

格納動作パターンを用いた携帯電話 の所有場所判定

金春善 藤波香織

概要. 本論文では、ユーザが携帯電話を身体上の場所に格納する動作のパターン認識を用いて、ユーザの行った動作を認識し、携帯電話の所有場所を判定する。動作のパターン認識を行う際に、携帯電話に搭載された超小型3軸加速度センサからデータを収集して分類器を構築し、リアルタイムに判定を行う。場所判定を行うときの課題は、ユーザが歩いたり走ったりするような動いている場合と、ユーザが立って静止しているような動いていない場合を含めて連続的に正確に場所を判定することである。身体上の携帯電話の格納場所を判定するために、我々は格納動作が生じたときに携帯電話に搭載された加速度センサから得られるデータに様々な加工を施して得られる波形の形状に関するパターン認識を行う手法をとり、オンライン動作時において73.2%の正解率を得た。

Knowing Mobile Phone's Location on the Body Using Storage Motion Pattern

Chunshan Jin and Kaori Fujinami

Abstract. In this paper, we propose a method to identify a mobile phone's location on the body. The method allows a system to detect the change of the location while in a nonstationary motion, for example, the state that a person is standing still. We focus on the identification based on a storage motion pattern of a user. The motion is inferred by an accelerometer attached to user. A storage motion includes features observed from the waveform of data. We report the algorithm and the results of offline/online performance evaluations.

1. はじめに

近年、技術の進歩により無線センサを人間側に持たせることによるウェアラブルセンシングの研究が盛んである[1-5]。ウェアラブル(身体装着性)という特徴により、継続的に装着者の状態を把握し、それに応じたサービスを提供することが可能になる。このようなサービスには、健康モニタリングや行動ロギング、体験記録・共有といったものが挙げられる。しかし従来の研究[5]では、センサが正しい場所に装着(あるいは保持)されていることを前提としている場合が多く、センサの配置が違っていても自発的にユーザに異常状態を知らせることはない。日常での自然なセンシングの受容を高めるためには、元々存在しているモノに埋め込むことが理想であると考えられる。このようなモノには、携帯電話、腕時計、眼鏡、ベルト、カフスボタンなどが挙げられる。一方でこれらの埋め込みが自然であればあるほど、無意識のうちに取り外されたり、落ちたり、装着し忘れたりといったことで、上記のような前提が覆される事態が発生する。システムがこれを把握できないことによって、誤った情報をもとに処理を

続行したり、伝えるべき情報が伝わらなかったりといった事態が発生し、システムの信頼性を損なう。また、正しい装着がされておらず意味を持たなくなったノードにとっても無駄な計算や通信によりバッテリーの浪費が発生する。このため、アプリケーションが設計通りに機能するよう、前提となっているセンサの設置の正しさを保証することが必要となる。本研究は、長期的にはその枠組みと基盤システムを開発することを目指している。ここで保証とは、前提が成立しなくなったことを検出した後に、システムが自律的に修正したり、ユーザにチェックと再設置を依頼したり、動作を停止したりすることで、誤動作が継続することを防止することを指す。このようなシステムの支援で、ユーザはセンサが埋め込まれたアクセサリや衣服を普通に身につけることができる。無意識に装着(保持)場所を変えた結果、アプリケーションにとって意味がない状態になると、適切な処理が実行される。

本論文では、特定の保持場所からのデータを用いる携帯電話上のプログラムのためにその所有状態を継続的に把握する手法を提案する。高機能化された携帯電話は爆発的に普及してきており、我々の日常生活の基盤となっている。GPS や加速度センサ、さらには心拍センサなどを搭載した高機能携帯も発売されるようになってきており、携帯電話の「常時帯同性」を活かして継続的に健康状態をチェックし、重要な変化を検出した場合には的確な対応を図れ

東京農工大学大学院 工学府 情報工学専攻
Department of Computer, Information and
Communication Sciences, Tokyo University of
Agriculture and Technology, Japan

ようになる。また情報の通知手段に関しても、保持する場所によって振動や光、音などを変更したり、コンテキスト認識アルゴリズムを最適化したりすることが可能になる。

本稿の2節では、携帯電話の所有場所と判定方法の方針を決め、3節では判定方法を設計する。4節では判定方法を具体的に述べ、5節では分類器構築に使用した特徴量について説明する。6節では提案した方法を評価する。おわりに7節では、本論文で提案した手法について結論をつけ、将来の課題を提示する。

