

携帯電話の格納場所連続監視手法 ～歩行時および格納動作時判定処理の文脈的併用～

河内 智志¹ 藤波 香織¹

概要: 近年報告されている携帯電話の格納場所認識手法の多くは歩行動作に着目するものであり、判定可能な状況が限定的である。本研究では歩行動作および携帯電話の移動時の動作に着目した判定手法を動的に切り替えることによって、この欠点を解消した。これらは交差検定の結果、歩行時判定は75.7%、格納時判定は68.5%の精度を示した。また、手法の動的切り替えは、実環境での歩行実験を行いその頑健性と正確性を確認できた。よって提案手法は格納場所情報を連続的に提供することにより、センサコンテキストに応じた適切な処理の切り替えを行うモバイルセンシングの実現を支援するものとなった。

A Recognition System for Positions of a Pedestrian's Smart Phone: Combining Recognitions about Walk and Store Motion

KOUCHI SATOSHI¹ FUJINAMI KAORI¹

Abstract: A mobile phone is getting ready for sensors and aware of various contexts about a user and the terminal itself. The contextual information is utilized to provide an appropriate information/service to a user. In this paper, we propose a placement recognition of a mobile phone terminal on the pedestrian's body. The uniqueness of the proposed method is that it supports recognition not only during walking but also at the time of storing by taking into account the carrying context of a terminal. The proposed method supports recognition not only during walking but also at the time of storing by taking into account the carrying context of a terminal. The experimental results under strict conditions (Leave-One-Subject-Out Cross-Validation) showed that the accuracy for the recognition while walking and that of storing gesture recognition were 75.7% and 68.5%, respectively. We also report a feasibility study under realistic conditions.

1. はじめに

モバイルセンシングにおいてはその装着場所がセンサ値に大きく影響する。我々はこれまでに加速度センサを利用し、歩行動作中に身体上5か所(図1①～⑤)の候補から端末の格納場所判定を行う機能の提案と実装を行ってきた[13]。しかし、歩行中のみを対象としたその手法は、静止中や端末の利用中など判定結果を保証できない範囲が存在していた。本稿ではこの問題点を解消するため、端末の格納動作に着目した判定手法を提案し、歩行動作による場所判定との併用によって連続的な格納場所監視を実現する。この連続監視では端末の現在位置を図1に示した7つ

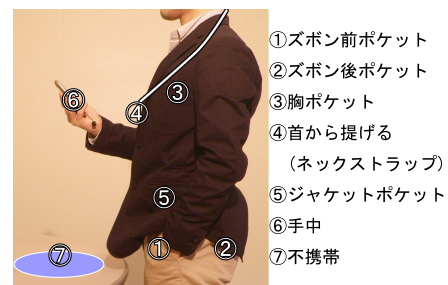


図1 判定候補の場所

の場所から特定することが可能である。

2. 関連研究と現時点までの課題

身体センサの装着場所は、それを扱う多くの事例において重大な関心事項である。Miluzzoらは下位層でセンサコ

¹ 東京農工大学 工学部 情報工学専攻
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo
University of Agriculture and Technology

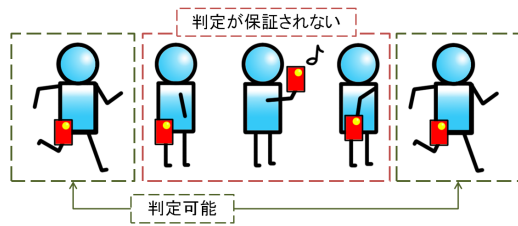


図 2 既存手法が判定を保証できないシナリオ

ンテキストの認識を行い、上位層でその結果を受けて適切にセンサ処理を行う階層構造のセンサ処理を提案し、身体センサの利用には格納場所の認識が必要と主張した [3]. また、センサ装着位置の認識についての報告が既に存在しており、倉沢らは胸ポケット、ズボンのポケットのセンサ位置推定を行っている [12]. しかし胸ポケット検知には座る動作、ズボンポケット検知には歩行動作を前提とするなど判定可能な状況が限定的である. Vahdatpour らは歩行時に得る加速度の違いにより身体を 10 か所に区分した位置からの装着位置の認識を試みた [6]. また Shi らは加速度と角速度のセンサを併用することによりセンサが身体上もしくは鞆の中にあることの判別を行った [5]. しかし、Vahdatpour らおよび Shi らの提案手法は歩行時に限定したものである. 少なくとも図 2 が示すシナリオにおいても連続した判定を行えることが、携帯電話の格納場所監視の実用化に必要である. すでにわれわれの研究グループでは格納場所の連続監視のコンセプトとして、歩行時の動作を対象とした判定と格納時の動作を対象とした判定の併用を提案した [11]. しかし、その併用手法は格納動作の前後 3 秒間の静止が必要であるなど、2 つの判定手法の切り替え制御が不十分であった. 本稿ではこの欠点を解消し、端末のより自然な取り扱い動作に対応した手法の提案を行う.

