

3 軸加速度センサとPWM制御振動モータを用いたユーザーザ行動と携帯電話接触物体の同時推定

菅原康太[†] 白石陽竹[‡] 高橋修^{††}

近年、動作推定の研究において、単一の加速度センサを用いて高い推定精度を実現している。しかし、多くの従来研究では、ユーザーの動作によって生じる加速度の変化に着目して推定を行うため、加速度の変化が生じない静止物体である静的項目の推定が行えない。そこで本論文では、従来研究の動的項目に加えて、静的項目を同時に推定するために、加速度センサを携帯電話に取り付け、アクチュエータとして携帯電話内蔵の振動モータを使用するアクティブセンシングの手法を提案する。本提案方式では、振動モータにPWM制御を適用して得られる加速度センサデータの特徴量の差異から、動的項目と静的項目両方の高精度のアクティブセンシングの実現を目的とする。評価実験を行い、動的項目と静的項目の11通りの組合せの推定を平均91.32%の精度で判別することを確認した。

Estimation of the User Action and Static Object using 3-Axis Acceleration Sensor and Vibration Motor Based on PWM Control for Cell-Phone

KOUTA SUGAWARA[†] YOH SHIRAIISHI^{††}
OSAMU TAKAHASHI^{††}

In recent years, many researches of the estimation of user action using the acceleration have been appeared. In particular, the precision of estimation using single 3-axis acceleration is improving better and better. However, these researches didn't estimate the state of static object, because the static object causes no change of acceleration. So, these researches have been focused on only the change of acceleration by action of user. In this paper, it is proposed that the estimation method of static object and user action, simultaneously, using the active sensing approach. We use the 3-acceleration sensor and vibration motor attached to cell-phone as the active sensing device. The vibration motor is controlled by the PWM for increasing feature quantity. Also, we implemented our proposal, and evaluated it by the experiment of the simultaneous estimation of 11 classes. As a result, it is clarified that the average estimation rate was 91.32%, respectively.

1. 背景

近年、MEMS (Micro Electric Mechanical System) 技術の発展によってセンサなどの寸法が小さくなることでセンサそのものを身体に装着することや携帯端末に搭載することが容易になってきている。そこで、これらセンサを用いてユーザーの動作や行動を推定して様々なサービスに応用する研究が行われている。例えば、携帯端末内に蔵された小型センサを利用した研究が行われており、林ら[1]は携帯電話に内蔵された加速度センサを用いて「歩き」や「走り」など、歩行の速度の判別を行っている。従来、このようなコンデンタウェアネスに関する研究ではセンシング対象はユーザーの動作や行動といった動的な項目である。しかし、コンタウェアネスのサービスの実現には「歩き」や「走り」などのようにユーザーの動作によって加速度に変化が生じる動的項目に対する推定だけではなく、ユーザーが「静止」していることや、センサが「机の上」にある、などのように加速度に変化が生じない静的項目である静止物体の推定も必要である。

筆者らは、これまでに携帯電話に取り付けた単一の3軸加速度センサを用いて振動モータでのアクティブセンシングを行い、携帯電話に接触している物体の推定手法を提案した[2]。この推定手法により、振動モータの振動による加速度センサのデータから携帯電話が接触している静止物体の推定を行う事でユーザーの置かれている状況の推定が可能となることを示した。そこで、本論文では、この静的項目の推定に加え、従来研究で行われている動的項目も同時に推定する手法の実現を目的とし、動・静的推定項目双方の同時高精度推定手法を提案する。

本論文では2章で関連研究について述べ、3章で要件と課題を設定する。4章で提案手法の説明を行い、5章では試作したシステムの説明と提案手法の評価を行い、6章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

動作推定の研究は、推定項目とセンシング手法の2つの尺度で分類することができる。図1のように従来研究は主に後述するパッシブセンシングによる動的項目の推定が一般的である。一部、静的項目の推定にかかっているのは「立ち」、「座っている」など静止状態の項目の推定が行われていることがあるためである。一方、本研究ではアクティブセンシングによる静的項目である静止物体の推定手法を拡張し、動的項目の推定までの両項目を対象とする。従って、本章ではパッシブセンシングとアクティ