2. 携帯電話の所有場所と判定方法の方針

本節では対象とする携帯電話の所有場所を定義し、提案する場所判定方式を特徴付ける方針を2つ述べる。

2.1 携帯電話の所有場所定義

ユーザが携帯電話を格納する場所は様々である。既に行われた調査やアンケート[6]および直接の観察を通じて、以下の5種類の場所がよく用いられていることが分かった。

1. ズボンの前ポケット
2. ズボンの後ろポケット
3. 胸ポケット
4. ジャケットのポケット
5. 首に下げている

これらの場所以外にも、女性の場合はバックに携帯電話を入れるケースが多かったが、現状ではバックは判定場所から外している。なお、上記の他にも携帯電話が手に握られている場合を考慮する必要がある。よって6番目の場所として「手」を追加する。図1に判定対象となる6カ所を示す。

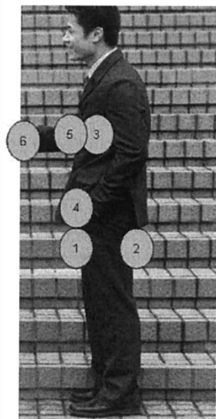


図1 所有場所の定義

2.2 判定方針1—連続的な場所把握

本論文では、連続的な場所判定を可能とする方法を提案する。これは、ユーザが携帯電話の場所を意識的に変えるとき、また無意識のうちに変えてしまう場合を含めて時間上途切れることなく場所の把握が行えることを意味する。図2に示すように、ズボンのポケットに携帯電話(センサ)が入った状態で歩いていた人が、通話のため立ち止まり取り出

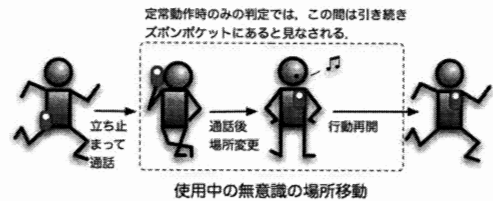


図2 連続的な場所の把握

し、その後無意識的に胸ポケットに入れて再び歩き出す、といった例について考えることにする。Kunzeらの研究[5]も携帯電話の身体上の場所特定を目的としているが、周波数成分を中心とした特徴量を用いて歩行時のような定常的な動作中を対象としている。このため、上述の例のようにユーザが静止している間に場所が変化した場合には動きは非定常的なものとなり、場所判定は正しく行われない。判定の正確さと実用性のために、ユーザが動いているとき(定常動作)と、動いていないとき(非定常動作)の両方を含めて、連続的に場所判定を行うことが、本論文での場所判定の特徴の一つである。

2.3 判定方針2—波形形状のパターン認識

連続的に場所判定を行うために、携帯電話が身体上の場所(2.1節に列挙した場所のうちの1~5)に格納された後の状態と動き、携帯電話をその場所に格納するときの動作を識別することにした。これらの動作を認識するために、3軸加速度センサから得られたデータの波形形状のパターン認識を行う。

パターン認識[7, 8]にあたってはパターンを特徴付ける特徴量を選定する必要があるが、行動やデータの分析からそれぞれの動作は、次のような基本要素から成り立っていると考えた。

1. 携帯電話の向き
2. 動作の方向
3. 動作の速度
4. 動作のばらつき
5. 動作の周期性

これら5種類の基本要素から任意の動作が生成される。

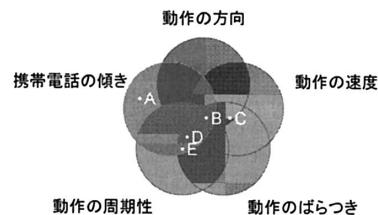


図3: 格納動作
(A, B, C, D, E は任意の格納動作)

例えば、図3において動作 A は携帯電話の傾きのみ(基本要素1)の影響を受けている動作を表しており、手に握ったままで身体の動きはあまりない状態を示している。また、動作 D と E のように一つの区間は複数の動作を示しているようになっている。

