

センサ装着位置の差異に頑健な 加速度による移動行動の推定

千葉雄樹[†] 宮崎陽司[†] 中尾敏康[†]

携帯電話に様々なセンサが搭載されるようになり、ユーザのコンテキストに適合したサービスの実現を目的に、携帯電話に搭載されたセンサを用いた行動推定に関する研究が多くなされている。日常生活では、ポケット、鞆など様々な箇所に格納して携帯電話を持ち歩くことが多いが、従来技術ではセンサの装着位置を制限していることが多く、日常生活へは適用が難しい。そこで我々は、複数の装着位置で行動した際の加速度データを収集し、携帯電話の装着位置に依存しない特徴量の抽出、およびその特徴量を用いた行動推定方式を開発した。本稿では、提案方式および、評価実験について説明し、様々な装着位置で約80%以上の精度で行動を推定できることを示す。

Robust Activity Recognition Method for Variation of Accelerometer Positions

Yuki Chiba[†] Yoji Miyazaki[†] and Toshiyasu Nakao[†]

Monitoring human activities is expected to provide useful context-aware-services. Recently acceleration sensors are mounted on many kinds of mobile devices and there are many attempts to recognize human activities using acceleration sensors. Also it is important to identify user's activities in various attachment positions of acceleration sensors because people carry their cell-phones in various positions in their daily life. This paper presents a technique for recognizing human activities that does not restrict positions of acceleration sensor by using some kinds of feature values that are less sensitive to sensor's positions. In this paper, we presents that our technique achieves high precise recognition ratio by experiment of 5 activities in 7 attachment position of sensors.

1. はじめに

近年の MEMS 技術の発達によりセンサデバイスの小型化・低価格化が進み、様々な種類のセンサが携帯端末に搭載されるようになってきた。その結果、センサを備えた端末を気軽に携帯できるようになったため、日常生活における様々なセンサデータを収集し、ユーザの行動や状況の推定に利用できるようになってきた。

我々は、様々なコンテキストウェアサービスへの適用を目的に、携帯電話に搭載された単一の加速度センサを用いたユーザの日常行動の推定に取り組んでいる。ユーザの行動推定を用いたサービスの例として、ユーザの行動を常時推定して、消費カロリーなどをリアルタイムに正確に算出することで、運動アドバイスなどの健康促進を支援するサービスや、知人同士で現在の行動や状況を共有し、的確なコミュニケーション手段（メールや電話）を簡単に選択できるサービス、幼児や高齢者の転倒などを検知し、通報する見守りサービスなどが考えられる。

これまでコンテキストウェアサービスの実現に向けて様々な手法が開発されてきているが、以下のような問題があった。

● 加速度センサの装着位置の制約

一般に、加速度センサの装着位置を限定することで、高精度な行動推定が可能となる。加速度センサの装着位置によって加速度の値は大きく異なるため、ある装着位置で構築した判定器を他の装着位置に適用しても推定が困難な場合が多い。しかし、携帯電話の利用シーンを考えると、ユーザによって携帯電話の持ち歩き方は多様である。たとえばズボンや胸のポケットに入れて持ち歩くユーザや、ベルトポーチや鞆に入れて持ち歩くユーザもいる。つまり、センサの装着位置を制約することで、適用できるサービスが限定されたり、普段と異なる持ち方を強いることによる、心理的な抵抗や不快感を招くなどの問題がある。

● サービスごとの推定アルゴリズム開発が必要

従来方式では、1つの判定器で複数の行動を推定する方式を採用していることが多く、複数のサービスで必要とする行動が異なる場合、サービス毎に推定アルゴリズムの開発、実装が必要である。例えば、健康サービスにおいては消費カロリーを算出するために階段昇降行動の推定が必要であるが、見守りサービスでは階段昇降行動はあまり重要ではなく、転倒行動の推定の方が重要である。このように、サービスごとに推定する行動が異なる場合、個々のサービスごとに推定する行動を追加、変更するためには、推定アルゴリズム全体を構築し直す必要があり、大きな手間を要する。