3. 格納場所の連続監視手法

3.1 提案手法の概要

2 節で述べた問題点を解消した格納場所の連続監視アルゴリズム (図 3) を提案する. 提案手法は歩行時判定を含む M 系処理と格納時判定を含む G 系処理、そして共通処理である C 系処理の 3 つに分かれている. 提案手法の特徴は歩行動作に着目した場所判定 (以下、歩行時判定とも呼称) と格納動作に着目した場所判定 (以下、格納時判定とも呼称) の動的な選択である. これによって歩行時のみならず、ユーザの停止時や端末の利用時も判定を切らずに連続して行える. 手法選択は C2 のジェスチャ判定による分岐が軸となる. C2 では端末が受けた移動動作検知の役割を持つ. 検知されるべき移動動作は端末の格納場所への格納および取出し、さらに手元から机上などに置く動作とその反対の取り上げのジェスチャ動作である. C1 において取得された加速度ウィンドウ中に端末の移動動作が含まれている場合には G 系処理へ、そうでない場合は M 系処理

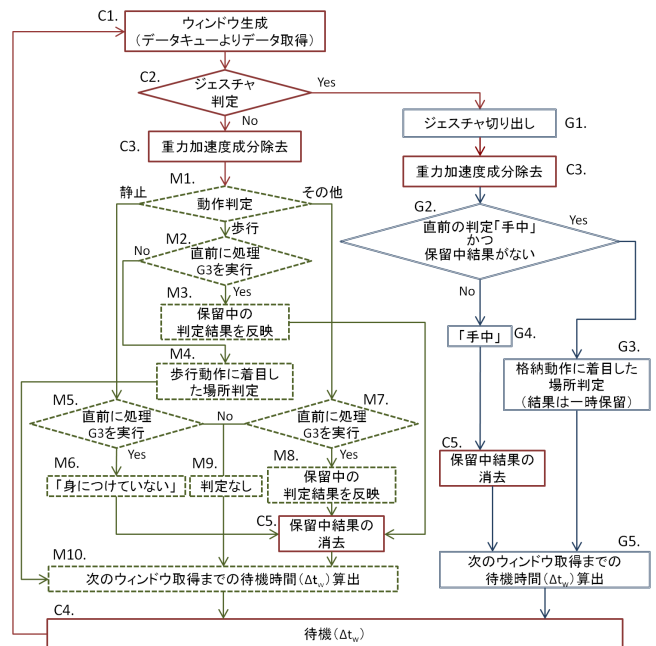


図 3 格納場所連続監視アルゴリズム

へ分岐させる. C2 における検知手法の内容は 4 節にて述べる. この連続監視はアルゴリズムをある間隔において繰り返し行うことで実現する. この際に M 系処理と G 系処理で待ち時間 Δt_w が異なる. C3 における重力加速度成分に関しては文献 [1, 7, 9] において“その加速度軸が受ける重力加速度成分はその全体の平均値に近似できる”といわれている. これを利用して、ウィンドウの加速度平均値を求め、各加速度値との差を取る. 3 軸全てに対してこれを行うことで近似的に重力加速度成分を除去する.

3.2 格納時判定を含む G 系処理

G 系処理では格納動作による移動先の判定を行う. この際、端末の移動動作が発生した時の格納状態から文脈的に判断を行うが、端末が手を介して移動することを前提とし、図 4 の状態遷移を想定する. これに基づき、端末の移動動作を動作発生時の端末の格納状態から「手への移動」と「手からの移動」の 2 種類に大別して考える. 端末が「手中」にないときに発生した移動動作は全て「手への移動」とし、判定は「手中」となる. 「手中」にない状態は、「手からの移動」と「手への移動」が連続して発生した場合を考慮して、後述する格納時判定の保留が行われている場合も含む. 「手からの移動」については図 4 が示す 2 種類の移動先が考えられる. この判断は移動動作のさらに後の端末の動作によって区別するため、移動動作の発生時点では 6 節で述べる格納時判定を行いつつ、その結果は一度保留とする. そして次ループにおいて端末がなんらかの動作を受けた場合は保留した身体上格納場所へ移動したとし、一方で静止していた場合は手元から離れた「不携帯」状態と判断する. これは図 3 の M1, M2, M5, M7 にあたる.

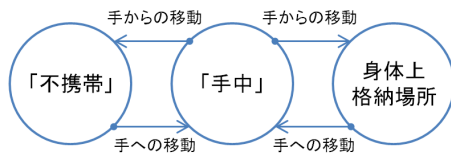


図 4 手を介した端末の移動遷移図

3.3 歩行時判定を含む M 系処理

M 系処理では M1 において当該ウィンドウに含まれる動作が歩行動作であることを確認して 5 節で述べる歩行時判定を行う。M1 の動作判定には Murao らが提案した動作判定手法 [4] を応用し、歩行動作でないと判断されれば G 系処理に関連した文脈的判断を行う。なお、歩行時において歩行時判定と格納時判定の結果に矛盾が生じた場合は条件に基づいて歩行時判定の結果を優先することがある。その条件とは、歩行時判定が一定回数以上連続して同じ結果を出すことである。これは現状では格納時判定より歩行時判定の方が精度が高い傾向にあること、格納時判定は単発の動作に対する判定であるのに対して歩行時判定は連続した多数の動作から十分なデータを得て判定が行える分有利であることを考慮した上での処置である。現在はその回数を 50 回としている。