これらの基本要素は、センサから得られたデータが描く波形により特徴付けられる。基本要素の具体的な値、例えば値の大きさ、限界値(加速度が単純増加した最長時間等)、可能値(格納動作にかかる時間等)、相互関係などは、データを時系列グラフ化したときに確認できる。このような理由から、動作のパターン認識を行う際に、波形形状のパターンを認識することにした。

3. 判定方法の設計

本節では 2 節で決定した所有場所を判定するための判定方法を設計する。その際には 2.2 節と 2.3 節で述べた 2 つの方針をもとにする。

3.1 要求条件と実現方針

判定方法は以下の条件と方針を満たすように設計する。

1. ユーザに余分な負担をかけないで判定を行う。ユーザにとってごく自然な動作を用いて所有場所判定を行わなければならない。判定のためにのみ必要なものを新たに身につけることを強いてはならない。
2. ユーザと周囲の人に不快感を与えない。
3. シンプルな判定を行う。
4. 拡張性を持たせる。
5. 頑健性を持たせる。

上記の設計条件を満たすように、方法を選択する。携帯電話が身体上でどの場所にあるかを判定するとき、しかし、条件1)と2)を満たすために、本論文では加速度センサ[9]を使うことにした。またコストの面から考えた場合、3軸加速度センサ1個を使うことにした。近い将来に携帯電話に加速度センサが搭載されることを想定し、ユーザは携帯電話を持ち歩くだけといったシンプルな行動を行うことで、その携帯電話の所有場所判定が可能になるように手法を提案し、条件1)、2)、3)を満たすようにしている。また、携帯電話の所有場所判定は、2.1 節で決められた場所以外のその他の場所が追加された場合でも判定できるような手法をとり、条件4)を満たすようにしている。今回の判定方法を貫く特徴は、条件5)で挙げている頑健性である。携帯電話を身体上のある場所に格納するとき、その格納動作のパターンは個人によって異なるのみではなく、ユーザ1人に対しても置かれている環境などにより変化するものである。従って、予測もしなかった環境変化や想定以外の動作にも対応できる方法を使うようにした。

3.2 所有場所判定のプロセス

判定の流れを図 4 に示す。まず3軸加速度センサから生データを得る。得られた時系列生データに対して、サンプル数 600 のウィンドウを生成し、次段の分類器に渡す。なお、600(15 秒)サンプルは、事前の観察において、携帯電話を判定対象となる場所に格納する際に最も長くかかった時間をもとに決定した。また、ウィンドウのスライド幅は1サンプルである。

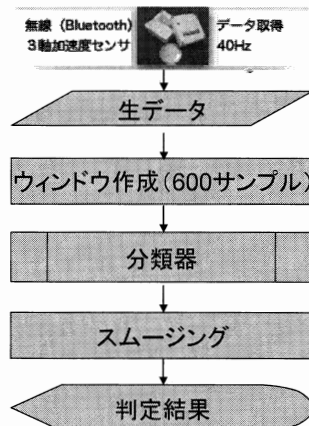


図4 判定のプロセス

分類器は、6カ所の判定場所(図1)についてそれぞれ分類した結果を出力する。分類器の最初の分類結果(C1)が定常動作ではないとき、セグメンテーションを行い、ウィンドウからさらに格納動作を表す波形を切り出している。セグメンテーションについては 4.2 節で詳しく説明する。

分類の後に判定の有効性を高めるために、動作の実行可能性を考慮したスムージング処理を追加する。スムージングした結果を最終判定結果として出力する。

4. 判定方法

4.1 分類器の作成

εr分類は図5に示すように多段階に実施する。

基本的な考え方は、予備実験の分析を元に明らかに特徴が異なり分類しやすいクラス(あるいはクラス群)から先に分類していくことで、誤分類の可能性を減じようというものである。ただし、定常動作においては6節で述べるように非常に高い判別が可能であるので、計算量削減の観点から一度に分類を行う。分類の流れを以下に示す。なおCは分類器(Classifier)を表す。

- C1: 動きの有無を判定。動作中ならば C2 を使用。静止中ならば C3 を使用。
- C2: 手を除く5種類の場所を判定。
- C3: 取り出したか(手にしたか)、それ以外の場所に格納したかを判定。格納したとされた場合には C4 を使用。
- C4: 首にかけたか、ポケットに入れたか判定。ポケットに入れたならば C5 を使用。
- C5: ジャケットのポケットに入れたか、それ以外のポケットに入れたかを判定。それ以外のポケットに入れたと判定したならば C6 を使用。
- C6: 胸ポケットに入れたか、ズボンのポケットに入れたかを判定。ズボンのポケットに入れたと判定したならば C7 を使用。
- C7: ズボンの前ポケットか、後ポケットかを判定。