以上の課題から、我々はコンテキストウェアサービスに適用する行動推定方式の要件として、次の2つを挙げた。

[†] NEC サービスプラットフォーム研究所
NEC Service Platform Research Laboratories

要件 1: 多様な位置に装着した加速度センサで行動推定できる

要件 2: 推定アルゴリズムの変更に大きな手間をかけず、多様なサービスに適用できる

本稿では、これらの要件を満たす行動推定方式を提案・開発し、実験によって提案方式が装着位置によらず高精度に行動を推定できることを示す。

2. 関連研究

加速度センサを用いた行動推定には、多くの先行研究がある。

小林ら[1]は、加速度センサとマイク、GPSを同時に用いて複数種類の装着位置に対応した行動推定を行っている。異種センサを組み合わせて用いる場合、行動の様々な特徴を異なる物理量で捉えることができるので、多様な行動を高い推定精度を実現できる。しかし、携帯電話などのユーザが持ち歩く端末装置を想定すると、用いるセンサの組合せによって端末機種が限られる点や、消費電力が大きい点が問題である。

また、池谷ら[2]は単一の加速度センサのみを用いて、複数種類の装着位置に対応した行動推定を行っている。しかしながら、実験では3種類程度の装着位置でしか評価を行っておらず、日常生活における多様な装着位置を十分に網羅していない。また、複数の行動を1つの判定器で推定しているため、要件2に挙げた行動の追加・削除に大きな手間を要すると考えられる。

我々は、単一の加速度センサを、多様な位置に装着した場合でも行動推定可能であり、かつ多様なサービスに容易に適用可能である点に留意し、行動推定方式を開発した。

3. 方式の概要

3.1 対象とする行動と、センサの装着位置

我々はユーザの基本的なコンテキストとして、次の5つの移動行動が重要であると考えた。

推定対象行動:

停止, 歩行, 走行, 階段昇, 階段降

日常生活の大部分でこれらの移動行動が発生するため、的確なコンテキストウェアサービスを提供するためには、これらの行動を推定することが必要である。さらには、これらの移動行動の出現パターンを分析することで、ユーザの心理的な状態を推定することも実証している。例えば、店舗内での実験[3][4]では、ユーザの移動行動パターンから店舗におけるユーザの関心の強さを推定可能であることを被験者実験により実証している。このように移動行動を用いることで、現在のユーザの表層的な動きだけでなく、さらに高次のコンテキストを推定できる。

また、ある調査結果[5]によると、ユーザは外出時にカバンの中やズボンのポケットに携帯電話を入れている。そこで我々は、調査結果をもとに携帯電話を日常持ち歩く際に、よく装着する7種類の位置を抽出した。

装着位置:

**胸ポケット, ズボン前ポケット, ズボン後ポケット,
腰 (ベルトポーチ), 靴, 首 (ネクストラップ), 手持ち**

本稿では、以上5種類の行動と7種類の装着位置を対象として、提案方式の有効性を示す。

3.2 開発方針

我々は1章に述べた要件を満たすために、以下の方針に基づいて行動推定方式を開発した。

- 要件1: 多様な位置に装着した加速度センサで行動推定できる
センサの装着位置によってばらつきが大きい特徴量を用いるのではなく、体全体の動きを捉え、センサの装着位置によるばらつきが小さい特徴量を抽出して利用することで、装着位置の差異に対して頑健な行動推定を行う。
- 要件2: 推定アルゴリズムの変更に大きな手間をかけず、多様なサービスに適用できる

個々の行動ごとに行動判定モジュールを用意し、これらの判定モジュールの判定結果を組み合わせて行動を推定する。このような構成により、新たなサービスに適用する際に推定アルゴリズム全体を作り直すのではなく、必要な判定モジュールのみ修正・追加、あるいは組み合わせルールを修正するだけで、容易にサービスに適した行動推定が可能となる。

3.3 行動推定方式全体像

我々は、前節で述べた方針に基づいて、図1 行動推定方式の全体像に示す方式を開発した。提案方式は、サービスに依存せず推定対象行動の判定のみ行う個々の行動判定モジュールと、サービスに応じて処理内容を変更する統合推定部から構成される。