3.4 待機時間 Δt_w について

格納場所の監視は基本的には 300 ミリ秒間隔で行う。そのため M10 では C1 の開始時刻 t_s と M10 の開始時刻 t_e から $\Delta t_w = 300 - (t_e - t_s)$ として算出する。ただし、以下で述べるように G 系処理後の Δt_w はこれと異なる。提案手法では移動動作の検出を軸とした文脈判断を行うため、移動動作の重複検知や見落としが許されない。そのため処理が終了した移動動作を過不足なく適切に次のウィンドウから除外する必要がある。C1 では 1 ウィンドウサイズ分のデータキューに加速度値ストリームデータを保持しており、ウィンドウ生成とはこのキューからのデータコピーを指す。そのため、G5 で待機時間 Δt_w を調節することでキューから検出済みの移動動作が流れ消えるまで待つこととした。G5 での算出は、先の t_s, t_e の他に、移動動作の先頭および末尾データの取得時刻 t_0, t_1 を用いて $\Delta t_w = (t_e - t_s) - (t_1 - t_0)$ としている。

4. ジェスチャ判定のための移動動作検知手法

4.1 手法概要

図 3 の C2 および G1 に関する移動動作検知について説明する。移動動作検知は大きく 3 つの手順から成る。その手順とは (1) 移動平均計算による平滑化、(2) 移動標準偏差波形の計算後、3 軸を平均、(3) 閾値判定、である。手順を追うごとにウィンドウの波形は図 5 のように変化する。(3) の閾値判定では図 5 下段に対して閾値 90 を適用し、こ

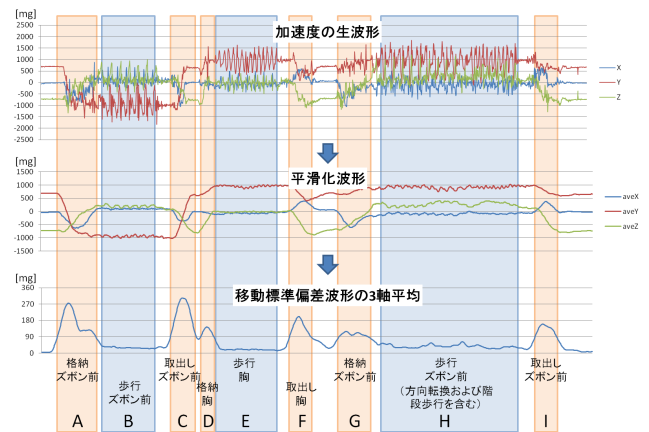


図 5 移動動作検知の流れ

(A, C, D, F, G, I が移動動作として検知されている)

れを超えた区間を移動動作として検知し切り出す。

本手法の特徴は段差を超えるときなどの歩調の変化を誤検知せず、端末の場所移動時の動作を見落とさず検知できることである。図 5 の生波形では H 区間に不安定な地形での歩行を、CD 間や FG 間には連続した移動動作を含んでいる。H 区間の歩行では途中で階段を上り、方向転換して同じ道を下るといった不規則な動作を含むが、移動動作を誤検知することはなかった。CD 間で波形が横ばいになっている区間は 800 ミリ秒、FG 間は 2000 ミリ秒であり、移動動作が非常に短い時間で続けて発生しているが、適切な切り分けに成功している。提案した本手法はこのように非常に正確かつ頑健な移動動作検知を実現した。以下、手順 (1) および (2) について 4.2 節と 4.3 節にそれぞれ述べる。

4.2 移動平均による平滑化

ウィンドウ波形内の移動動作を明確化するため、移動平均による波形の平滑化を行う。図 5 中段が平滑化後の波形であり、歩行に伴う振動は軽減、移動動作区間は明確化した。式 1 は加速度系列 A に対して前後 d_a サンプルによる移動平均を行っており、これにより平滑化波形 A' を得る。

$$A'[i] = \frac{1}{2d_a + 1} \sum_{k=i-d_a}^{i+d_a} A[k] \quad (1)$$

パラメータ d_a の設定は、長すぎると図 5 の C と D のような続けて発生した動作は平滑化により消失し、適切に検出できなくなる。一方で短すぎる場合は振動が除去しきれずに残ってしまうため、ささいな歩調の変化に対して敏感になり、歩行中に段差を超える場合などに無駄な移動動作検知が発生してしまう可能性がある。そのため今回は歩行周期をおよそ 1 秒 (サンプリング周波数 25Hz における 25 サンプル分) かつ格納動作が 3 秒ほど (同条件で 75 サンプル) と想定し、1 回の移動平均計算が 25 サンプル以上かつ 75 サンプル以下の区間で行われるよう $12 \leq d_a \leq 37$ が適切と考え、今回の実装では $d_a = 20$ とした。

4.3 移動標準偏差波形の計算

平滑化波形 A' の各値に対して前後 d_v サンプルによる標準偏差の計算を行う。つまり移動平均と似た要領で今度は移動標準偏差とも言うべき系列値を求める。そして3軸分の移動標準偏差系列を平均することによって図5下段の移動標準偏差波形が得られる。1軸分の計算については式2で表現される。 \bar{A} は A' の区間 $[i - d_v, i + d_v]$ の局所的な平均値である。

$$V[i] = \sqrt{\frac{1}{2d_v + 1} \sum_{k=i-d_v}^{i+d_v} (A'[k] - \bar{A})^2} \quad (2)$$

