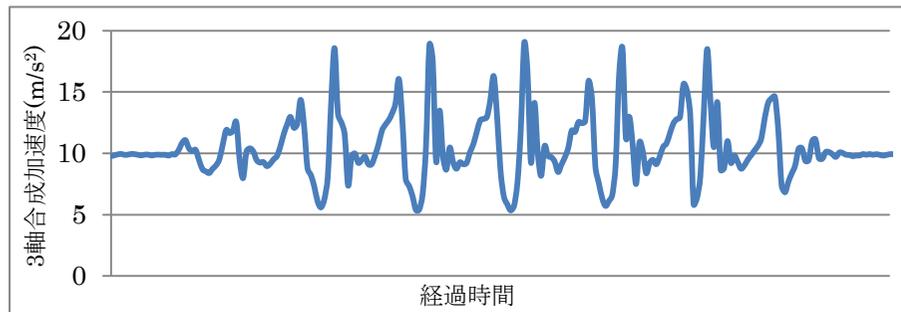


図3 端末を前ポケットに取り付けた場合の歩行動作の波形

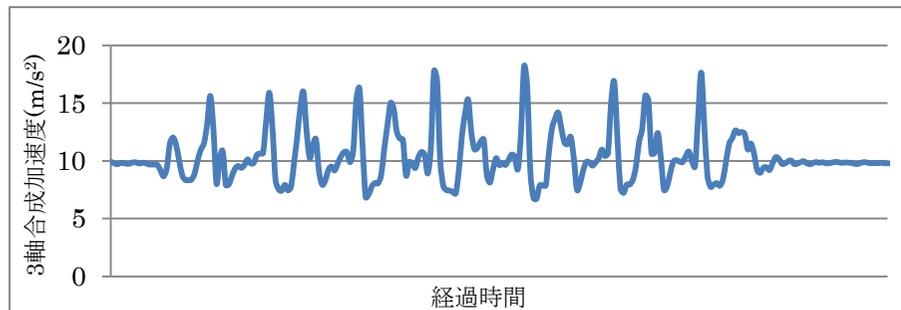


図4 端末を後ろポケットに取り付けた場合の歩行動作の波形

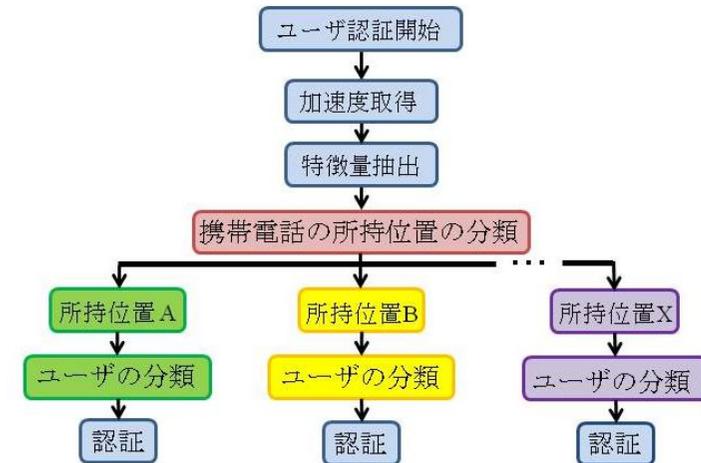


図5 歩行推定のフローチャート

3.2 特徴量の抽出方法

本節では、2.3節で述べた2つの特徴量に関して、より詳細な特徴量について検討を行う。2.3節で述べた特徴量は次のとおりである。

- (1) 3軸合成加速度の最高、最低数値を特徴量にする
- (2) 歩行データを高速フーリエ変換したスペクトルを特徴量にする

まず、(1)について詳細を検討する。この手法は歩行における3軸加速度センサの合成値の最高値と最低値を特徴にしたものである。2.2節より左足、右足の違いによっても最高値と最低値に差があることから、3軸合成加速度における左足の最高値、左足の最低値、右足の最高値、右足の最低値の4つを1つの特徴量とする。