行動判定モジュールは、個々の推定対象行動毎に用意され、入力された加速度データから判定に必要な特徴量を生成し、そのモジュールが対象としている行動に該当するかどうかを判定する。その際、個々の行動判定に適し、かつセンサの装着位置に依存しない特徴量を算出し、利用する。例えば、歩行判定モジュールの場合、入力された加速度データから、歩行の判定に必要な特徴量を算出し、現在の行動が「歩行」か「歩行以外」かを判定する。歩行であれば true を、歩行以外であれば false を出力する。

統合推定部は、各行動判定モジュールが出力した判定結果を用いて、ユーザの行動を推定する。その際、サービスごとに用意したルールに基づいて推定処理を行い、ルールはサービス毎に用意する。例えば、複数の行動判定モジュールで各行動に該当す

るという結果が得られた場合、同時に起こり得ない行動の組合せを排除して、行動を取捨選択したり、1つの行動に特定できない場合は、「不明」と出力するなどの処理を行う。

図1 行動推定方式の全体像の構成により、行動判定モジュールの組み合わせ、統合推定部のルール変更だけで、容易に新たなサービスに適した行動推定が可能である。

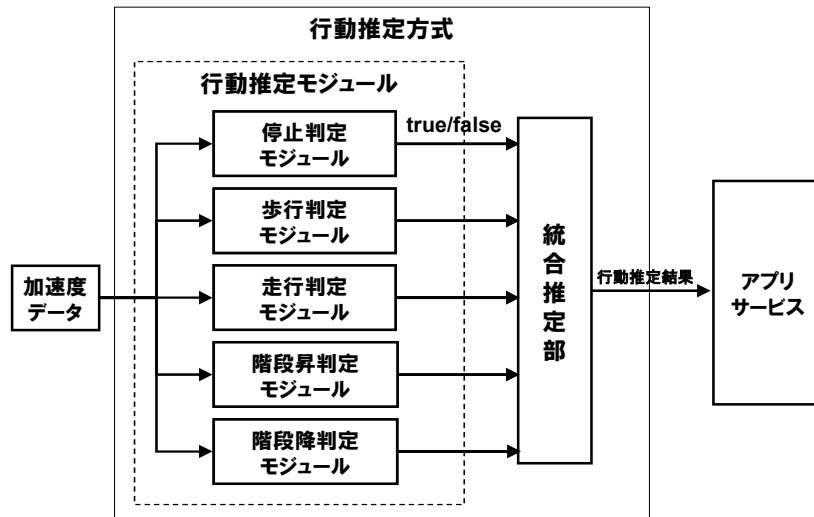


図1 行動推定方式の全体像

3.4 行動判定モジュールの推定方式

各行動判定モジュールは、加速度データから一定時間ごとに特徴量を算出し、その特徴量を用いて、現在の行動が推定対象に該当するかどうかを決定木を用いて判定する。以降の節では、各行動の判定が利用する特徴量を示し、装着位置によらないことを示す。

3.4.1 停止行動の特徴量

停止行動判定モジュールは加速度の変化の大きさを用いてユーザの行動が「停止」か「停止以外」かを判定する。センサをどの位置に装着しても、「停止」は動きがほとんど無く、ユーザが移動したときには加速度データに大きな変化が発生するため、加速度の変化の大きさを用いることで、装着位置によらず「停止」かどうかを判定できる。具体的には、一定時間内の加速度の分散値を加速度データの変化の大きさを表す

特徴量として用いる。

3.4.2 歩行・走行の特徴量

歩行、および走行判定モジュールは、「歩行」か「歩行以外」か、「走行」か「走行以外」かを判定する。我々は、加速度センサの装着位置によらない「歩行」や「走行」の特徴は、ユーザの歩調に現れると考えた。歩行時の具体的な加速度データの例を図2に示す。図2では、加速度センサを胸ポケット、鞆、手持ちに装着したときの、「歩行」加速度データを示す。横軸は計測開始時を0としたときの経過時間(sec)、縦軸は加速度の大きさ(mG)を表す。