パラメータ d_v の設定は大きいほど移動標準偏差波形のピーク区間が前後に長くなる。移動動作が計算範囲に含まれやすくなるためである。そのため短い方が移動動作区間と移動標準偏差波形の立ち上がり立ち下りの位置が一致しやすくなる。一方で d_v が小さすぎる場合は、移動標準偏差波形が不安定になりやすい。波形のささいな変化に対して敏感に反応するようになるため、本来1つの移動動作が2つのピークに分割されたり、不要な区間でピークが検出される原因となりうる。今回の実装においては以上の要因を踏まえ、実測の上で求めた $d_v = 25$ に設定した。

4.4 誤検知の可能性

検知手法は主に端末の回転に対して反応するため、誤検知が起こる可能性が高い動作が2つある。1つは画面を正面に構えた状態から受話状態に移動するときの動きである。受話状態とは、通話時のように端末を耳元に当てた状態を指す。この動きによって鉛直縦向きから水平に近い姿勢が変わると、その動きを移動動作として切り出してしまふことがある。もう1つは座る動作である。特にズボン前ポケットに端末を入れた状態で椅子に座るとポケットの向き変更に関連して端末が回転するため、移動動作として誤検知されてしまう。先述の通り、本稿で提案する格納場所連続監視アルゴリズムは移動動作検知が処理の軸となる。そのため、このような誤検知は誤判定の直接の原因となる。受話姿勢の例では誤検知によって格納状態になったと誤判定され、座る動作の例では取り出され手へと移動したものと誤判定される。どちらも携帯電話に対して自然に発生しうる動作であるため、8.3節に述べるように今後の対策が必要である。

5. 歩行動作に着目した場所判定

5.1 判定方法

歩行時判定は単一のウィンドウに対して行う。手順は(1)特徴量抽出、(2)分類器による判定、(3)多数決による結果の安定化である。(1)では表1に示した29種類を抽出している。なお表1は情報ゲインによるフィルタ法に基づく貢献度順に並んでいる。x軸は携帯電話の画面に向かっ

て右方向、y軸は上方向、z軸は手前方向である。“周波数ウィンドウ”とはFFTによって得られた周波数成分から2.93Hz帯ずつ取りだし0.1Hzずつスライドさせたものである。0.1Hzのスライド幅はサンプリング周波数25Hzデータ数256におけるFFTの分解能であり、スライド幅と周波数ウィンドウサイズの値は試行を繰り返し精度の高い数値を選んだ結果である。“周波数領域”の低・中・高とはそれぞれ0-4.2Hz、4.2-8.4Hz、8.4-12.5Hzを指す。

分類器はニューラルネットワークの一種である多層パーセプトロンを用いた。分類器は事前に収集したデータセットによる学習を行う。データセットはAndroid端末NexusOneによって25Hzのサンプリング周波数で収集した歩行データの3軸加速度値である。24名(うち女性3名)の被験者が5つの身体上格納場所に対して端末を格納した状態で、1人1場所当たり5分間ずつ平地での歩行を行った。述べ歩行時間は600分に及ぶ。

(3)の多数決による結果の安定化とは、直近20回分の判定結果をバッファし、そのうち最も判定回数が多かった格納場所1か所を当該判定の結果とする処理である。これにより単発的な誤判定を吸収し、判定結果の安定化を図っている。なお多数決において複数個所が同数票となった場合は、最多票を得たうち最新の判定を含むものを採用する。

5.2 歩行時判定の精度評価

歩行時判定単体での精度評価を行う。評価は先述のデータセットを用い、被験者個人のデータに依存しない方式であるLeave-One-Subject-Out Cross Validation(LOSO-CV)によって行った。結果を表2に示す。全体の精度は75.7%であった。なお被験者別の評価データでは最高98.7%、最低47.2%、標準偏差は13.2%だった。首にかかっている状態は正確に検知できる一方で、ジャケットポケットには他の格納場所の判定結果が寄り集まってくるのが分かった。なお被験者本人のみの歩行データで分類器を構築することで97.0%の精度が得られることを確認している[13]。そのため既存のデータセットの学習によって正確な判定が行えないユーザに対しては、ユーザ自身のデータを提供し学習させることで正確な判定が可能となる。

6. 格納動作に着目した場所判定

6.1 判定方法

格納時判定はウィンドウから切り出されたジェスチャセグメントに対して行う。判定にはSVMを用い、セグメントから抽出した特徴量に対して分類器での判定を行う。特徴量は表3に示すものを用いた。なお、表3は判定における貢献度順に並んでいる。SVMはC-SVCアルゴリズムRBFカーネルを用いた。SVMの学習および評価に用いたデータセットについて説明する。被験者15名(うち女性4名)の協力により、NexusOneを身体上格納場所5か所

