

RM-001

## 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

## Estimation of the Circumstance using 3-Axis Acceleration Sensor and Vibration Motor Based on PWM Control for the Cell-Phone

菅原 康太† 白石 陽†† 高橋 修††

Kouta SUGAWARA† Yoh SHIRAIISHI†† Osamu TAKAHASHI††

千葉 雄樹††† 小西 勇介†††† 中尾 敏康††††

Yuki CHIBA††† Yusuke KONISHI†††† Toshiyasu NAKAO††††

## 概要

近年, MEMS 技術の発展に伴い, 加速度センサを搭載した携帯電話が増えてきている. そのため, 加速度センサを用いてユーザの動作を推定する研究が盛んに行われている. 特に, センサ技術の進歩や手法の改善により, 単一の加速度センサを用いて複数のセンサを用いた場合と同等またはそれ以上の推定精度を実現している傾向にある. しかし, これら多くの従来研究では, ユーザの動作・行動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の推定が行えない.

本論文では, 静的項目である「机の上」や「手持ち」といった静止物体の推定を試みるために, 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に内蔵される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差異を用いて, 静止物体の高精度アクティブセンシングを実現する. 評価実験を行い, 8 通りの静的項目の推定を平均 92%の精度で判別することを確認した.

## Abstract

In recent years, cell-phone with 3-axis acceleration is increasing in connection with MEMS technology. Therefore, research that is estimation of user action using accelerations is done. In particular, precision of estimation of single 3-axis acceleration is improving more than estimation using multiple 3-axis acceleration. However, most of research cannot estimate of static object that is changeless of acceleration. This results from research focus on change of acceleration by action of user.

Traditional approach that is estimation of basic action such as “walking” and “running” cannot estimate static object. Therefore, we try other approach that is estimation of static object such as “on the desk” and “has by hand”. In particular, we use approach called active sensing, and 3-axis acceleration sensor and vibration motor attached to cell-phone. Furthermore, we propose high precision active sensing of static object that can increase of feature quantity with vibration motor with PWM control. We conducted the evaluation experiment, and verified estimation of 8 static objects is average 92%.

## 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の動作や行動を推定してさまざまなサービスに応用しようという研究が行われるようになってきている. 小型の携帯端末に内蔵されたセンサが使われており, 林ら[1]のように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う研究などがある. また, 動作推定の研究を応用した消費カロリーや走行距離などの測定機能も携帯端末に搭載されてきている[2]. さらに, i コンシェル[3]のように携帯電話からパッシブに交通やイベントなどの情報が提供されるようなサービスも始まっている.

従来, このようなコンテキストウェアネスに関する研究ではセンシング対象はユーザの動作や行動といった動的な項目である. しかし, コンテキストウェアネスのサービスの実現には「歩き」などのように加速度に変化が生じる動的な項目に対する推定だけではなく, 「(携帯端末が)机の上」などのように加速度に変化が生じない静的な項目である静止物体の推定も必要である. 本研究では単一の加速度センサを取り付けた携帯電話を用いてアクティブセンシングを行い, 従来研究では推定が困難である携帯電話が接触している静止物体の推定手法の実現を目的とする. この手法により, 携帯電話の振動で携帯電話が接触している静止物体や携帯電話の状態の推定が行えるようになり, ユーザの置かれている状況を推定できる. そのため, 着信時の振動から接触している静止物体を推定し, 物体ごとの着信の気付きやすさの度合いによって着信音などの着信モードの設定を変更して電話応答率の向上などのサービス展開へ応用できる可能性がある.

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, 5章では試作したシステムについて述べる. 6章では提案手法の評価を行い, 7章でまとめと今後の課題について触れる.

† 公立はこだて未来大学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システム情報科学部: Future  
University-Hakodate, School of Systems Information Science

††† 日本電気株式会社: NEC Corporation

表1 従来研究詳細

文献	センサ[個]	装着位置	特徴量	推定項目[個]	精度[%]	推定手法
Intilleら[5]	5	左肘, 右手首 腰, 左膝, 右足	平均, エネルギー, 周波数領域エントロピー, 相関	20	77.31±4.328	判別木(C4.5)
倉沢ら[6]	1	携帯端末	分散値, 平均値, 端末傾き パワースペクトル最大値・周波数	14	96.7 / 100	閾値
林ら[1]	1	携帯端末	分散, パワースペクトル最大値	6	93.0±17.5 /99.1±2.0	線形判別分析
Kaiら[8]	2	携帯端末	振動音, 振動の加速度データ, ビープ音	35	81	ベイジアン