次に、(2)について詳細を検討する。この手法は歩行データを高速フーリエ変換することにより、歩行の周波数スペクトルを特徴としたものである。高速フーリエ変換を行う場合、解析するデータ数は2のべき乗となる必要がある。また、データ数が多ければ多いほど、より分解能が高いスペクトルを得ることができるが、処理時間は長くなり、特徴量の数も増加し煩雑になる。本実験では実験的にデータ数を64個とした。この結果を基に、実際に歩行データを64点高速フーリエ変換したスペクトル解析の結果を図6に示す。ただし、図6の高速フーリエ変換において、直流成分は外した。(2)はこのスペクトル全体を特徴量とする。スペクトルの本数は直流成分を除き32本ある

ため、この 32 本のスペクトルで 1 つの特徴量を表すこととする。

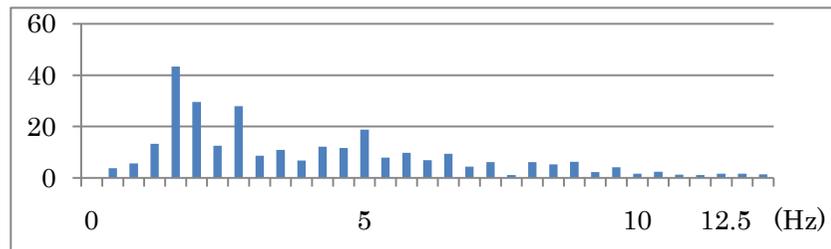


図6 歩行動作を高速フーリエ変換した場合の周波数スペクトル

4. 評価

3 章では、歩行に対する詳細な特徴量を決定し、歩行から認証を行うまでの分類フローチャートを示した。本章では、その特徴量とフローチャートを基に、歩行認証方式の携帯電話の所持位置の識別とユーザの識別の機能について実験を行い、それぞれについて評価、考察を行う。

4.1 実験概要

本実験の目的は、3 章で決定した 2 つの特徴量を用いて、携帯電話の所持位置とユーザの分類を行い、その正答率を比較することにより、最適な特徴量を決定することである。本実験では、特徴量から携帯端末の所持位置とユーザを分類するために、オープンソースデータマイニングツールである Weka version3.6 (Weka)[2]を使用する。特徴量とそれに対するラベル付けを行ったデータのまとまりを以後基本データと呼ぶ。3 章で決定した特徴量について、歩行データの 3 軸合成加速度の最高、最低数値を特徴量とする方法は 2 歩で 1 つのデータとなるため、基本データの数は歩数に比例する。本実験では 100 歩歩行するため、被験者 1 人あたり 50 の基本データを抽出することができる。また、歩行データを高速フーリエ変換した周波数スペクトルを特徴量とする方法でも、時間軸をずらして 50 回の高速フーリエ変換を行い、こちらも 50 の基本データを抽出する。この抽出を 5 人の被験者に対して、それぞれ行うことで特徴量を収集していく。

最後に、使用する分類器について述べる。今回はクラス分類に対して代表的な手法である、C4.5 アルゴリズムによる決定木、単純ベイズ分類器、サポートベクターマシンの 3 種類を選択した。分類器を複数選ぶことにより、特定の分類器による違いがあるのかを検証するためである。本実験では、入力した基本データに対して、上記の分類器を用いて分類を行う。したがって、入力した基本データ 1 組に対し、3 種類の分類結果を収集することになる。

4.2 実験方法

被験者は 20 代の男性 5 名とする。実験に使用する携帯電話については、2 章で述べた実験と同様に HT-03A を使用する。被験者は携帯電話をズボンの右前ポケットと右後ろポケットの 2 か所の場合に分けて所持し、実験を行う。なお携帯電話をポケットに所持するにあたり、携帯電話の向きについては任意の入れ方とする。この状態で、平坦な直線の廊下を複数回に分けて合計 100 歩、歩行してもらい、歩行データを取得する。取得した歩行データは SD カードに保存し、処理用 PC に転送する。処理用 PC では、取得した歩行データに対して 3 章で決定した 2 つの方法で特徴量抽出をそれぞれ行う。抽出が完了したら、それぞれの特徴量を Weka によって 5 分割交差検定を行い、ユーザ推定の正答率を算出し比較する。本実験では携帯電話の所持位置の分類とユーザの分類の 2 つの実験に分けて行う。最初に、携帯電話の所持位置の分類、続いてユーザの分類の順で行う。