なお、7つの分類器は多層パーセプトロン(Multi-Layer Perceptron)により実現し、パラメータは LNKnet[10]を用い

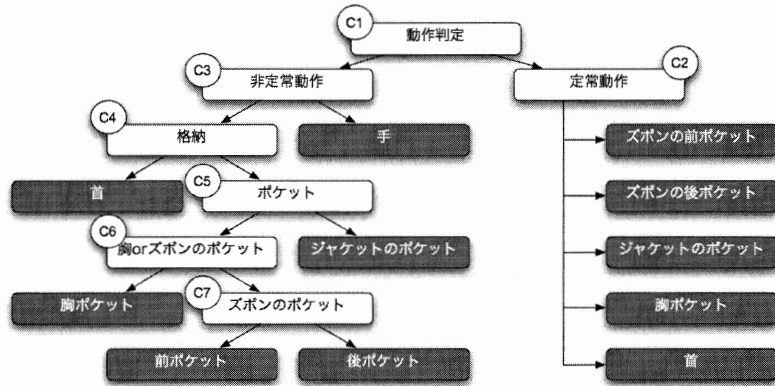


図5 分類器の構成

て決定した。特徴量は5節で詳述する。

4.2 セグメンテーション

前述のように分類は1ウィンドウ(600 サンプル=15秒)毎に行われる。分類器3 (C3)に与えられるウィンドウには、携帯電話の格納動作を表すデータと、これに関連しないものが入っている。判定を正しく行うために、1ウィンドウ中のデータから格納動作のみを切り出す必要がある。図6に格納動作を含む1ウィンドウ分のデータの波形を示す。

現状では、携帯電話を身体上のある場所に格納するとき、その前後に3秒以上他の動作がないことを前提とする。ウィンドウ内データの移動標準偏差が一定値以上の区間が一定時間を超えた場合(変動区間)に格納動作が行われたと判断して、変動区間と前後の3秒間の静止状態を含めたも

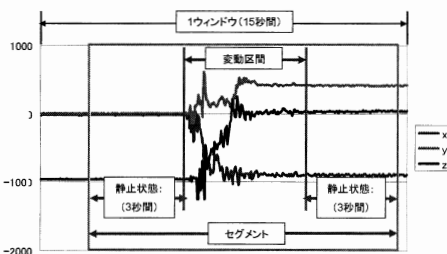


図6 セグメンテーションの例

のをセグメントとし、次段の分類処理に渡す。

4.3 スムージング

分類はウィンドウ毎に行われるため、誤判定により判定のたびに異なる場所を分類結果として得る可能性がある。これをノイズと見なし、ノイズ除去のための平滑化処理(スムージング)が必要となる。本システムでは、動作の実行可能性を考慮したスムージング処理を行っている。動作の実行可能性とは、ある動作をユーザが現実的に実行可能であるか否かという性質である。

2.1節で定義した6種類の判定場所間の関係は図7のように表すことができる。6種類の場所を手と、手を除いたその他の場所に分けて考えることにすると、「その他」の場所

への移動は格納動作によって携帯電話の所有場所が変化する場合に必ず手を経由する。このような事実を反映して起こりえない移動を除外する処理をスムージングとして取り入れている。例えばある格納動作に対して、分類器でその他の場所の一つである首に下げていると判定されたとする。前の判定結果が手であったならば判定結果は首に下げているとされるが、ズボンの前ポケットであった場合には首に下げていると結論づけずに、前の判定結果を引き継ぐ。

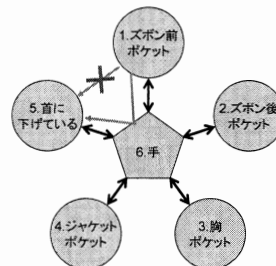


図7 スムージング処理

5. 分類器構築に使用した特徴量

以下では 4.1節で述べた分類器を構築する際に使用した特徴量について説明する。

5.1 格納動作のパターン認識—波形のパターン認識

2.3節で述べたように、携帯電話を格納する動作は基本要素の組み合わせで構成されるとする。また、基本要素の具体的な値は、格納動作から得られたデータの波形に現れることも既に述べた。つまり、格納動作パターンの認識は波形のパターン認識である。