## 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」、「座り」など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を対象とする。本章では、パッシブセンシングの手法をセンサ数の違いから触れ、アクティブセンシングについても触れる(表1)。また、静止物体上の振動に関する研究についても触れる。

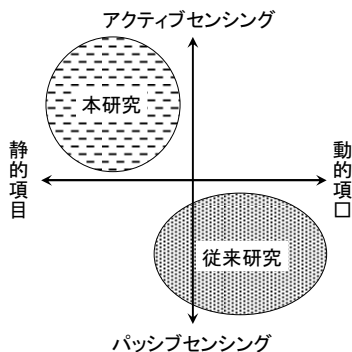


図1 本研究の位置づけ

### 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一般的なセンシング手法である。人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、その加速度データを取得して判別することで動作を推定する手法である。

#### 2.1.1 複数センサによる動作推定

複数センサによる動作推定は、2個以上のセンサを使用してセンシングを行うタイプである。

Kernら[4]の研究では左右の肩、肘、手首、腰、膝、足首の計12個の3軸加速度センサ装着して「立ち」、「座り」、「歩き」、「階段の登り/降り」の推定を行っている。また、Intilleら[5]のように2軸加速度センサを左肘、右手首、腰、左膝、右足首の5ヶ所に装着して「洗濯」、「歯磨き」、「読書」など20もの行動に関する項目の推定を試みる研究もある。この研究では17-48歳という幅広

い年齢層からのサンプリングを行うことでロバスト性の実現を図り、推定項目を増加しても精度を保っている。

この推定の利点はセンサ数が増えることで得られるデータから特徴量が増やせて情報量が増加するため、推定の精度を上げやすいと言える。また、取り付け位置ごとにデータを取得できるため、体の部位ごとの動きを把握しやすい。しかし、これら複数センサによる動作推定は複数のセンサを身体に装着する必要があるため、ユーザに装着の煩わしさを与えてしまう。また、使用するたびに、逐一複数のセンサを身体に取り付ける必要があるため、サービスとして応用するのが難しいと言える。

#### 2.1.2 単一センサによる動作推定

単一センサによる動作推定は1つのセンサを身体や携帯端末に取り付けて推定するタイプである。

倉沢ら[6]のように携帯電話の加速度センサを用いて鞆やポケットの中に携帯電話がある状況を想定した上で、携帯電話の収納場所と動作（「立ち」、「歩き」、「走り」）の組み合わせの推定を行い、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[7]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。これによりユーザビリティをさらに向上させた上で、推定精度の確保も行っている。

この推定の利点として、複数センサで問題となっていたセンサ装着の煩わしさを解消がある。小型化が進んだセンサは軽く、特別意識するような必要はない。また、携帯電話に内蔵された加速度センサを用いることで、さらにユーザが意識をすることなく、動作推定によるサービスを利用することができるようになる。一方、欠点としては単一のセンサを用いることで、得られる特徴量が少なくなるため、高い推定精度の実現をするためには特徴量を増やすなどの工夫が必要となる点が上げられる。

### 2.2 アクティブセンシング

アクティブセンシングではパッシブセンシングと同様にセンサを人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置かれている環境に働きかけ、その反応として得られる振動、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

いために、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は机の上の加速度センサで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したデータである。横軸が時間経過(データ番号)で、縦軸が得られた3軸の加速度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変化が生じていることがわかる。

Kaiら[8]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ピ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が行われている。

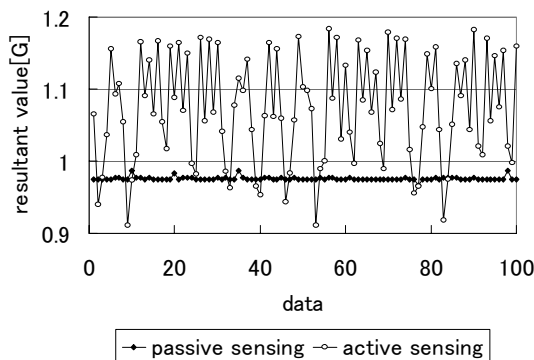


図2 パッシブとアクティブセンシングでの差異

### 2.3 静止物体上振動

柳沢ら[9]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。この論文では物体が机の上に置かれているかを対象の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、従来のパッシブセンシングの手法では推定が困難である静止物体の推定を実現する。特に、携帯端末への搭載センサ数の増加やセンサ装着などの煩わしさの解消などの理由から携帯電話を対象とし、携帯電話が接触している静止物体の推定を行う。そのため、以下の要件が挙げられる。