表 1 歩行時判定における特徴量の貢献度順位

順位	特徴量名
1	z 軸の周波数成分の振幅の第 3 四分位点
2	x 軸の周波数成分の振幅が最大となる周波数
3	x 軸の周波数ウィンドウの振幅の標準偏差の 最大値だった周波数ウィンドウのインデックス
4	低周波数領域における y 軸-z 軸間の相関係数
5	x 軸の低周波数領域における周波数成分の振幅の最大値
6	z 軸の周波数成分の振幅が最大となる周波数
7	x 軸の低周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差
8	x 軸の移動標準偏差の平均値
9	x 軸の高周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差
10	y 軸の周波数成分全体の振幅の最大値
11	y 軸の低周波数領域における周波数成分の振幅の最大値
12	y 軸の低周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差
13	中周波数領域における x 軸-y 軸間の相関係数
14	x 軸の周波数成分の振幅の四分位範囲
15	z 軸の高周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差
16	z 軸の中周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差
17	z 軸の二乗平均平方根
18	y 軸の周波数ウィンドウの振幅の標準偏差の 最大値だった周波数ウィンドウのインデックス
19	y 軸の周波数成分の振幅が最大となる周波数
20	z 軸の低周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差
21	x 軸-z 軸間の相関係数
22	x 軸の中周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差
23	x 軸の二乗平均平方根
24	z 軸の周波数ウィンドウの振幅の標準偏差の最大値
25	x 軸-y 軸間の相関係数
26	y 軸の中周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差
27	z 軸の周波数成分全体の振幅の最大値
28	中周波数領域における x 軸-z 軸間の相関係数
29	z 軸の平均の絶対値

表 2 歩行時判定の評価結果 (LOSO-CV) 行: 正解, 列: 判定
f=ズボン前, b=ズボン後, c=胸, n=首, j=ジャケット

正 \ 判	f	b	c	n	j	再現率
f	3074	1000	41	15	435	67.3%
b	596	3540	146	69	411	74.3%
c	69	118	3510	66	877	75.7%
n	18	28	69	4557	58	96.3%
j	340	210	916	161	2873	63.8%
適合率	75.0%	72.3%	75.0%	93.6%	61.7%	75.7%

へ格納するときの 3 軸加速度データ (サンプリング周波数 25Hz) の収集を行った。1 人 1 場所あたり 30 回ずつの格納動作を行い、合計 2250 回の動作データを得た。この格納動作は被験者の私服に対して行い、格納時の端末の方向や角度は特に統一しなかった。

6.2 格納時判定の精度評価

先述のデータセットを用い、歩行時判定と同様に LOSO-

表 3 格納時判定における特徴量の貢献度順位

順位	特徴量名	順位	特徴量名
1	x 軸の四分位範囲	11	y 軸の二乗平均平方根
2	x 軸の第 3 四分位点	12	z 軸の最小値の絶対値
3	x 軸の二乗平均平方根	13	y 軸の四分位範囲
4	x 軸の標準偏差	14	y 軸の第 3 四分位点
5	z 軸の最大値の絶対値	15	x 軸-y 軸間の相関係数
6	y 軸-z 軸間の相関係数	16	z 軸の四分位範囲
7	z 軸の標準偏差	17	x 軸の最大値の絶対値
8	z 軸の二乗平均平方根	18	z 軸の第 3 四分位点
9	x 軸-z 軸間の相関係数	19	y 軸の最大値の絶対値
10	y 軸の標準偏差	20	x 軸の最小値の絶対値
		21	y 軸の最小値の絶対値

表 4 格納動作判定の評価結果 (LOSO-CV) 行: 正解, 列: 判定
f=ズボン前, b=ズボン後, c=胸, n=首, j=ジャケット

正 \ 判	f	b	c	n	j	再現率
f	208	33	67	17	99	49.1%
b	39	299	21	26	37	70.9%
c	5	7	306	27	15	73.9%
n	1	23	3	382	3	92.7%
j	106	46	15	14	235	56.5%
適合率	50.4%	73.3%	74.3%	82.0%	60.4%	68.5%

CV による評価を行った。表 4 に示した通り全体の精度は 68.5%、被験者別データによると最高 91.3%、最低 48.0%、標準偏差は 11.5%だった。歩行時判定より精度は落ちるが、傾向の類似点が多い。首の区別が最も正確であること、区別が難しいのがジャケットポケットであること、被験者別の最高精度と最低精度に開きがあることが歩行時判定の傾向と一致する。また、被験者に依存した学習を行った場合の精度を確認したところ 89.5%となり、当人の行動データを学習することで精度が大きく向上する点も同じである。

精度が低かった被験者数人の行動を分析したところ、精度低下には 2 種類の傾向があった。1 つは非常にシンプルな格納動作を行っていること、もう 1 つは冗長な動作を含んでいることである。前者は手元から格納場所までの端末の移動が他の被験者と比較して非常に速やかで一切無駄のない動きであった。そのため格納場所ごとの動きの違いが動作の中に含まれづらかったことが判定精度が低くなった理由だと推測する。一方で後者は被験者が脚まで丈がある長い衣服を着ていたため、衣服を除ける動作が格納動作に含まれた。この冗長性により端末が他の被験者とは異なる軌跡を描いたことが原因だと推測する。ある一定の軌跡を描かなければ判定ができないことは、格納時判定にジェスチャ動作認識の技術を応用したため当然の結果とも言える。冗長性を含んだ動作については、今後データセットに含める格納動作を増やせば対応可能であると考えている。