[†] 公立はこだて未来大学院システム情報科学研究科
Graduate School of Future University-Hakodate, Systems Information Science
^{††} 公立はこだて未来大学院システム情報科学部
Future University-Hakodate, School of Systems Information Science

ブセンシング及び、静止物体上の振動に関する研究について述べる。

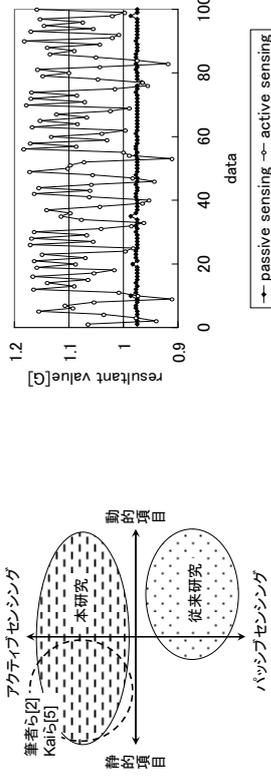


図1 本研究の位置付け 図2 パッシブとアクティブセンシングの差異

2.1 パッシブセンシング

パッシブセンシングは、従来の動作推定のための一般的なセンシング手法である。身体や携帯端末に取り付けたセンサは対象となる人やモノによって動かされ、その加速度の変化データから特徴量抽出を行い、判別することで動作の種類を推定する手法である。特に、近年は単一の3軸加速度センサによる動作推定が多くなっており、1つのセンサを身体や携帯端末に取り付けて推定を行っている。倉沢ら[3]のように携帯電話の加速度センサを用いて靴やポケットの中に携帯電話がある状況を想定した上で、それらの収納場所と「立ち」、「歩き」、「走り」の組合せの推定を行い、96.7%以上の高い推定精度を実現している。また、単一センサでの推定では手首や腰部にセンサを装着するのが一般的であるが、赤堀ら[4]のように日常生活においてさらに邪魔になりにくい場所を考え、みぞおちにセンサを装着して推定を行う研究も存在する。これによりユーザーがペリテリをさらに向上させた上で、歩行で95.7%の推定精度の確保も行っている。

2.2 アクティブセンシング

アクティブセンシングはパッシブセンシングと同様にセンサを身体や携帯端末に取り付ける。しかし、人やモノによって動かされた時の取得データを用いるのではなく、振動、音や光で人やモノなどセンサがおかれている環境に働きかけ、振動、反響音や照度の差をセンサで取得して推定をする手法である。従来のパッシブセンシングでは静止物体は時間変化がない為に、どの物体でも得られるデータは差が生じないために、推定が困難であった。しかし、アクティブセンシングによって発生した振動などの差異に着目することで静止物体間の推定をすることができるようになる。図2は机の上の3軸加速度センサを用いてパッシブセンシングしたデータとアクティブセンシングを行って振動モータの振動を取得したデータの合成値である。パッシブセンシングでは加速度データに変化が見られないが、アクティブセンシングすることでデータに振動に

よる変化が生じることがわかる。Kunzeら[5]の研究では加速度センサを携帯電話に取り付け、アクチュエータとして振動モータとマイクを用いて振動とビープ音から携帯電話が置かれている場所を推定するアプローチを行い、35項目の推定で81%、16項目で95%の精度を実現している。

2.3 静止物体上振動

柳沢ら[6]の研究では、振動モータを用いて静止物体間の接触状態の推定を行っている。この論文では、物体を振動モータで振動させ、伝播した振動を加速度センサで取得して、対象の物体が机の上に置かれているかを判定する手法を提案している。また、その基礎実験として物体の材質による振動の伝播の違いについて実験が行われている。この振動の伝播の違いが、Kunzeら[5]の研究に代表されるアクティブセンシングの手法に生かされている。