- 要件1: 携帯電話特有項目の推定
- 要件2: 省電力対策
- 要件3: 推定所要時間の短時間化
- 要件4: アクチュエータの制限
- 要件5: 特徴量の増加

要件1の携帯電話特有の推定項目として「ネクストラップ」や「ポケット」など、従来ではあまり推定対象とされていないような項目を考慮する必要がある。そのた

め、これら項目に対して有意な差異が生じるような特徴量を見つけることが課題となる。また、1章の目的から、着信時の振動を用いて推定を行うことが想定されるため、要件2, 3のように短時間でサンプリングと推定を行い、有限である携帯電話の電源を考慮して省電力化を図る必要がある。そのためには、サンプリングレートを高くして短時間で多くの加速度データを取得し、正確に推定することが課題となる。しかし、要件4として携帯電話に搭載可能なセンサのサイズなどを考えると、その性能には限界があり、200Hz前後のサンプリングレートが上限である。一方、現在の携帯電話に搭載されるような振動モータの回転数(表2)は9500-13000rpmであり、モータの1回転を1振動と換算すると150-200Hz前後の周波数と表現できる。しかし、サンプリング定理からこれらの回転数を用いて正確な振動波形を取得することは困難である。図3は携帯電話を振動させ続けた状態を加速度センサで取得し、合成値をプロットしたグラフである。振動の加速度を正確に取得できている場合、波形は高低一定の値が出力され、波形に規則性が現れる。しかし、この波形では振動を正確に加速度センサで取得できていないため、波形に規則性が見られない。そのため、振動モータの振動を正確に取得するための工夫をすることが課題となる。さらに、携帯電話の使用環境・状況を考える場合、会議室や映画館など、音を出ることができないような場も多々存在する。そのため、従来研究の様なピープ音での推定は避け、振動モータのみでの従来研究と同等の精度を維持することが課題となる。そのため、使用できるアクチュエータに制限があるなかで、精度を維持するために要件5の特徴量を増やすことが必要となる。しかし、使用する1つの振動モータから得られる特徴量にも限界があるため、新たに独自の特徴量を取り入れることが課題となる。

表2 振動モータの性能

メーカー	定格回転数	
	rpm	周波数[Hz]
シコー技研[10]	11300±1800	188±30
ミネベア[11]	11000	183
三洋精密[12]	9500	158

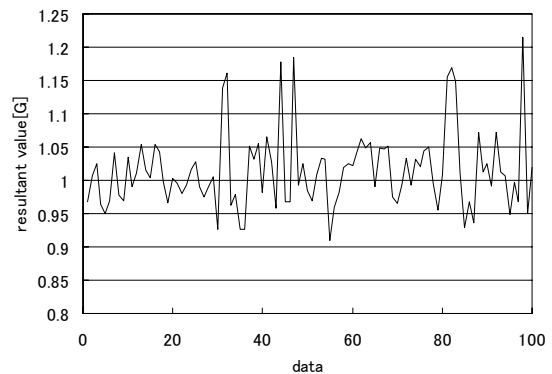


図3 サンプリングレート不足の加速度合成値波形

4. 提案方式

4.1 提案システムの概要

本提案方式ではサンプリングレート不足の問題に対して PWM 制御[13]をした振動モータを使用し、正確な振動データの取得を実現する。この機構を携帯電話に搭載し、振動の加速度データを高速フーリエ変換（以降、FFT）して周辺状況（静止物体）の推定を行う（図4）。

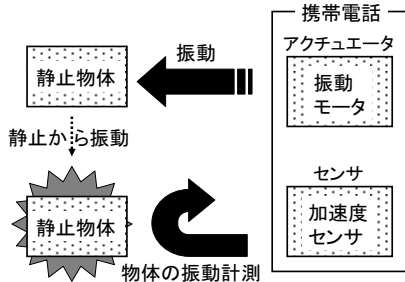


図4 提案方式概要

4.2 PWM(Pulse Width Modulation)制御

3章での課題であるサンプリングレート不足の問題の解決方法は2つ考えられる。1つは加速度センサのサンプリング性能を上げることで、サンプリング定理を満たす方法である。もう一つは振動モータの回転数を落とすことで加速度センサのサンプリングレートに収まるようにする方法である。前者は上述のように携帯電話への搭載を考慮する場合、サイズや価格の制限があり、実現は困難と言える。一方、後者は振動モータと電源の間に回転数を制御できる回路を組み込むことで、既存の技術で実現可能である。