図2より、「歩行」時には装着位置によらず一定間隔で加速度のピークが現れることが分かる。このピークは、足が接地する瞬間に現れており、ピーク間の間隔は歩調を表す。センサの装着位置によって加速度の値の大小は異なるが、ピークは同時に表れていることから、歩調が「歩行」「走行」を表わす特徴量であるといえる。また移動速度が速くなるに従ってピーク間隔が小さくなることから、ピーク間隔の長さによって「歩行」と「走行」を判定できる。

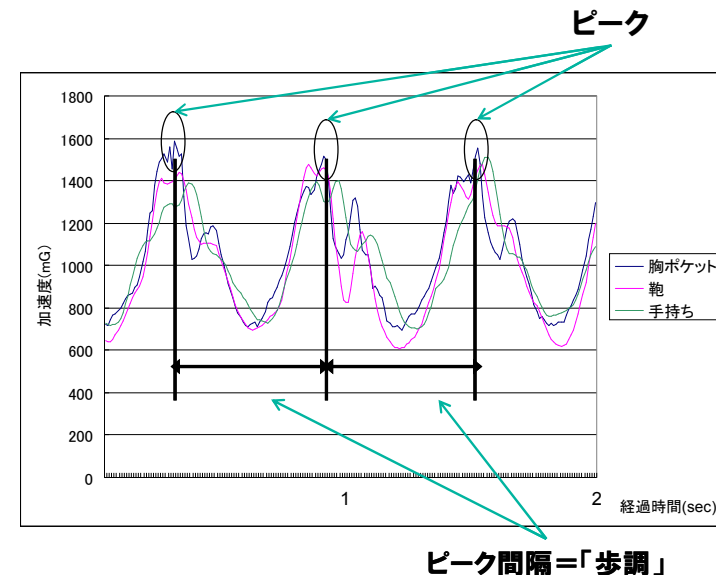


図2 歩行時の加速度データ

3.4.3 階段昇・階段降の特徴量

「階段昇」や「階段降」も「歩行」と同様に両足を交互に踏み出す移動行動であるため、「歩行」と同様にピークが現れる。一方で「歩行」と「階段昇」「階段降」との違いは、センサの装着位置によらず足の接地から次の接地までの間の上下方向の動きに現れると考えた。具体的には、隣り合うピークで挟まれた区間に、図 3 に示すような体の上下方向の動きに関する特徴が現れると考え、この特徴を用いて水平な「歩行」、「階段昇」および「階段降」を判定できるのではないかと考えた。

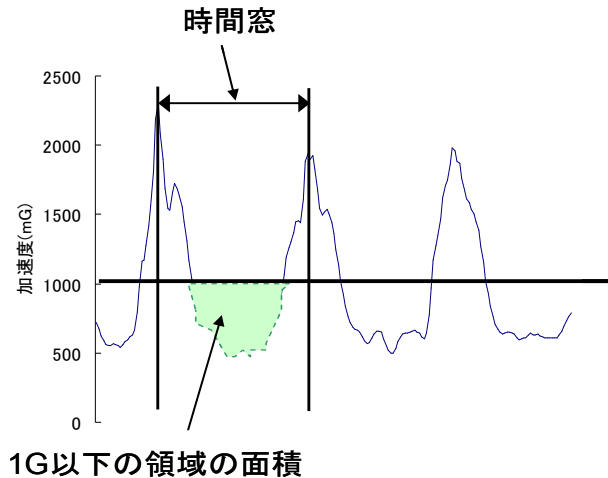


図 3 身体の上下方向の動きを表す特徴量

通常、加速度センサには常に 1[G]の重力が働いており、加速度センサを動かすと、{重力成分}と{動きによって生じた加速度}の和が加速度センサ出力として現れる。ここで、人の移動動作に注目すると、足が接地してから次にもう一方の足が地面に接地するまでの間に、一度鉛直上向きに浮き上がり、上がりきった直後から身体が鉛直下方に沈みこむ動きが発生する。このとき、{動きによって生じた加速度}は、重力成分を打ち消す方向に発生するので、加速度センサ出力は 1[G]以下の値を示す。