表 5 実証実験における被験者の行動タスク

順番	動作内容	順番	動作内容
1	開始 (手中)	9	歩行 (90 秒程度)
2	ズボン前に格納	10	取り出したまま歩行 (90 秒程度)
3	歩行 (90 秒程度)	11	ジャケットへ格納
4	取り出し	12	歩行 (90 秒程度)
5	ズボン後に格納	13	取り出し
6	歩行 (90 秒程度)	14	首にかける
7	取り出して受話姿勢	15	歩行 (90 秒程度)
8	胸に格納	16	取り出して終了

表 6 判定と実動作の一致度合い (時間分解能 1 秒)
(一致時間割合の平均は 53.5%)

被験者	ルート	歩行時間	一致時間割合
被験者 A	構内ルート	605 秒	53.0%
	構外ルート	702 秒	63.7%
被験者 B	構内ルート	625 秒	53.9%
	構外ルート	596 秒	43.5%



図 6 実証実験の歩行路 (左: 講内, 中央・右: 構外一般道)

7. 実証実験

7.1 実験概要

提案アルゴリズムによる判定手法の動的選択の正確さと頑健さを調べ、実環境への適応性を知るための実証実験を行った。2名の男性被験者に端末を扱う表5の一連の行動を取ってもらい、10分程度の歩行を行った。歩行中は常に実験者が同行し記録を取った。ルートは2種類用意し、1つは大学構内の散策、もう1つは構外の最寄り駅までのルートとし、具体的な道順は当日の被験者に任せた。特に構外ルートは途中で歩道のない路地や横断歩道を含む日常的な歩行行動を想定したものとなっている。なお、ここで用いる2つの分類器にはデータセットの全てを学習させてあるため、ここで協力を得た2名の被験者のデータも学習済みである。

7.2 結果

7.2.1 定量評価

判定結果と実際の行動が一致していた時間を一致時間として秒単位で計測し、総歩行時間との割合を一致時間割合として求め、表6の結果を得た。全体の平均割合は53.5%であった。ただし、提案手法が判定を出すまでに最大10秒程度の遅延が存在するが、一致時間はこれを考慮していないものである。そのため、53.5%の数値は実装した提案手法の判定の精度を直接示すものではない。なお遅延の原因は判定処理の内容によって異なり、歩行時判定に関してはサイズ256のデータキューに行動データの加速度

値 (サンプリング周波数 25Hz) が蓄積するまでに時間を要すること、格納時判定に関しては「手からの移動」の判断のために次のループ処理まで待機することである。

7.2.2 挙動の分析

実装した監視アルゴリズムの挙動をさらに分析するため、最も一致割合が低かった被験者Bの構外ルートについて示す。表7は被験者Bの歩行時の記録である。“処理内容”は監視アルゴリズムの挙動を、“実際の行動”は被験者Bの実際の行動を指す。“時刻”は歩行開始時点からの経過時間を示す。“妥当性”とは監視アルゴリズムの処理内容の正否を2つの側面から評価したものであり、“処理場面”は選択された処理が適切であったかどうか、“判定内容”はその処理における判定結果が適切であったかを評価している。どちらの場合もそのトリガーとなった実際の行動と照らし合わせて評価したため、遅延によって同時点での実際の行動とはズレがあった場合でも挙動として適切であれば○としている。

表7によれば個々の判定結果は誤りが見られるものの、処理場面の妥当性についてはほぼ間違いがない。特に10回発生している移動動作に対して見落としなく検知され全て適切な処理が選択されており、歩行中には誤検知が発生することがなかったことから、監視アルゴリズムにおける判定手法の動的選択には間違いがなかった。特に表7の23番と25番は2つの動作が7秒未満の短時間で発生しているが、24番と26番で適切に2回の動作として検知できている点からジェスチャ検知の正確性がうかがえる。

7.2.3 手中に持った状態での歩行時の挙動

一方で歩行時判定による補正にはいくつかの問題点があった。1つは歩行時に手中にある場合に歩行時判定が発生し、格納状態に判定されてしまうことである。これは表7の18, 19番で起きている。歩行時判定は格納場所内にある端末が受ける歩行動作に対して行うことを想定し、端末が手中にある場合の揺れは想定していなかった。動き以外の情報 (輝度など) を併用することでこのような誤検知を防ぐか、あるいは歩行時判定の判定候補に手中を新設するなど対処が必要である。

7.2.4 歩行時判定による判定の棄却と更新

もう1つの問題点は歩行時判定による誤った補正である。先の手中に持った歩行時にも当てはまるが、4番や9番では正しかった格納時判定の結果に対して歩行時判定による棄却が起きている。これがなければ判定の一致時間