本研究ではこの回転制御機構としてモータ制御の技術として有名で回路設計・実装が比較的容易である PWM 制御を用いる。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を行い、モータの回転数を高速や低速にすることを可能とする手法である。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5のように、実際の印加電圧は低下し、モータの回転数も低下することになる。

$$D = \tau / T \quad \dots(1)$$

$D$ : デューティ比     $\tau$ : パルス幅     $T$ : 周期

そのため、デューティ比を指定することで意図する回転数、すなわち振動の周波数の設定が容易である。さらに、PWM 制御の大きな利点は振動の周波数を変えてゆくことで特徴量を増やすことができる点である。つまり、PWM 制御による回転数の制御により周波数をコントロールすることができるため、50Hz 振動や 100Hz 振動などのように異なる周波数のデータを1つの振動モータから取得することができる。また、携帯端末に接触する静止物体の拘束力などの影響で取得される加速度データにも差が生じる。そのため、周波数回転ごとに特徴量が増え、

得られる情報量も増加する。一方、欠点としては 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。

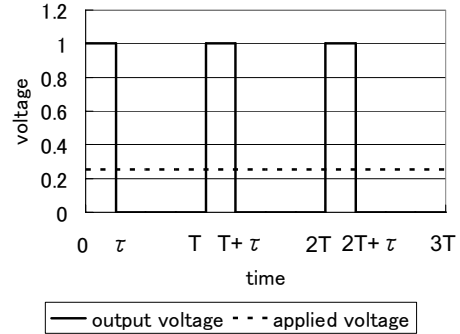


図5 PWM 概念図(D=0.25)

4.3 推定項目

本研究で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から、以下の推定項目を設定した（表3）。なお、テーブルは様々な材質があり、材質によって差が生じやすいと考えられる。そのため、プラスチック、木とガラスのテーブルを別々にデータ取得し、どの材質でもテーブルと判定できるように、推定項目名はまとめてテーブルと定義する。また、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なロバスト性の実現を図っている。これら8つの推定項目の人体を除く材質である木、ガラス、プラスチック、合成繊維、紙の伝播する振動パワーの差については2.3節で述べた柳沢ら[9]の論文でデータ示されている。そのため、本研究で試みる、振動の伝播の差から得られる特徴量を用いた静止物体の推定の実現性を裏付けることができる。

表3 推定項目一覧

ネックストラップ	ポケット(着席)	鞆(置き)
手持ち	ポケット(立位)	鞆(手持ち)
本	テーブル	

4.4 特徴量

4.2節で述べたように本研究では PWM 制御によって周波数の設定を変えることで特徴量を増やしてゆく。今回はデューティ比 0.5 と 0.36（オンオフ時間がそれぞれ 4ms:4ms, 4ms:7ms）を使用し、それぞれを強回転（high rotation）、弱回転（low rotation）と定義する。なお、基礎実験から 0.36 以下にした場合は電力不足から均一に回転しない不完全回転になり、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再び困難になるため、上限と下限として上記2つのデューティ比を用いた。

回転数が多いデューティ比 0.5 に合わせる場合、回転数が多いシコー技研の振動モータでは約 108Hz に換算できる。そこで、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。

デューティ比 0.5 (=強回転), 0.36 (=弱回転) の振動を 200Hz でサンプリングし、合成値を FFT 変換した結果を図 6 に示す。図 6 のように回転数を変えることでパワースペクトルのピーク周波数や周波数全体のパワースペクトル値に差が生じていることがわかる。また、図 7 から図 10 は携帯端末と接触する静的項目と回転数の強弱の組合せを 200Hz, 256 サンプルで FFT 変換したパワースペクトル波形である。回転数を変えることで単純にパワースペクトル波形が低・高周波数にシフトするのではなく、波形そのものに差が生じている。さらに、図 7 と図 9 から、弱回転時のパワースペクトルのピークは手持ち-テーブル間で同じ 64.8Hz であるが、強回転では手持ちが 84.3Hz, テーブルが 89Hz と異なり、ピークの出現周波数に 4.7Hz 程度の差が生じている。一方、図 8 と図 10 から、本と手持ちでは強回転時のパワースペクトルのピークが 84.3Hz で同じ値を示し、弱回転時のパワースペクトルは本が 69.5Hz, 手持ちが 64.8Hz となり、4.7Hz 程度の差が生じている。以上より、強弱 2 つの回転数を用いることで、片方の回転数で得られる情報量が増加していることが確認できた。