ここで、水平な「歩行」と「階段昇」「階段降」との違いを考えると、「階段昇」では、「歩行」に対して、足の浮き上がり動作が大きく、上がりきった直後の沈み込む動きが小さいと考えられる。一方で「階段降」では、「歩行」に対して沈み込む動きが大きいと考えられる。従って、1[G]以下の領域の面積(図 3 の塗りつぶした領域)が「歩

行」「階段昇」「階段降」を判定するための特徴量として有用であると考えた。また、これらの上下運動はセンサの装着位置によらず起こりうるため、本特徴量はセンサの装着位置によらず同様の傾向を示すと考えられる。

図 4 「平地歩行」「階段昇」「階段降」での 1[G]以下の領域の面積の分布に 7 箇所(「胸ポケット」「ズボン前ポケット」「ズボン後ポケット」「腰(ベルトポーチ)」「鞆」「首(ネクストラップ)」「手持ち)にセンサを身につけ、「歩行」「階段昇」「階段降」を行った際の 1[G]以下の面積の分布を示す。エラー! 参照元が見つかりません。では、「歩行」「階段昇」「階段降」の順に、1[G]以下の領域の面積の値が大きいたことが分かる。具体的には、「平地歩行」では 6000mG 周辺に分布、「階段昇」では 9000mG 周辺に分布、「階段降」では、12000mG 周辺に分布することが分かる。つまり、「平地歩行」「階段昇」「階段降」を判定するための特徴量として、1[G]以下の領域の面積が有用であることが分かる。また、図 5 「階段降」での 1[G]以下の領域の面積の分布に「階段降」における、装着位置ごとの 1[G]以下の領域の面積を示す。本図より各装着位置で同様の分布形状しており、装着位置への依存が小さいことが分かる。

以上の結果より、「歩行」「階段昇」「階段降」判定の特徴として 1[G]以下の領域の面積を用いる。ただし、図 4 「平地歩行」「階段昇」「階段降」での 1[G]以下の領域の面積の分布より、各行動同士で特徴量の値が重複している領域が存在する。そこで、精度よく行動を判定するため、特徴量としてさらにピーク間の加速度の統計量などを複数用いる。