表 7 被験者 B の構外ルートの歩行記録

番号	妥当性		処理内容 (「判定結果」)	時刻	実際の行動	番号	妥当性		処理内容 (「判定結果」)	時刻	実際の行動
	処理場面	判定内容					処理場面	判定内容			
1			処理開始「手中」	0s	「手中」に所持				歩行時判定		歩行中 「胸」
2				24s	格納「ズボン前」				補正「胸」	233s	
3	○	×	ジェスチャ検知 格納時判定「ジャケット」	37s	歩行中 「ズボン前」	15	○	○		319s	取り出し
4	○	×	歩行時判定 補正「ズボン後」	65s		16					
5				120s	取り出し	17	○	○	ジェスチャ検知「手中」	323s	
6	○	○	ジェスチャ検知「手中」	124s		18	×	×	歩行時判定 補正「ジャケット」	345s	歩行中 「手中」
7				125s	格納「ズボン後」	19	×	×	補正「胸」	416s	
8	○	○	ジェスチャ検知 格納時判定「ズボン後」	137s	歩行中 「ズボン後」	20				416s	格納「ジャケット」
9	×	×	歩行時判定 補正「ズボン前」	154s		21	○	×	ジェスチャ検知「手中」	420s	
10	○	○	補正「ズボン後」	174s		22	○	○	歩行時判定 補正「ジャケット」	451s	歩行中 「ジャケット」
11				196s	取り出し (受話姿勢)	23				503s	取り出し
12	○	○	ジェスチャ検知「手中」	200s		24	○	○	ジェスチャ検知「手中」	508s	
13				205s	格納「胸」	25				510s	格納「首」
14	○	×	ジェスチャ検知 格納時判定「ジャケット」	218s	歩行中 「胸」	26	○	○	ジェスチャ検知 格納時判定「首」	521s	歩行中 「首」
						27			歩行時判定	592s	取り出し
						28	○	○	ジェスチャ検知「手中」	596s	

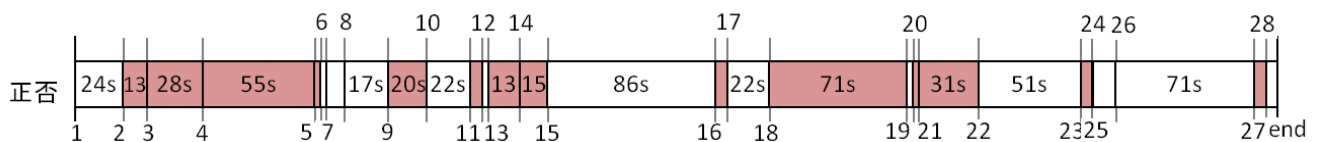


図 7 被験者 B の正否時間 (表 7 の視覚化, 中の数字は秒数. 白枠は正解, 赤枠は誤判定)

割合が下がることはなかった. ただし, 歩行時判定による棄却については正しく作用することもある. 22 番では手中に持った状態での歩行時に出た誤判定により, 格納状態と手中が逆転していた状態を適切な状態に戻すことで, 誤判定状態の連鎖を断ち切ることができた. 監視アルゴリズムは文脈的に過去の判定を参照しながら新たな判定を行うため, 格納状態と非格納状態の誤りは致命的な影響を与える. この状態を正しく補正できた点は評価に値する. また, 15 番でも格納時判定で誤っていた判定結果を正しい結果に補正することに成功している. 歩行時判定による棄却による誤判定は, 今後歩行時判定の精度が向上することで正しい作用をする可能性が高まるものと考えられるため, 連続監視アルゴリズムの機能としては必要であるとして結論付ける.

7.2.5 実証実験のまとめ

提案手法は実環境において適切に判定手法を選択できることを確認した. 一方で手に持った状態での歩行時判定の発生が明らかとなった. また, 判定の一致時間の平均は 53.5%であった. 判定が発生すべき状況について検討範囲を広げることと個々の判定精度の向上が必要である.

8. 将来課題

8.1 判定精度の向上

オフライン処理において被験者本人のデータに依存した学習を行った場合の精度はすでに 90%近い高い精度を得ている. そのため今後は被験者から独立した学習によって高

い精度を得ることと, オンライン処理において高い精度を得ることを目的として検討を進めるべきである. 現在は加速度センサのみを利用しているが, ジャイロセンサによる角速度の利用も動作認識には有効である. 現在利用している NexusOne にはすでに GalaxyNexus など後継機種が存在しており, それらはジャイロセンサの搭載される傾向にある. このことから今後 Android 端末を利用する上で角速度値が利用しやすくなると予測する. そのため, 加速度 3 軸に角速度 3 軸を加えた 6 軸で行動データを得ることで今までより取得する情報を増やすことができるため, 歩行時判定にも格納時判定にも有効であると考えられる.

8.2 鞆への対応

提案手法では格納時判定において鞆に入れる事例を考慮していない. これは鞆に端末を入れる動作を特定の格納動作として定義できないことが最大の理由である. このため, 動きの違い以外の情報を取り入れた手法の開発が必要となる. しかしながら, 歩行時判定における鞆への対応はすでに [14] で報告している. ところで, 端末は不携帯のまま鞆に入った状態で放置されることも, 「手中」に存在することもある. 現状では単一の場所について判定を行っているが, 鞆のような複合する状態を考慮するならば現在の候補場所とは別のパラメータとして鞆を扱う方法が必要になる.