3. 要件と課題

本研究では1章で述べたように、筆者らがこれまでに提案してきたアクティブセンシングによる静的項目の推定[2]では、ユーザが行動するという実際の状況に対応していない。そのため、ユーザの行動中における「(携帯端末を)ポケットに入れて歩いている」のような「動的項目+静的項目」の推定が実際の状況では必要となる。そこで、ユーザが行動している中で、従来研究で取り組まれている動的項目の推定も行い、静的項目に関する従来研究と同等の推定精度を実現することが要件となる。しかし、ユーザが行動することで加速度センサを搭載した携帯電話そのものがポケットや鞆の中で動きやすくなり、接触物体ごとの特微量の差異が現れ難くなるのが想定される。さらに、動作と振動の周波数域が大きく異なり、動的項目の振動の周期性が正確に取れないなど、パラメータ設定や推定方式の再考慮が課題となる。

また、筆者らの推定では利用のしやすさや実用性などを加味して2.56sec (=1.28sec × 2)分というごく短時間のデータを用いた推定を行っており、本研究でも時間の大幅な延長を行わないという条件で提案を行う。

4. 提案方式

4.1 提案システムの概要

本提案方式ではPWM制御による振動モータを使用した正確な振動データの取得が前提である。主に、振動モータの振動による加速度データの変化は静的項目の推定に用いる(図3)。この機構を携帯電話に搭載し、加速度データを高速フーリエ変換(以降、FFT)して動的項目と静的項目の推定を行う。本章では4.2節で本研究の基礎となっているPWM (Pulse Width Modulation) 制御[7]について説明し、4.3節で推定する項目について述べる。さらに、4.4節で特微量と要件の対策について述べる。

4.2 PWM 制御

現在、使用されている携帯電話の振動モータの周波数（回転数）は、携帯電話に搭載可能なサイズ・コストの加速度センサのサンプリングレートを超えるため、正確な波形を取得することができなかつた。そのため、筆者らはこの回転制御機構としてモータ制御の技術であり、回路設計・実装が比較的容易である PWM 制御を用いた。PWM 制御とは電源のオン/オフのパルス波の比率であるデューティ比 D を操作する技術である。この操作によってモータに印加する電圧の高低の調節が行え、モータの回転数を高速や低速にすることが可能となる手法である。デューティ比 0.25 の場合、モータへの印加は 1/4 になり、図 4 のように、実際の印加電圧は低下し、モータの回転数も落ちることになる。このデューティ比をサンプリング可能な回転数にあわせることで、従来の加速度センサのサンプリングレートで波形取得を実現している。しかし、欠点として PWM 制御の仕組み上、制御開始直後の電圧が一定に定まらずに回転数が不十分になるラグが発生する点が挙げられる。

$D = \tau / T$ …(1)

D : デューティ比 τ : パルス幅 T : 周期

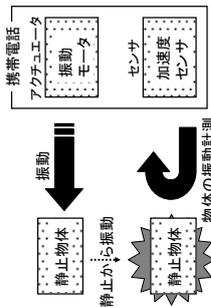


図 3 提案方式概要

4.3 推定項目

本研究では、動作中の静的項目の推定手法が対象であるため、動的推定項目は基本的な「静止」「歩き」「早歩き」の 3 種を設定した。一方、静的推定項目は携帯電話が接触する可能性のある物体、携帯電話の保持状態を表として、ポケット、手持ち、テーブル、鞆（置き/持ち）の 5 種を設定した。取得するデータの組合せは本来、動的項目 3 種×静的項目 5 種の 15 種になるが、「歩き-テーブル」「歩き-鞆（置き）」「早歩き-テーブル」「早歩き-鞆（置き）」の 4 種の組合せは状況が矛盾するため、データ取得を行わず、実際には残りの 11 種の組合せで行う（表 1）。なお、テーブルは様々な材質からできており、材質によって特徴量の差が生じやすいと考えられる。そのため、プラスチック、木とアルミの 3 種の材質のデータ取得し、どの材質でもテーブルと判定できるようにした。また、推定項目名は 3 種の材質をまとめてテーブル

と定義する。同様に、手持ちやポケットなどは個人によって様々な持ち方や入れ方が考えられる。そのため、手持ちでは持ち方、握る強さを、ポケットではポケットに入れるときの携帯電話の上下、裏表など、想定される状況に対して各々のデータを取得し、どの状況でも正確に推定が行えるようにロボラスト性の実現を図っている。