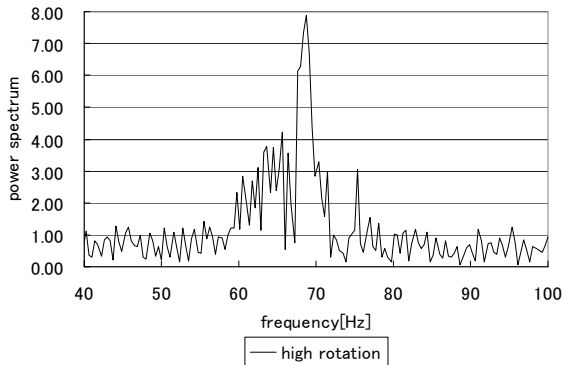
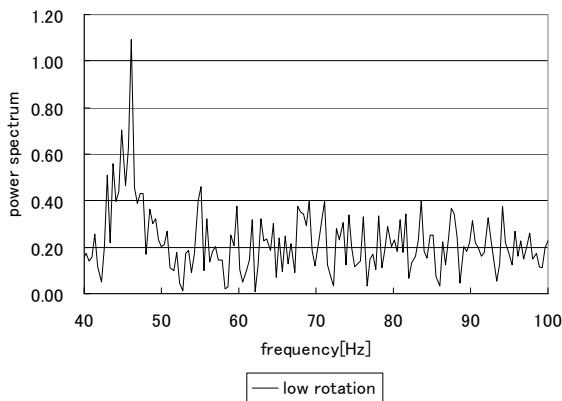


図 6 デューティ比によるパワースペクトルの差異

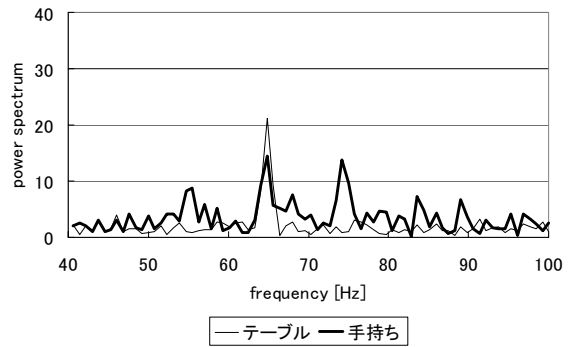


図 7 弱回転時パワースペクトルの差異(1)

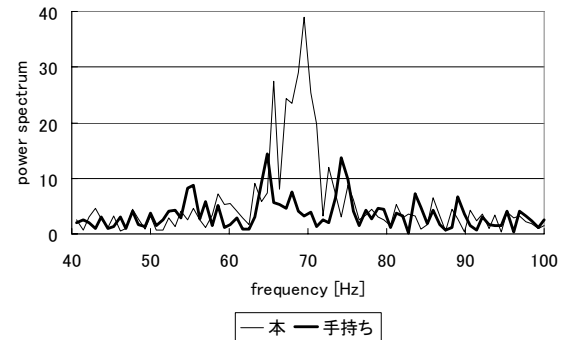


図 8 弱回転数パワースペクトルの差異(2)

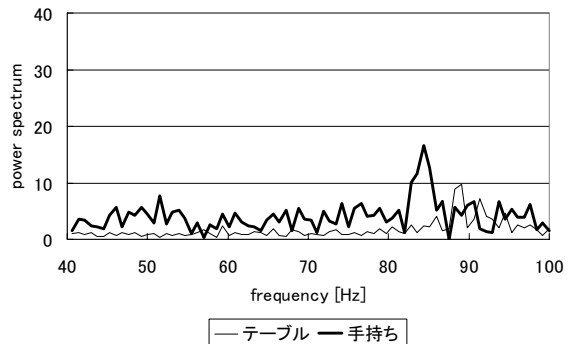


図 9 強回転時パワースペクトルの差異(1)