4.3 端末の所持位置の分類に関する実験

本項では Weka によって端末の所持位置を分類した結果について述べる。携帯電話の所持位置は 4.2 節で述べたように、右前ポケットと右後ろポケットの 2 か所である。よって、本項の分類において特徴量に対するラベルは、右前ポケットと右後ろポケットの 2 つとする。被験者の違いは問わない。正答率を比較したものを表 1 に示す。

表1 端末の所持位置の分類に関する正答率

分類器名	基本データ	
	最高, 最低数値	FFT
C4.5	98.4%	84.2%
単純ベイズ	98.0%	88.8%
SVM	98.4%	87.8%

表 1 から、歩行データの最高、最低数値を特徴量にした基本データがどの分類器においても非常に高い割合で分類が正しく行われていることが分かる。つまり、被験者の違いによらず、端末の所持位置により 3 軸合成加速度の最高、最低数値による特徴的な値が存在しているということが表から読み取ることができる。このことから、端末の所持位置を分類器で決定するためには、歩行データの最高、最低数値を特徴量にした場合の方がより良い正答率を得られることが分かった。また、分類器の違いにおける正答率の優位性については大きな差は見られなかった。

4.4 ユーザの分類に関する実験

本項では Weka によってユーザを分類した結果について述べる。本項では 2 箇所の携帯電話の所持位置に対して、それぞれでユーザの分類を行う。被験者は 5 人であるため、便宜的に被験者の 5 人をそれぞれ a, b, c, d, e とすると、本項の分類において特徴量に対するラベルは a~e となる。正答率を比較したものを表 2 に示す。

表2 ユーザの分類に関する正答率

分類器名	基本データ：最高, 最低数値		基本データ：FFT	
	前ポケット	後ろポケット	前ポケット	後ろポケット
C4.5	84.8%	71.6%	98.4%	98.4%
単純ベイズ	83.2%	77.6%	100%	98.8%
SVM	84.4%	74.4%	99.6%	100%

表 2 から、歩行データを高速フーリエ変換した周波数スペクトルを特徴量にした基本データの方が、携帯電話を前ポケットに所持している場合と比べ、どの分類器に対しても高い割合で、分類が正しく行われていることが分かる。したがって、携帯電話の所持位置に関係なく、人の歩き方には、歩行波形を周波数スペクトルに変換した時に特徴的な値が存在していることが表から読み取ることができる。このことから、ユーザの分類を分類器で決定するためには、歩行データを高速フーリエ変換した周波数スペクトルを特徴量にすればより良い正答率を得られることが分かった。また、分類器の違いにおける正答率の優位性については 4.3 節と同様に大きな差はなかった。

4.5 実際の歩行における分類評価

4.3 節, 4.4 節では分類する項目毎に、最適な特徴量を決定するため、分類実験を行った。その結果、それぞれについて使用する特徴量を変更することによって正答率が向上することが分かった。4.3 節, 4.4 節の結果をまとめたものを表 3 に示す。