表 1 推定項目名

推定項目	
静止-ポケット (Stand-Pocket)	歩き-ポケット (Walk-Pocket)
静止-手持ち (Stand-Hand)	歩き-手持ち (Walk-Hand)
静止-テーブル (Stand-Table)	歩き-鞆 (手持ち) (Walk-Bag(take))
静止-鞆 (置き) (Stand-Bag(put))	早歩き-ポケット (Jog-Pocket)
静止-鞆 (手持ち) (Stand-Bag(take))	早歩き-手持ち (Jog-Hand)
	早歩き-鞆 (手持ち) (Jog-Bag(take))

4.4 特徴量

本研究ではデューティ比 0.5 の PWM 制御を用いる。これは、基礎実験から 0.5 以上にした場合、周波数が大きくなりすぎて振動データの取得が困難になる上限であることがわかったことと、動的項目の特徴量が現れやすい低周波数域と静的項目の特徴量が現れやすい高周波数域の差別化を図るためである。回転数が多いデューティ比 0.5 に設定する場合、定格回転数が多いシノコ-技研[8]の振動モータでは約 108Hz に換算できるため、加速度データを正確に取得するために、サンプリング定理からサンプリングレートを加速度センサの上限の 200Hz に設定した。

また、特徴量の算出の周波数解析には FFT を用いる。「歩き」や「早歩き」などの動的項目の推定に有効な特徴量の周波数域は 1.5-3.5Hz 周辺であることがわかっていく[10][11]。特に動きがゆっくりで周波数が小さい「歩き」の波形を解析するに当たって、なるべく長い時間のデータを取得して周期性が見られる波形を用いる方が、正確な解析ができる。図 5 は 200Hz でサンプリングした加速度の合成値波形である。グラフからもわかるように、1.28sec 間（256 個のサンプル）では動きによる周期性が見れないが、測定時間を倍の 2.56sec（512 個のサンプル）にすることで、類似する波形が出現し、周期的な波形を得ることができ。そのため、従来は 1.28sec（200Hz、256 サンプル）のデータで行っていた FFT を、倍の 2.56sec 程度のデータで行う事が必要になる。しかし、それ以上のサンプリング時間を実用的ではなく、望ましくない。そのため、データ取得時間 2.56sec 固定の条件での対策として以下の 2 つが考えられる。

- 対策 1 : サンプリングレートを下げる
- 対策 2 : サンプル数を増やす

実験から刻み幅を小さくすると各推定項目の積分値の差が現れ難くなり、推定精度が落ちてしまう結果が得られたためである。また、最大パワースペクトルの算出を2つの周波数域に分けて行っているのは0-40Hzまでを動的項目、40-100Hzまでを静的項目の推定に有効な特徴量として用いるためである。さらに、運動性とは40msごとのデータ間の内積の分散であり、合成値の分散とともに、波形の変化=携帯端末の動きの激しさの指標として用いている。

表 2 使用特徴量

パワースペクトルの積分値	0-10Hz	10-20Hz
	20-30Hz	30-40Hz
	40-50Hz	50-60Hz
	60-70Hz	70-80Hz
	80-90Hz	90-100Hz
最大パワースペクトル	0-40Hz間	40-100Hz間
	0-40Hz間	40-100Hz間
最大パワースペクトル時間分散	0-40Hz間	40-100Hz間
	0-40Hz間	40-100Hz間
分散	合成値	運動性

5. 試作システムの構築

本試作システムは携帯電話での利用を想定しているため、加速度センサを携帯電話に直接組み込み、評価用実験端末として利用する。使用した加速度センサ及び実験端末を図8、図9、本試作システムの詳細図を図10に示す。加速度センサはワイヤレステクノロジー(株)の3軸加速度センサ WAA-001[12]を使用し、最大サンプリングレートは200Hzである。実験端末にはPWM制御に関する回路基板を作成し、組み込んでいる。PWM制御用の信号は使用する加速度センサのオブションとして実装されており、コマンド制御が可能となっている。そのため、PC側からPWM制御命令をBluetooth通信でコマンド実行し、PWM制御での振動を発生させる。加速度センサで取得した振動データはPCへ送信され、PC内でFFT変換から推定までの処理を行う。