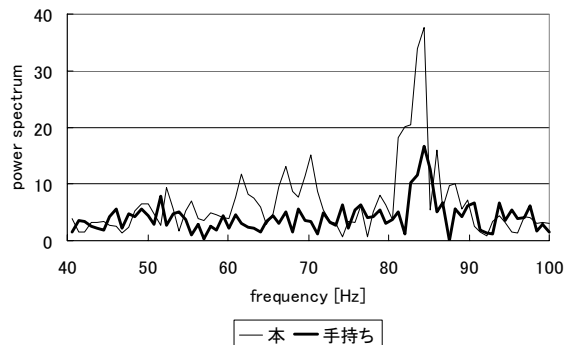


図 10 強回転時パワースペクトルの差異(2)

また、特徴量は FFT 後の振動データの 40-100Hz まで 10Hz 刻みのパワースペクトルの積分値、パワースペクトルが最大時の周波数の 7 特徴量を用いる (表 4)。積分値を 10Hz 刻みとしているのは基礎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にくくなり、推定精度が低下してしまう結果が得られたためである。また、多くの動作推定の従来研究より、特に 20Hz 以下の周波数のパワースペクトルは「歩き」、「走り」など動的な項目の推定において差が生じる周波数域であることがわかっており、基礎実験からも PWM 制御による振動データでは 40Hz 未満の周波数域は静的項目間で有意な差が生じる特徴量ではなかった。そのため、推定に用いる特徴量には必要ないと判断して、本提案方式では用いていない。

表 4 使用特徴量

パワースペクトルの積分値	40-50Hz
	50-60Hz
	60-70Hz
	70-80Hz
	80-90Hz
	90-100Hz
パワースペクトル最大時周波数	

表 5 加速度センサの性能

製品名	WAA-001[14]
メーカー	ワイヤレステクノロジー(株)
軸	3軸
最大取得加速度	±3[G]
通信規格	IEEE 802.15.1 (Bluetooth)
最大サンプリングレート	200Hz



図 11 使用加速度センサ

#### 4.5 推定手法

先行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、線形判別やニューラルネットワークなどが挙げられる (表 1)。

本研究では携帯電話での実装・運用を想定するため、前もって教師データから判別木を作成し、判定プログラムに組み込むことで、計算量を抑えることができる判別木を用いる。判別木の作成にはフリーのデータマイニングツールである weka[13]を用い、判別木作成アルゴリズムは weka に実装されている C4.5 を基にした J48 を使用する。

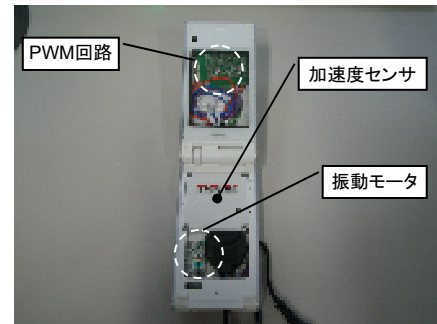


図 12 実験端末

### 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、評価用端末として利用する。使用した加速度センサおよび実験端末を図 11、図 12 に示す。また、本試作システムの詳細図を図 13 に示す。実験端末には PWM 制御に関する基板を作成し、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プ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 制御での振動を起こす。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 変換から推定までを行う。

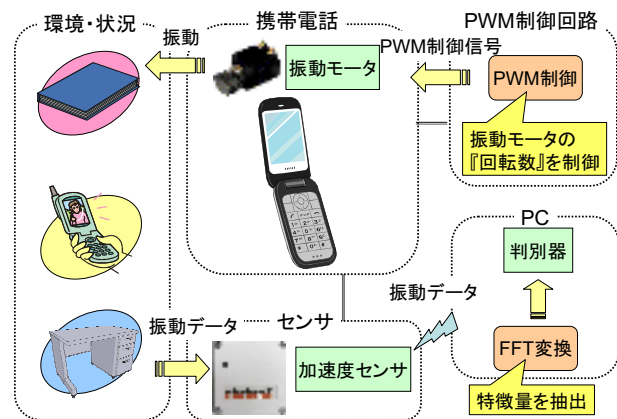


図 13 提案システムの構成

6. 評価と考察

評価は使用する教師データ数の妥当性と判別性能(推定精度)について行う。なお、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、評価の判別性能の正答率には、誤差を小さくすることができる 10-Folds cross-validation (10 分割交差検定) [16]を用いる。