格納場所に特有な格納動作パターンを表す波形を得るために、生データに対して「加工」を施す。生データの波形の例として図6が挙げられる。3軸加速度センサのX,Y,Z軸のデータは格納動作によって生じる加速度を記録してい

るが、生データだけではパターン認識をするための特徴を得ることが難しい。そこで隠れた特徴を見出すために、ウィンドウ(または格納動作セグメント)内の生データのミクロな特徴の変化を表す波形に加工し、これから得られる特徴量を当該ウィンドウに対する特徴ベクトルの1要素とする。

実際に特徴量を計算する際には図8のようなプロセスをたどる。すなわち、ウィンドウ(または格納動作セグメント)内の生データは小サイズのサブウィンドウに分割され、サブウィンドウ毎に平均や標準偏差のような代表値が計算される。そしてサブウィンドウを時間軸上で移動させることにより、この代表値の時間変化を表す波形を得ることができる。代表値が「平均」である場合には、簡易的なフィルタとしてよく用いられる「移動平均」を指している。なお、この加工は1度だけでなく、必要に応じて2度以上繰り返される。このように加工されたデータを行動認識に用いる例は文献[11]や[12]で

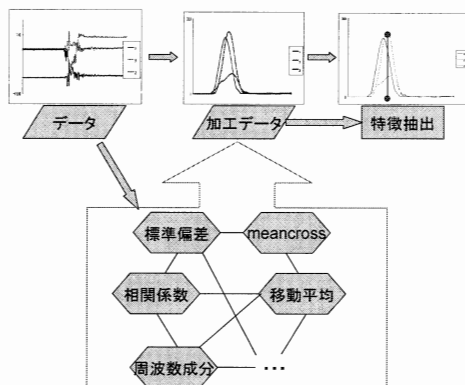


図8 生データから特徴量を算出するプロセス

も報告されており、特徴抽出が容易にできる。

5.2 波形のパターン認識のための6種類の基本概念

加工により得られた波形から特徴量を算出するために、次のような基準から波形を観察する。各波形の特徴を抽出するために、次のような点(基準)に着目する。

1. 波形の特徴点の値
2. 波形の特徴点を表す時間
3. 値のばらつき
4. X,Y,Z 軸の値の関係
5. 波形の輪郭(直線なのかまたは曲線なのか)
6. 波形の周期性

それぞれの基準に対して複数の特徴量を定義した。基準1には25個の特徴量を設定したが、例としてX軸加速度値の最大値が挙げられる。次に、基準2には18個の特徴量を設定したが、例としてウィンドウ(またはセグメント)内でX軸加速度値が最大値となる「位置」が挙げられる。データのばらつきを表す基準3には13個の特徴量が設定されているが、X軸加速度値の絶対値が既定値を横切る回数が挙げられる。波形で観察できる3軸加速度値の相関関係を表す基準4には16個の特徴量が選定されている。基準5に設定されている特徴量の数はもっとも少なく4つが設定されているが、例えばZ軸の移動平均のばらつきを表す特徴量

(標準偏差)がある。最後に、基準6には8つの特徴量が含まれている。なお、付録に全特徴量を列挙している。

6. 評価

以下では提案方式の評価について述べる。

6.1 評価方法

評価はオフラインとオンラインにより行った。オフライン評価は、予め収集しておいたデータからテストデータを作成し、そのテストデータに対して判定を行い評価する方法である。評価はLNKnetを用いて4-fold cross validationにより5名に対して行った。学習及び評価用データは、静止時の各場所への移動動作を10回ずつ繰り返すとともに、携帯電話を各保管場所に格納して30秒間歩くことで作成した。なお、オフライン/オンライン評価ともに、ワイヤレステクノロジー社製無線3軸加速度センサを携帯電話の模型に取り付け、重さや把持感覚を実際の加速度センサ内蔵携帯電話に近づけて実施した。

一方、オンライン評価は本判定システムを実装し、実際に被験者が使用した結果と判定結果を比較することで行う。今回は非定常動作時の場所判定のみを評価した(図5のC3以降)。オフライン評価に参加した5名に加え4名が新たに加わり計9名が被験者となり、静止時の各場所への格納動作を10回以上繰り返した。