図 8 使用加速度センサ

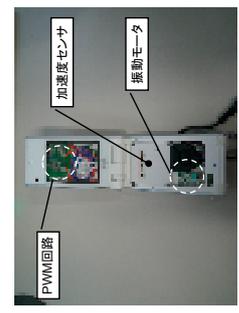


図 9 実験端末

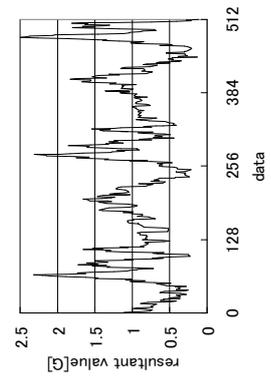


図 5 512 サンプル波形(歩き-ポケット)

対策1ではサンプリングレートを半分の100Hz以下に減らすと可能となるが、4.2節でも触れたように、モータの種類によっては高周波数となる振動の波形が取得できなくなる可能性がある。図6は机の上での振動を200Hzとしてサンプリングした合成値のグラフであり、振動の波形が一定であり、正確に取得できているのに対して、図7の100Hzでのサンプリングの場合、波形に大きなうねりが生じており、正確なデータ取得ができていることがわかる。一方、対策2ではサンプリング数を増やすことで低・高周波数の両方の取得が可能となるが、データ取得にかかる時間が倍になってしまう。本方式では有効な特徴量の取得が困難になる可能性がない対策2を取り入れ、サンプル数を512個に設定する。これによりデータ取得時間は2.56secとなり、低周波数の運動の波形が取得しやすくなる。分解能も(0.390125×n)Hz(nは200以下の自然数)を得ることができ、また、最終的なデータ取得の時間はPWM制御のラグも加味して3-3.5sec程度に収まる。

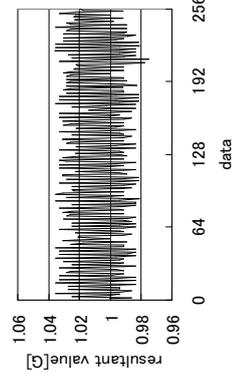


図 6 200Hz サンプル合成値波形

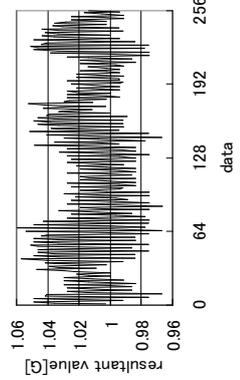


図 7 100Hz サンプル合成値波形

推定に用いる特徴量はFFTの0-100Hzまで10Hz刻みのパワースペクトルの積分値、0-40Hzと40-100Hzの周波数域での最大パワースペクトル値とその周波数、合成値の分散、合成値の運動性の16個である(表2)。積分値を10Hz刻みとしているのは基礎

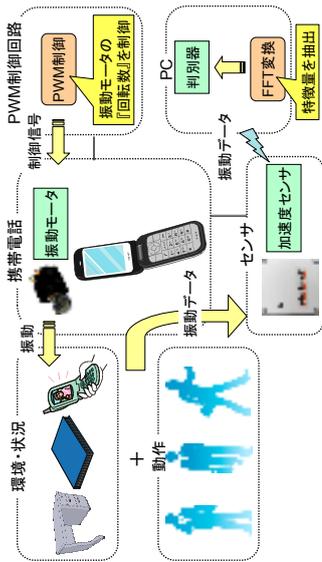


図 10 提案システムの構成

5.1 評価

従来研究では様々な推定手法が用いられている。例として判別木、線形判別、ニューラルネットワークやベイジアン推定などが挙げられる。本研究では推定精度の算出にフリーのデータマイニングツールである weka [9]を用いる。判別には weka に実装されている C4.5 を基にした J48, 3 層パーセプトロン (Multilayer Perceptron), ベイズネット (Bayes-Net) の 3 つを用いて評価を行う。教師データは 4.3 節で述べた 11 種の組合せで各 100 データを取得している。なお、例外としてデータは 3 種の材質から取得するため、各材質 50 データの計 150 データを取得している。そのため、取得した教師データは計 1150 データとなる。