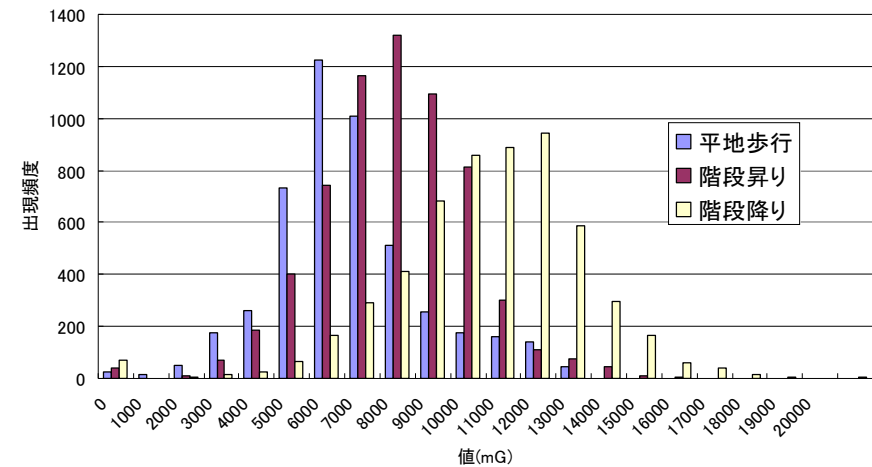


図 4 「平地歩行」「階段昇」「階段降」での 1[G]以下の領域の面積の分布

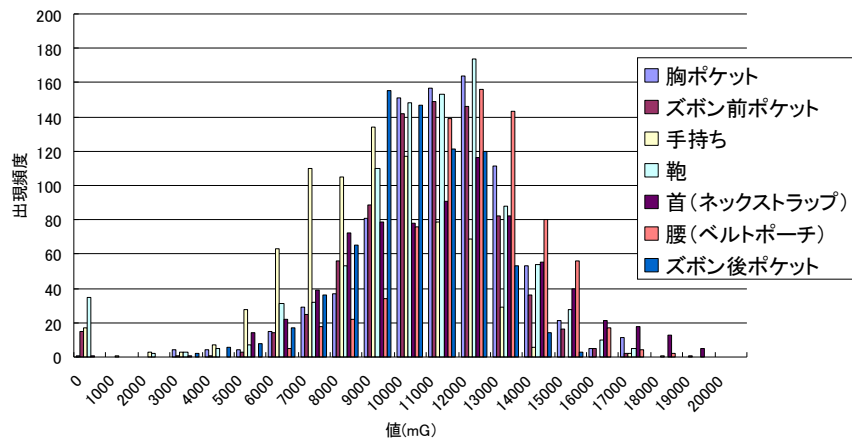


図 5 「階段降」での 1[G]以下の領域の面積の分布

3.5 統合推定部の推定方式

統合推定部は、各行動判定モジュールの判定結果を用いて、行動を推定する。統合推定部はサービスに応じて統合ルールを設定し、ルールに基づいて行動を推定する。ユーザの行動や周囲の環境には曖昧さがあり、明確に行動を定義、あるいは判定出来ないことが多い。例えば、坂道に段差がありそれを乗り越える行動を「歩行」「階段昇」のいずれの行動として出力すべきかは、サービスによって異なる。さらには、各行動判定モジュールの決定木を構築する際に用いる学習用データ自身が曖昧な行動を含んでいる場合、複数の行動判定モジュールが true と判定してしまう可能性が高い。

我々は、コンテキストウェアサービスにおいては推定誤りが少ないことが重要であると考え、上記のように複数の行動判定モジュールが true 判定した場合、分類が難しい行動であるとして「不明」を出力するルールを導入した。以下、導入したルールの詳細を説明する。

1. true 判定を行ったモジュールの数をカウントする
2. true 判定したモジュールが 1 つであった場合、統合推定部は、true であった行動を統合推定結果として出力する
3. true 判定を出力したモジュールの数が閾値以下である場合は、事前に行った個々の行動判定モジュールの性能評価結果に基づき、最も判定精度の高いモジュールの結果を選択する。

4. true 判定を出力したモジュールの数が閾値より多数存在する場合は、判定結果が信頼できないとみなし、「不明」と出力する。
5. true 判定を出力したモジュールが 1 つも存在しない場合は、「不明」と出力する。

4. 実験と評価

本章では、提案した推定方式の性能評価を行う。評価は、個々の行動判定モジュールの性能評価と、行動判定モジュールと統合推定部を含めた方式全体の評価に分けて行う。

4.1 実験環境

実験の概要を表 1 実験条件に示す。10 名の被験者に加速度センサを装着してもらい、屋内で「停止」「歩行」「走行」「階段昇」「階段降」の 5 種類の各行動を行ってもらい、加速度データを収集した。その際、以下の 7 ヶ所にセンサを装着し、データを収集した。なお、加速度センサはワイヤレステクノロジー社製 WAA-006 (3 軸加速度センサ) を利用し、サンプリング周波数 100[Hz] で加速度データを収集した。

こうして得られた、延べ約 270 分程度の加速度データを用いて評価を行う。

表 1 実験条件

被験者数	10名
対象行動	停止 歩行 走行 階段昇 階段降
対象装着位置	胸ポケット 鞆 手持ち ズボン前ポケット ズボン後ポケット 腰(ベルトポーチ) 首(ネックストラップ)
サンプリング周波数	100[Hz]
各行動の計測時間	約1分から3分
収集した加速度データの総計	約270分程度

4.2 行動推定モジュールの性能評価

収集した加速度データを用いて、行動判定モジュールの性能評価を行った。具体的には「停止」「移動」「階段昇」「階段降」判定モジュールが、それぞれ対象とする行動

を true と判定できるか、対象以外の行動を false と判定できるかを評価した。各行動判定モジュールは 3.4 節で述べた特徴量を用いて決定木 (J48) により構築し、10-fold クロスバリデーションにより評価した。その結果を表 2 行動判定モジュールの性能評価 (単位は%) に示す。