表3 各分類項目で適用する特徴量

分類項目	適用する特徴量
携帯電話の所持位置の分類	歩行データの最高, 最低数値を用いた特徴量
ユーザの分類	歩行データを FFT したスペクトルを用いた特徴量

本節では HT-03A に分類アルゴリズムアプリケーションを実装し、リアルタイムで

歩行したデータを解析し分類を行う実験について述べる。表 3 の特徴量を基に実際に端末内でデータ収集、データ分析、アルゴリズムによる分類、ユーザの推定を行い、分類評価を行う。被験者は 1 名で、この被験者は 4.3 節, 4.4 節での被験者の 1 人である。被験者は HT-03A を所持して 20 歩程度歩行してもらいデータを取得する。端末の所持位置は右前ポケット, 右後ろポケット 2 ヶ所で行う。また、歩行は各所持位置において 20 回行う。その後、端末内で歩行データの最高, 最低数値及び、64 点 FFT の処理を行う。最後に、取得した特徴量を基にアルゴリズムから端末の所持位置及びユーザの分類を端末内で行う。それぞれのポケットで分類を行った結果をまとめたものを表 4 に示す。表 4 における合算正答率は、端末の所持位置とユーザのどちらも正しく分類できた場合の正答率を示している。表 4 よりリアルタイムで歩行者推定を行った場合の正答率は Weka によって算出した正答率に比べ低下しているものの各端末の所持位置の正答率とユーザの正答率を個別にみた場合正答率は概ね 90%以上となっている。

表4 端末内で行った分類に関する正答率

所持位置	端末の所持位置の正答率	ユーザの正答率	合算正答率
前ポケット	90%	89%	80%
後ろポケット	95%	95%	90%

5. おわりに

本稿では、携帯電話に搭載された 3 軸加速度センサを用いて、歩行認証を行うための特徴量の検討と、それを用いて実際に分類器によるユーザ推定の評価を行った。その結果、携帯電話の所持位置を分類するときには有効な特徴量と、ユーザを分類するときには有効な特徴量は、それぞれ異なっていることが分かった。携帯電話の所持位置の分類には 3 軸合成加速度の最高, 最低数値を特徴量としたデータを、ユーザの分類に歩行を 64 点高速フーリエ変換した周波数スペクトルを特徴量としたデータを用いることで、それぞれ 98%以上の正答率で正しい所持位置, 正しいユーザの分類を行うことができることを示した。また、端末にユーザ分類のアプリケーションを実装しリアルタイムでの分類評価実験を行った。その結果、合算で 85%の正答率で端末の所持位置とユーザを同時に正しく分類できたことを示した。ところで、生体情報を使った認証方式の 1 つに指紋認証が存在するが、家庭用に販売されている指紋認証方式のドアロックの誤認証率は 0.01%~0.001%であった。実験結果より、リアルタイムでユーザを分類した時の誤認証率は 15%であり、販売されている指紋認証に比べ誤認証率は高いが、これは歩行中の基本データ 1 つから判断した結果となっている。最終的な認証

可否の決定方法として、推定を数回行い、その推定結果が全て一致していれば認証を行うなどシステム面での工夫をすることによって、誤認証率を低減することにより実用に耐えうる認証システムが構築できると考えられる。

今後の課題として、ポケット以外での携帯電話の所持位置について分類が可能かどうか検証する必要がある。3.1 節でも述べたように人により普段携帯電話を所持している場所はズボンのポケットの中だけではなく、鞆の中など他に所持され得る場所がある。それらについて、検証する必要があると考えられる。また、今回の実験環境は直線の廊下という理想的な環境であった。今後は曲がり角や坂道など歩く場所の状況の場合について実験を行う必要があると考えられる。さらに、推定から認証につなげるためのシステムについて考察する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) HTC HT-03A 基本仕様, <http://www.htc.com/jp/product/ht03a/specification.html>
 - 2) Weka 3 Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java, <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index.html>
 - 3) 池谷直紀, 菊池匡晃, 長健太, 服部正典, 3 軸加速度センサを用いた移動状態推定方式, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.138, pp.75-80, (2008).
 - 4) 猿田芳郎, 富井尚志, 加速度センサと RFID を用いたユビキタス環境での利用者コンテキスト推定手法, 日本データベース学会論文誌, Vol.6, No.3, pp.13-16, (2007).
 - 5) Davrondzhon Gafurov and Einar Snekkenes, Gait Recognition Using Wearable Motion Recording Sensors, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing volume 2009, (2009).
-