5.1.1 教師データ数の有意性評価

評価に用いるデータは各項目 100 データの計 1100 データを用いる。そのため、データの 150 データは 100 データに減らしている。これら 1100 データのうち、各項目 10 データの計 110 データをテストデータとして用いる。残り 990 データは 110 データずつ増やして、教師データとして用いる。評価は各教師データ数に対して 3 つの手法で精度を算出する。図 11 に各教師データ数における各推定精度の推移のグラフを示す。図 11 から、どの推定手法でも教師データ数の増加に伴って精度向上が見られ、440 から 660 にかけて 1 度精度低下が見られた。結果としてどの推定手法も 990 個の教師データでは 90% 強の精度となった。J48 では 550 データを超えてもわずかながらあるが、精度向上が見られ、本研究で用いた以上の教師データを用いても精度が向上していくと考えられる。また、ベイズネットワークでは 550 データ周辺に正答率の増減が非常に小さくなり、ほぼ収束傾向にあることがわかった。一方、3 層パーセプトロンでは 660 を境に精度低下の傾向が見られることから、660 から 770 の間が最高精度となり、これ以上の教師データの増加は悪影響を与える可能性があると考えられる。

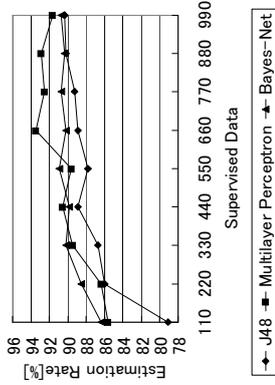


図 11 教師データ数別推定精度

5.1.2 精度評価

評価に用いる教師データは取得した教師データ 1150 個のデータをすべて使用する。データ量が少ないとテストデータによって誤差が大きくなる可能性があるため、正答率には誤差を小さくする事ができる 10-Folds cross-validation (10 分割交差検定法) [13] を用いる。

表 3 と表 4 に 11 種の推定項目と平均の推定精度を示す。平均の推定精度として J48 で 91.32% の精度となり、最も高かった。しかし、残りの 2 種類とも差が 0.5% 未満と精度の大きな開きはなかった。また、項目ごとに見た場合、どの手法でも「歩き-持ち手」「歩き-靴 (手持ち)」「静止-手持ち」「静止-靴 (置き)」の 4 種の項目の精度が他と比べて 10-20% 程度低い結果となった。表 5 は J48 における各項目の推定内訳である。「歩き-手持ち/靴 (手持ち)」はお互いの誤検出が多く、静的項目に関する有効な特徴量の差が得られなかったことがわかり、推定が難しかったと言える。「静止-靴 (置き)」は「静止-テーパーブル」「静止-手持ち」は「静止-靴 (手持ち) /靴 (置き)」の誤検出が多かった。さらに、表 6 の動的項目単体での推定精度からもわかるように、動的項目に関する誤検出はほとんど無く、ユーザーの行動によって静的項目の推定が難しくなっていることがわかった。また、J48 の決定木では合成値の分散は用いられず、動的性の分散が頻繁に用いられていたことから、本方式では合成値の分散は有効な特徴量ではなかったことがわかった。

表 3 推定精度(歩き時と早歩き時)

class	Walk			Jog		
	Pocket	Hand	Bag(take)	Pocket	Hand	Bag(take)
J48	96.15	81.19	82.45	99.4	99	97.72
Multilayer Perceptron	97.95	91.49	88.18	99.85	96.99	94.96
Bayes-Net	98.4	86.47	87.44	99.9	96.65	96.89

表 4 推定精度(静止時と平均)

class	Stand				Total avg.
	Pocket	Hand	Table	Bag(put)	
J48	92.23	85.98	92.95	83.95	91.32173
Multiplayer Perception	89.64	83.48	91.2	76.19	93.62
Bayes-Net	90.7	77.72	92.84	76.5	94.74
					90.9913

表 5 各項目推定内訳(J48)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
a	137	4		7	2						
b	5	91		3	1						
c			93	2	5						
d	6	3	3	85	3						
e	1	1	3	5	89	1					
f						96	2	1	1		
g						1	80	19			
h						1	18	81			
i									100		
j										100	
k											2
											98