6.1 教師データ数の妥当性

評価は弱回転時と強回転時の併用時の精度で行うため、「正解クラス+弱回転の特徴量+強回転の特徴量」のデータセットを1つの教師データとして表3の推定項目8個に各150個ずつ、計1200個を用意した。今回は、テストデータとして8クラスから15個ずつ、計120個のデータをランダム抽出する。教師データは残りのデータからテストデータと同様に計120個を抽出し、以降は同様に120個ずつ追加し、120から1080までの教師データ群を作成した。ここで作成した各教師データから決定木を作成し、120個のテストデータから正答率を求める試行を行った(図14)。なお、結果の偏りを防ぐために、教師データ数ごとに100回、同様の試行を繰り返している。

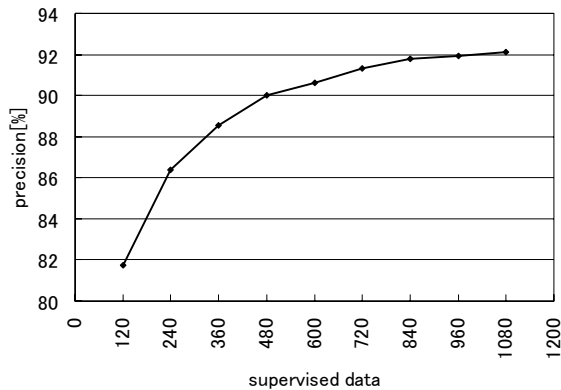


図14 正答率推移

図14から、教師データ数を120個から1080個まで増やすと正答率も増加する傾向が見られる。しかし、840個からは正答率の増加が0.17%程度と小さくなり、収束傾向が見られる。このことから、1080個以上の教師データを用いた場合、大きな正答率の向上が期待できないことがわかる。そのため、本研究の1200個での教師データから判別木を作成したことが妥当と言える。

6.2 判別性能

判別性能の評価では6.1節で使用した教師データと同じものを用いる。ここでは「弱回転時特徴量のみ」、「強回転時特徴量のみ」、「弱・強回転特徴量の併用」の3パターンについて各正答率を求める。特徴量ごとの判別性能を表6、弱・強回転併用時の推定項目別の判別性能を表7に示す。また、その時の各推定項目の推定内容を表8に示す。

表6 使用特徴量別正答率

対象特徴量	正答率(%)
弱回転	85.75
強回転	82.0
弱・強回転併用	92.167

表7 推定項目別正答率

クラス	正答率(%)
ネックストラップ	92.3
手持ち	83.6
鞆(置き)	96.4
鞆(手持ち)	95.3
ポケット(着席)	93.0
ポケット(立位)	85.2
テーブル	97.3
本	94.0

表8 項目別推定内訳

		推定されたクラス(項目)							
		テーブル	手持ち	鞆(置き)	鞆(手持ち)	ポケット(着席)	ポケット(立位)	本	ネックストラップ
正解クラス(項目)	テーブル	146	1		1			2	
	手持ち		125			10	13	2	
	鞆(置き)			146	1		1	2	
	鞆(手持ち)	2	1	2	142			3	
	ポケット(着席)		8			140	1	1	
	ポケット(立位)		12			1	127		10
	本	2		4	1			142	1
	ネックストラップ		2	1	3		6		138

表6から、回転数ごとの特徴量を単独で使用するよりも併用する方が、最大で約12.4%の正答率の向上が見られた。これにより、特徴量増加による正答率向上の有意性が確認できた。また、表7から手持ちとポケット(立位)が他のクラスに比べて80%台と正答率が低くなっている。これは手持ちとポケット(立位)は今回用いた特徴量では値が近く、識別が困難になり、表8からもわかるように、手持ちがポケット(立位)、ポケット(立位)が手持ちと誤推定する頻度が高いために、双方の正答率が下がってしまった為である。そのため、今後は双方に差異が生じるような特徴量を取り入れてゆく必要がある。