表 2 行動判定モジュールの性能評価 (単位は%) の結果から、「停止」および「走行」に関しては 90%以上の精度で、「歩行」「階段昇」「階段降」については、80%程度の精度で判定可能なことが分かった。

4.3 方式全体の性能評価

前節の各行動判定モジュールの性能を利用して統合推定ルール構築し、方式全体の性能評価を行う。具体的には、表 2 行動判定モジュールの性能評価 (単位は%) に示した F 値を各行動判定モジュールの判定性能として利用し、3.5 節で述べた手順に従って統合ルールを構築する。例えば、「走行」判定モジュールの F 値は「歩行」判定モジュールよりも高い値なので、「走行」「歩行」両判定モジュールが同時に true を出力した場合は、「走行」を選択する。また、本評価実験では、3 つ以上の判定モジュールが同時に true を出力した場合は、統合結果を「不明」とする。

統合推定部の性能評価は、行動判定モジュールの評価と同様に、10-fold クロスバリデーションにより行った。その結果を表 3 統合推定部の性能評価 (() 内の数値はモジュールごとの性能) (単位は%) に示す。表 3 統合推定部の性能評価 (() 内の数値はモジュールごとの性能) (単位は%) より、提案方式によって、7 種類の装着位置で 5 種類の行動を F 値で約 80%以上、平均 84.2%程度の精度で推定できることが確認できた。

表 2 行動判定モジュールの性能評価 (単位は%)

	再現率	適合率	F値
停止	97.7	99.6	98.6
歩行	83.7	82.3	83.0
走行	95.2	94.2	94.8
階段昇	81.9	78.8	80.3
階段降	83.2	78.4	80.7

表 3 統合推定部の性能評価 (() 内の数値はモジュールごとの性能) (単位は%)

	再現率	適合率	F値
停止	99.7 (97.7)	97.0 (99.6)	98.4 (98.6)
歩行	81.5 (83.7)	84.2 (82.3)	82.8 (83.0)
走行	93.7 (95.2)	95.4 (94.2)	94.5 (94.8)
階段昇	70.1 (81.9)	90.1 (78.8)	78.8 (80.3)
階段降	76.3 (83.2)	85.7 (78.4)	80.7 (80.7)

4.4 考察

表 3 の結果から、本提案方式によって、「停止」と「走行」は約 90%以上の精度で推定することができる。一方で、「歩行」および「階段昇」「階段降」については、約 80%前後の推定精度に留まる。そこで、装着位置による推定性の違い、および統合推定部での推定結果の内訳を分析し、推定精度低下の原因を調べた。

表 4 装着位置ごとの推定性能 (F 値) の差異 (単位は%)

	stop	walk	run	stairup	stairdown
胸ポケット	100.00	92.59	95.83	79.97	84.41
ズボン前ポケット	98.40	77.06	93.52	71.70	72.82
ズボン後ポケット	99.31	82.51	98.61	82.66	87.24
腰(ベルトポーチ)	99.32	84.67	98.79	86.76	89.55
鞆	95.28	82.86	88.53	80.37	78.95
首(ネックストラップ)	99.41	80.35	96.34	66.68	75.28
手持ち	97.57	80.65	90.82	73.54	73.18

装着位置毎の推定精度を表 4 に示す。表 4 より、主に「階段昇」「階段降」において、ズボンの前ポケット、首(ネックストラップ)、および手持ちのときに、推定精度が低いことが分かる。理由としては、ズボンの前ポケットの場合は、センサを装着している側の足を踏み出したときと、逆側の足を踏み出したときで、加速度の出力が

大幅に異なることが考えられる。首（ネックストラップ）の場合は、身体にセンサが衝突したときの衝撃が悪影響を及ぼしていると考えられる。また、手に持ったセンサでは、計測される加速度の変化が抑えられ、体の動きに比べ、計測される加速度が小さくなり、「歩行」「階段昇」「階段降」で用いる体の上下動に関する特徴量が違いが表れなかったことが原因であると考えられる。今後推定精度を向上させるためには、さらに学習用データを増やすとともに、新たな特徴量の導入が必要である。

次に、表 3 の結果において「歩行」「階段昇」「階段降」の判定精度が、他の 2 つと比較して低い原因を調べるため、統合推定の内訳を分析した。その結果を表 5 に示す