- a: 静止-テーパー
- b: 静止-ポケット
- c: 静止-靴 (手持ち)
- d: 静止-靴 (置き)
- e: 静止-手持ち
- f: 歩き-ポケット
- g: 歩き-靴 (手持ち)
- h: 歩き-手持ち
- i: 早歩き-ポケット
- j: 早歩き-靴 (手持ち)
- k: 早歩き-手持ち

※空白部は 0

表 6 動的項目単体推定精度

	Stand	Walk	Jog	Total avg.
J48	99.9	99.2	99.04	99.4897
Multiplayer Perception	100	96.94	96.93	98.4
Bayes-Net	100	97.4	97.27	98.6037

6. まとめと今後の課題

本研究では PWM 制御の振動モータを用いたアクティブセンシングを行い、静的項目の推定に加えて、従来研究で行われている動的項目の推定も同時に行う手法を提案した。また、評価実験より、J48 で 91.32%、ベイズネットワークでも 90.99%の精度を得た。このことより、筆者ら[2]の静的項目単独での推定時の 92.167%の精度に対して、ユーザが行動して「携帯端末が動く」、動的項目の追加による「推定項目が増える」といった推定を難しくする 2 つの制約の中で動的項目を含む提案方式でも同等の推定精

度の実現を実証できた。一方で、4 種の推定項目の推定精度が 70-80%台という低い精度になった点に関しては改善の余地がある。

今後の課題として、静的項目のさらなる精度向上が挙げられる。そのためにはデュアルライクなどのパラメータ設定が必要である。さらに、今後は動的項目、静的項目双方の推定項目を増やすことを考えているため、項目数増加による精度低下を起さないう方式についても検討する必要がある。また、手法のロボаст性考慮のために個人適応技術の検討も課題となる。

謝辞 本論文の作成に当たり、ご協力頂いた NEC サービスプラットフォーム研究所の皆様、謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 林敏樹, 小澤政博, 川西直, 川原圭博, 森川博之: 省電力化に向けたユーザ適応型姿勢推定機構の評価, DICOMO2008, Sep. 2008.
- [2] 菅原康太, 白石陽, 高橋修, 千葉雄樹, 小西勇介, 中尾敏康: 3 軸加速度センサと PWM 制御振動モータを用いた携帯電話周辺状況検出, FIT2009
- [3] 倉沢央, 川原圭博, 森川博之, 青山友紀: センサ装着場所を考慮した 3 軸加速度センサを用いた姿勢推定手法, 電子情報通信学会総合大会(B-15-8), May. 2006
- [4] 赤堀顕光, 岸本圭史, 小栗宏次: 単一 3 軸加速度センサを用いた行動推定, 電子情報通信学会 MBE2005-104, Des. 2005
- [5] Kai Kunze, Paul Lukowicz.: Symbolic Object Localization Through Active Sampling of Acceleration and Sound Signatures, UbiComp2007
- [6] 柳沢豊, 前川卓也, 岸野泰恵, 亀井剛次, 櫻井保志, 岡留剛: 振動波と加速度センサを用いた物体間の接触関係の取得手法, 情報処理学会研究報告 2008 UBI-19, pp81-86, Sep. 18, 2008
- [7] @IT, モータ制御に欠かせない技術”PWM”って何?, <http://monoist.atmarkit.co.jp/fembedded/h8/h8primer09/h8primer09a.html>
- [8] シンコー技研, 製品詳細情報, http://www.shicoh.com/product/vibration/v_1.html
- [9] Weka Machine Learning Project, Weka: Waikato Environment of Knowledge Analysis, <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/index.html>
- [10] 金杉洋, 小西勇介, 柴崎亮介: ウェアラブルセンサによる身体動作の計測と行動モードの識別, 全国測量技術大会 2004 学生フォーラム発表論文集, pp.207-210, Jun. 2004
- [11] Ling Bao, Stephen S. Intille: Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data, PERVASIVE 2004, vol.3001, pp.1-17, 2004
- [12] ワイヤレスデックノロジー(株), 小型無線加速度センサ Model:WAA-001 取扱説明書, http://www.wireless-t.jp/PDF/WAA_001_users.pdf
- [13] C. M. Bishop(元田 浩, 栗田 多喜夫, 樋口 知之, 松本 裕治, 村田 昇 監訳): パターン認識と機械学習 上, シュエリンガー・ジャパン, pp.32-33