8.3 文脈的判断の頑健性向上

提案手法は端末の移動動作検知を軸として一部に文脈的な判断を行っている。しかし、端末の手元での回転、座る動作、実証実験における手中に持った時の歩行といった動作の誤検知が指摘された。このような誤検知をなくし、端末の格納状態のより確実な判断を行う手法が必要である。

1つの方法として能動センシングが考えられる。Harrisonら [2] は光強度センサと LED を用いた端末の状況認識を行った。端末付近の物体へ LED より光を発生し、物体の光反射・吸収特性の違いを検知することで物体認識を行い、その物体の種類によって端末の存在場所を推測する手法である。このような能動センシングならば端末側の都合で認識が行えるため、より適切な検知ができる可能性があるが、既存の端末には十分な光強度センサが搭載されていない。そのため携帯電話への能動センシングの実装はマイクとスピーカーを用いた音に注目した方が容易と考える。すでに Miluzzo らは音の識別により端末が格納状態か外に出ているかについての判定を試みている [3]。Miluzzo らは単純に環境音を拾うだけだったが、ここに能動センシングの手法を取り入れ、スピーカーから微小音を発生してその反響音によってポケットや鞆の中にあることを検知すれば、端末が中にあるか否か判断できる可能性がある。格納状態が正確に検知できれば文脈判断を誤ることはなくなり、より正確に判定結果を提供できると考える。

8.4 消費電力の削減

本提案手法では 300 ミリ秒ごとに特徴量計算や機械学習を利用した行動認識による判定を繰り返しているため、相応の電力リソースを消費する。実測によって動画の連続再生ほどの消費はないが、MP3 音源の連続再生と同程度の消費であることが確認されている。スマートフォンにとって電力は生命線といえる重要なリソースであるため、このような省電力化への対応も重要な課題の一つである。格納場所の変化が長く発生しない場合は連続監視アルゴリズムの処理を簡略化するなど消費を抑える工夫が求められる。

9. まとめ

本稿では、歩行時判定と格納時判定の動的選択を行う格納場所連続監視アルゴリズムを提案することにより、携帯電話の格納場所認識の既存研究が抱える問題点である歩行動作などの規則的運動に対してのみ有効に動作するという点の解消を目指した。この提案手法の正確さと頑健さを評価するため、車通りがあり、途中に横断歩道を通過するなど様々な障害がある実環境における歩行実験を行った。その中で移動動作検知に関しては歩調の変化などに頑健であり、かつ非常に正確であることが確認できた。これにより歩行時判定と格納時判定は動作に対してほぼ適切に選択されており、結果として提案した格納場所連続監視アルゴ

リズムは実環境における歩行に対して適用可能と結論付ける。ただし、歩行時判定と格納時判定の個々の性能については更なる向上が必要である。また鞆を含めた対応や消費電力の削減なども重要な課題である。すでに我々は Android プラットフォームへの実装とライブラリ化を行っており、熱中症警告計 [8] や行動認識システム [10] への応用を通じて洗練を図っていく。

謝辞

本研究は科学研究費補助金（基盤研究 (A):23240014）の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Cho, S.-J., et al.: Two-stage Recognition of Raw Acceleration Signals for 3-D Gesture-Understanding Cell Phones, *IWFHR 2006*, pp. 140–145 (2006).
- [2] Harrison, C. and Hudson, S. E.: Lightweight Material Detection for Placement-Aware Mobile Computing, *In Proc. of UIST '08*, pp. 279–282 (2008).
- [3] Miluzzo, E., et al.: Pocket, Bag, Hand, etc. - Automatically Detecting Phone Context through Discovery, *PhoneSense 2010*, pp. 21–25 (2010).
- [4] Murao, K. and Terada, T.: A Motion Recognition Method by Constancy-Decision, *ISWC 2010*, pp. 1–4 (2010).
- [5] Shi, Y., Shi, Y. and Liu, J.: A Rotation Based Method for Detecting On-body Positions of Mobile Devices, *UbiComp 2011 poster*, pp. 559–560 (2011).
- [6] Vahdatpour, A., Amini, N. and Sarrafzadeh, M.: On-body Device Localization for Health and Medical Monitoring Applications, *In Proc. of PerCom'11*, pp. 37–44 (2011).
- [7] Wang, S., Chen, C. and Ma, J.: Accelerometer based transportation mode recognition on mobile phones, *In Proc. of APWCS2010*, pp. 44–46 (2010).
- [8] Xue, Y., et al.: An On-Body Placement-Aware Heat-stroke Alert on a Smartphone, *In Proc. of DCA 2012*, pp. 226–234 (2012).
- [9] Yang, J.: Toward Physical Activity Diary: Motion Recognition Using Simple Acceleration Features with Mobile Phones, *In Proc. of IMCE'09*, pp. 1–10 (2009).
- [10] 太田和也, 岩崎正裕, 藤波香織: 携帯電話の格納場所情報を用いた行動認識最適化手法に関する研究, 電子情報通信学会 PRMU 研究会 (2012 年度第 7 回) ポスター講演 (2013).
- [11] 金春善, 藤波香織: 格納動作パターンを用いた携帯電話の所有場所判定, 情処学会研報. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム] 2009(17), pp. 23–30 (2009).
- [12] 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, 情処学会研究報告. UBI 2006(54), pp. 15–22 (2006).
- [13] 河内智志, 薛媛, 藤波香織: 携帯端末の身体上格納場所判定機能のスマートフォンへの実装, *インタラクション 2011*, pp. 531–534 (2011).
- [14] 河内智志, 薛媛, 藤波香織: 携帯電話の格納場所の判定～鞆への格納状態の認識～, 情処学会第 74 回全国大会 (2012).