オンラインでの実験環境を図9に示す。無線加速度センサからのデータは判定システムが稼働するPC上に送信され、ビューワアプリケーション上の人物画像上の該当する場所に判定結果がマークされる。実際の被験者の行動とこのマークを見比べることで、リアルタイムに判定結果を確認することができる。この確認方法により、ビューワアプリケーション上に正しく表示された回数をカウントし、正解率を求

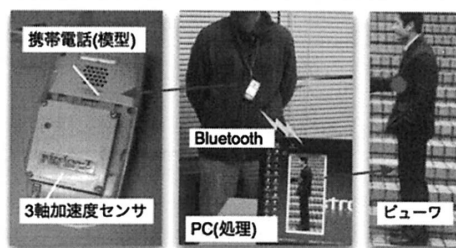


図9: 実験環境

めることができる。

6.2 評価結果と考察

図10にオフライン評価結果を示す。ここでは、分類ごとにあるクラス(場所)に正しく分類された割合(正解率)と内訳を表すデータ数が示されている。なお、下位の分類器(または所有場所)の判定結果は、その上位の分類器の判定結果の影響を受ける(例えば図10で、手の正解率は99.2%であるが、上位の分類器C1の判定結果の影響を受けるため、手の最終的な正解率は $99.4\% \times 99.2\% = 98.6\%$ になる)。これを考慮して、静止時の格納場所移動動作時の正解率を求めたものを表1に示すが、6カ所の平均正解率は76.7%である。表1から分かるように、最下位の分類器で判定された所有場所である前ポケットと後ポケットの正解率

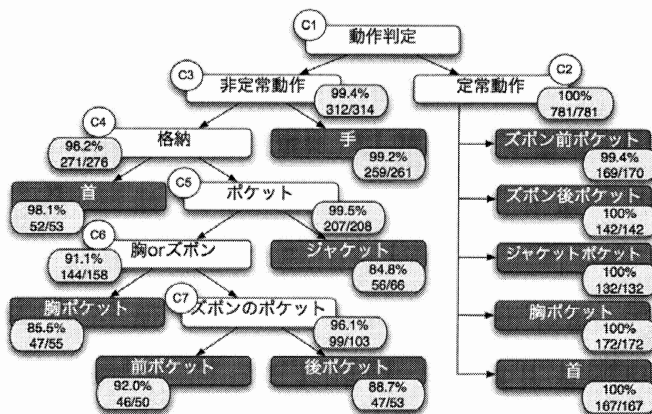


図10 オフライン実験結果

はそれぞれ 60.3%と 58.1%となっている。

一方、オンライン評価では、非定常動作を中心に評価を行った。被験者 9 人に対して行ったオンライン評価の平均正解率は 73.2%であり、オフライン評価より正解率が若干低い程度である。オンライン評価時に、被験者が予想外の動作(例えば、ヘアスタイルを気にして普段は携帯電話を首にかけたことがない人がゆっくり首にかけの動作をした。)を行ったことが平均正解率を低下させたと考えられる。

なお、被験者9人の中、5人に対して行った判定の内訳を表2に示す。この表よりズボンの前ポケットを後ろポケットだと誤判定されたケースが 25 回で、ズボンの前ポケットの合計パラメータ数 66 で閉める割合は 3 分の1近くまで及んでいることが分かる。学習データ収集に参加した被験者が、実験当日に学習データ収集時に履いていたズボンと異なるズボンを履いていたことも一因であるが、誤判定が多く生じた大きな理由はズボンのポケットの形状が大きく違っていたことであると考えられる。

他の重要な理由としては、セグメンテーションの失敗が考えられる。セグメンテーション(4.2 節)のために、現状では

表1 オフラインでの各場所の最終正解率

場所	正解率(%)
首に下げている	96.7%
ジャケットのポケット	82.0%
胸ポケット	64.5%
ズボンの前ポケット	60.3%
ズボンの後ポケット	58.1%
手	98.6%
平均	76.7%

表2 非定常運動時のオンライン判定結果(正解率%)