表 5 統合推定部の推定結果の内訳（単位はデータ数）

		推定結果						
		停止	歩行	走行	階段昇	階段降	不明	合計
正解行動	停止	7595	2	1	7	1	9	7615
	歩行	39	11715	69	579	265	1710	14377
	走行	0	25	6507	34	99	281	6946
	階段昇	40	1448	31	13431	1775	2440	19165
	階段降	154	730	216	858	12802	2018	16778

表 5 より、「階段昇」「階段降」と「歩行」「階段昇」「階段降」との間で誤推定するケースが多いことが分かる。また、「階段を昇る」「階段を降りる」ときに、「不明」と出力するケースが多い。

原因としては、現在判定に利用している特徴量が、「歩行」「階段昇」「階段降」を十分に分離できていないことが挙げられる。例えば、図 4 「平地歩行」「階段昇」「階段降」での 1[G]以下の領域の面積の分布に示したように、「歩行」「階段昇」「階段降」の間で特徴量が重なる領域があるため、誤判定あるいは、「不明」が多く出力されるものと考えられる。

また、表 3 統合推定部の性能評価（()内の数値はモジュールごとの性能）（単位は%）の結果より、提案方式における統合推定部は、複数の行動判定モジュールが true と判定したときに、「不明」と分類することにより適合率を向上させる効果があることが分かる。再現率は低下しているが、コンテキストウェアサービスにおいては、誤判定により不適切な動作をする（状況に適さない情報提示など）機会が減るため、提案した統合推定のルールは有用と考える。一方、再現率を低下させずに統合処理を行うには、推定結果の時系列変化を考慮する方法などが考えられる。例えば、ユーザの

行動は連続しており、数秒ごとなどの短い時間内で頻繁に変化しないという仮定の下で、過去一定時間内でもっと回数多く推定された行動を優先的に利用し、一時的に推定結果が誤った場合でも、適切な判定結果を出力できると考える。

また、本稿では推定誤りをより少なくする（適合率を向上させる）という方針に基づいた統合推定ルールを生成したが、推定漏れの減少（再現率の向上）が重要な場合も考えられる。例えば、見守りサービスでは転倒の検出漏れは避けるべきである。そのような場合には、あらかじめ決めた行動（転倒など）を優先的に出力するようなルールを適用することで、対応可能と考える。

5. おわりに

本稿では、携帯電話に搭載された単一の加速度センサを想定し、多様な加速度センサの装着位置においてユーザの行動を推定する方式について説明し、評価結果について述べた。7種類のセンサの装着位置で5種類の行動について収集したデータを用いて評価した結果、約80%以上の精度で行動推定可能であることを確認した。

今後、開発した方式がより多くの人に適用可能かどうかを評価するため、様々な（年齢や性別など）被験者から大量の行動データを収集し、人ごとの特徴量の傾向や、その違いを分析することによって開発方式の性能評価と改良を行っていく。

参考文献

- [1] 小林亜令,岩本健嗣,西山智,「釈迦：携帯電話を用いたユーザ移動状態推定方式」情報処理学会論文誌,Vol.50 No.1, pp.193-208, 2009.
- [2] 池谷直紀,長健太,岡本雄三,瀬戸口久雄,服部正典,「3軸加速度センサに基づく6種移動状態識別方式」DEIM Forum 2010 F10-4, 2010.
- [3] 千葉雄樹,小西勇介,中尾敏康,「ぶらっと Plat@自由が丘におけるタウンログ収集(3) 携帯電話内蔵加速度センサを用いた関心推定」FIT2009(第8回情報科学技術フォーラム),第4分冊 pp.281-284, 2009.
- [4] 宮崎陽司,小西勇介,中尾敏康,小柴等,相原健郎,武田英明,「大型店舗におけるセンサを用いた人・スポットの状況推定の試み-e空間実現のための人・環境センサ活用」FIT2010(第9回情報科学技術フォーラム),第4分冊 pp.431-434, 2010.
- [5] インターネットコム,gooリサーチ「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://japan.internet.com/research/20080819/1.html>