6.3 考察

本研究における静止物体の推定を可能としているのは材質(物体)ごとの振動の伝播の差(振動の伝わりやすさ)が一因と考えられる。

また、もう一つの要因として「拘束度」が考えられる。これは握る強さなど、どのくらい携帯端末が固定的であるかということである。本来ならば、ポケットの着席と立位の項目は同じ材質であるため、誤推定が多くなるはずである。しかし、互いの誤推定は各々150データのうちのわずかに1つずつである。「拘束度」という視点で考える

ならば、これは着席ではポケットと体に密着して拘束度が高く、立位ではポケットと体の間にスペースが生まれることで拘束度が低くなっていたため、取得されるデータに差が生じたと考えられる。さらに、ポケットの着席と立位が手持ちと誤推定されていたのは、着席の場合は拘束度の高い状態での手持ちと、立位の場合は拘束度の低い状態での手持ちとして、同じ体という材質(物体)が影響して誤推定されたためであると考えられる。手持ちの場合も同じ理由であると推測される。特に、立位の場合は拘束度が低く、体に触れているという状況からネックストラップとの誤推定が多くなっている。

## 7. まとめと今後の課題

本研究では静止物体の推定に PWM 制御を行った振動モータの振動のアクティブセンシングを用いた。また、PWM 制御による回転速度制御の実現によって強弱 2 つの振動を用いることで特徴量を増やすことができ、それらの特徴量を併用することで単独の特徴量の推定に比べて正答率を上げることが可能となった。今回の提案手法の正答率は平均で 92% となった。

今後の課題として推定精度の向上が挙げられる。そのためには推定アルゴリズムの修正または特徴量の追加が必要となる。また、今後の展開として本システムを拡張し、従来研究で推定が行われている「歩き」や「走り」などの動的項目を静止物体と同時に判別し、「手持ちで歩いている」や「ネックストラップにぶら下げて走っている」といった、「“携帯電話の保持状況” + “動作・行動”」を推定するアプローチへの拡大を考えている。さらに、最終的には本システムをベースとしたサービス応用およびセキュリティ応用を考えてゆく。

## 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 (2008)
- [2] Y. Xu, J. Heidemann and D. Estrin, “Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing,” Proceedings of 7<sup>th</sup> Annual International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom’01), pp.70-84 (2001)
- [3] NTT docomo, i コンシェル,  
[Web]http://www.nttdocomo.co.jp/service/news\_message/iconcier/index.html [Accessed Jan. 27, 2009]
- [4] Nicky Kern, Stavros Antifakos, Bernt Schiele and Adrian Schwaninger, “A Model for Human Interruptability: Experimental Evaluation and Automatic Estimation from Wearable Sensors,” Proceeding of 8<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Wearable Computers(ISWC ’04), pp.158-165 (2004)
- [5] Stephen S. Intille, Ling Bao, Emmanuel Munguia Tapia and John Rondoni, “Acquiring In Situ Training Data for Context-Aware Ubiquitous Computing Applications,” CHI2004, ACM Press, pp.1-9 (2004)
- [6] 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) (2006)
- [7] 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 (2005)
- [8] Kai Kunze and Paul Lukowicz, “Symbolic Object Localization Through Active Sampling of Acceleration and Sound Signatures.”, UbiComp2007 (2007)
- [9] 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 (2008)
- [10] シコー技研, 製品詳細情報,  
[Web]http://www.shicoh.com/product/vibration/v\_1.html [Accessed Feb.3, 2009]
- [11] ミネベア, NMB-MAT, [Web]  
http://www.eminebea.com/content/html/jp/vib\_list/pdf/khn4nz.pdf [Accessed Feb.3, 2009]
- [12] 三洋精密, Products Guide, [Web]http://www.smt-sanyo.co.jp/products/pdf/vibration.pdf [Accessed Feb.3, 2009]
- [13] @IT, モータ制御に欠かせない技術“PWM”って何?, [Web]http://monoist.atmarkit.co.jp/fembedded/h8/h8primer09/h8primer09a.html [Accessed Jun. 29, 2009]
- [14] Weka Machine Learning Project, Weka: Waikato Environment of Knowledge Analysis,  
[Web]http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/index.html [Accessed Feb.3, 2009]
- [15] ワイヤレステクノロジー(株), 小型無線加速度センサ Model:WAA-001 取扱説明書, [Web]http://www.wireless-t.jp/PDF/WAA\_001\_users.pdf [Accessed Feb.3, 2009]
- [16] Christopher M. Bisho (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, pp.32-33, シュプリンガー・ジャパン (2007)