1. 首, 2. ジャケット, 3. 胸, 4. ズボンの前ポケット, 5. ズボンの後ろポケット, 6. 手

	1	2	3	4	5	6	total	%
1	64				1	1	66	96.9%
2		49		6	6	29	90	54.4%
3	2	5	37	2	15	5	66	56.0%
4	5	7	2	26	25	1	66	39.3%
5	4	3	3	2	48	6	66	72.7%
6	1	2		2		55	60	91.6%

一定時間(動作の前後 3 秒間)静止が必要とされるなど、被験者は自然な動作が束縛されている。このように、リアルタイムで評価を行う際に不適切な条件を設定したことが、セグメンテーションが失敗した原因である。

なお、分類方法の着衣の違いに対する頑健性を評価するために、ポケットの形状が異なるジャケットを複数用意し、被験者にこれらを着用してもらった上で、携帯電話の格納動作の判定能力を評価した。その結果、認識率に大きな違いは見られなかった。既に述べているように、ズボンの前ポケットの判定結果はポケットの形状によるが、ジャケットのポケットはその形状の影響を受けないと考えている。その理由は、ズボンの前ポケットとは異なり、ジャケットのポケットへの格納動作の学習データの中に、その異なる形状に対する格納動作のデータが収集されていたことが考えられる。

7. おわりに

本稿では、携帯電話の身体上の所有場所を判定する方法を提案し、評価を行った。従来の方式では、所有場所の把握が連続的に行われていない問題があったが、本稿で提案した手法を用いることで、判定が連続的に行われるようになった。身体上の携帯電話の格納場所を判定するために、我々は格納動作が生じたときに携帯電話に搭載された加速度センサから得られるデータに様々な加工を施して得られる波形の形状に関するパターン認識を行う手法をとった。この手法のオフライン評価とオンライン評価を行ったが、非定常動作の場合、ともに 70%以上の正解率が得られた。予想外の動作、セグメンテーションの失敗、学習データの少なさといった問題があり、今後は、信頼性向上の実現のために、判定方法を見直しながら、学習データ量を増やし、十分な学習を行うことを考えている。

謝辞

本研究は、科学技術振興調節費「若手研究者の自立的な研究環境整備促進事業」および文部科学省特別教育研究費共生情報工学研究推進経費の支援を受けた。

参考文献

[1] 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 軸加速度センサ姿勢推定”, 情報処理学会研究報告, UBL-11, pp.15-22, 2006
- [2] 村田賢, 河村竜幸, 河野恭之, 木戸出正継; “体験セグメンテーションを目的とした身体装着マルチセンサ時系列情報の分析”, 人工知能学会第 18 回全国大会, 2004
- [3] Nicky Kern and Bernt Schiele; “Multi-sensor activity context detection for wearable computing”. In *European Symposium on Ambient Intelligence (EUSAI2003)*, 2003.
- [4] Susanna Pirttikangas, Kaori Fujinami and Tatsuo Nakajima; “Feature Selection and Activity Recognition from Wearable Sensors”, In *Proc. of the 3rd International Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS2006)*, pp. 516-527, 2006.
- [5] Kai Kunze, Paul Lokowicz, Holger Junker and Gerhard Tröster; “Where am I: Recognizing On-body Positions of Wearable Sensors. In *Proc. of LoCA 2005*, pp. 264-2275, 2005.
- [6] アイシェア, 意識調査“携帯電話, 忘れて困る. 自宅に忘れた経験9割”
http://blog.ishare1.com/press/archives/2005/11/post_19.html, November 2005
- [7] 鳥脇純一郎; “パターン情報処理の基礎”, 朝倉書店, 2003
- [8] 荒木雅弘; “音声認識システム”, 森北出版, 2007.
- [9] ワイヤレステクノロジー(株); 小型無線加速度センサ, <http://www.wireless-t.jp/>
- [10] MIT Lincoln Laboratory LNKnet. URL: <http://www.ll.mit.edu/mission/communications/ist/lnknet/>.
- [11] Nobuhiro Inagawa and Kaori Fujinami; “Making Reading Experience Rich with Augmented Book Cover and Bookmark”, In *Proc. of the 8th Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI2008)*, pp. 157-166, 2008.
- [12] Ryan Aylward and Joseph A.Paradiso; “Senseble: A Wireless, Compact, Multi-User Sensor System for Interactive Dance”, In *Proc. of the 2006 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME06)*, pp. 134-139, 2006.

付録:特徴量一覧 (下線は末尾に説明あり)

基本概念	個数	特徴量
1. 波形の特徴点の値	25	3軸直和の変動区間の長さおよび格納動作の始まりと終わりを表す20サンプルのそれぞれの合計; {X, Z}軸, 3軸直和のそれぞれの最大値と中心点の値; {X, Z}軸, 3軸直和上で, 格納動作がある前後の一定数のサンプルの絶対値の平均; {X, Y, Z}軸の値で0より大きい値と0より小さい値の数の比; 3軸直和の移動合計でその値が一定値以下であるケースの数; {X, Y, Z}軸の移動合計の平均; {X, Y}軸の移動合計の移動標準偏差の移動平均の最大値; Y軸の値が一定値以上でX軸の値より大きい値の割合と, X軸の値が一定以上でY軸より大きい値の割合.
2. 波形の特徴点を表す時間	18	{X, Y, Z}軸, 3軸直和の最大値の位置; {X, Z}軸, 3軸直和の変動区間の中心点と, それぞれの移動代表周波数成分(または移動標準偏差)の最大値の差と, 変動区間の比; {X, Z}軸, 合成の変動区間の中心点と, それぞれの移動合計を用いて求めた移動代表周波数成分の最大値の差と, 変動区間の比; {X, Y, Z}軸の合計の移動代表周波数成分の密度の最大値の位置; 3軸直和の移動meanクロスの最大値の位置; {X, Y, Z}軸の移動標準偏差の最大値の位置.
3. 値のばらつき	13	X軸, Y軸, Z軸, 3軸直和の移動meanクロスの最大値; X軸の値で絶対値が既定値を横切る回数; Y軸の値で既定値を横切る回数; Z軸で絶対値が既定値を横切る回数; 3軸直和の値が1既定値を横切る回数; X軸, Y軸の値の符号が同じであるケースと違うケースの数と変動区間の比, {X, Y, Z}軸の移動標準偏差の最大値; Z軸の移動標準偏差の最大値.
4. 各軸の値の関係	16	{X, Y, Z}軸上で, 格納動作がある前後の50サンプルの合計のそれぞれの比; X軸の絶対値が大きくなるとき, Y軸の値が小さくなるケースの数; X軸の絶対値が小さくなるとき, Y軸の値が大きくなるケースの数; X軸の値が既定値以上で大きくなるとき, Y軸の値の符号が変わるケースの数; Y軸の値が既定値以上で大きくなるとき, X軸の値の符号が変わるケースの数; {X, Y}軸の移動合計の平均; {X, Y, Z}軸の移動合計の移動標準偏差の平均の比と大小関係; {X, Y}軸の移動合計の値の最小二乗法により求めたパラメータ; {X, Z}軸の移動合計の値の最小二乗法により求めたパラメータ.
5. 波形の輪郭	4	3軸直和の値で, 値の大きさが単純増加または単純減少するとき(近似直線), 傾きが一番大きい場合(最大近似曲線)のサンプルの数; 最大近似直線の位置, 最大近似曲線の傾き; {X, Y}軸の符号を考慮した移動標準偏差の移動平均の最大値.
6. 波形の周期性	8	{X, Y, Z}軸, 3軸直和の移動代表周波数成分の最大値; {X, Y, Z}軸, 3軸直和の移動合計の移動代表周波数成分の最大値.

【用語の説明】

- 3 軸直和: X 軸, Y 軸, Z 軸の合計
- 変動区間: 時系列データ上で, 偏差値と時間が一定値以上である区間
- 移動平均(標準偏差, mean クロス, 代表周波数成分); 時系列データを, サンプルを一つずつ移動させながら一定時間で平

均(標準偏差, mean クロス, 代表周波数成分)を求める.

4. mean クロス: 平均を横切る回数
5. 合成: 3 軸それぞれの値の二乗の和の平方根
6. 符号を考慮した標準偏差:

$$\sigma' = s \sqrt{\text{abs}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s(x_i - \bar{x})^2\right)}$$

なお, s は $x - \bar{x}$ の符号が正の場合 1, そうでない場合は -1;

abs は引数の絶対値を返す関数

7. 代表周波数成分: 周波数成分の多少を表す値. サンプルの値と移動平均の差の絶対値が, 移動標準偏差より大きいケースの合計