

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

河内 智志[†] 薛 媛^{††} 藤波 香織^{††}

本研究では携帯電話の身体上での格納場所判定機能のスマートフォン上への実装と応用システムの開発を行った。これは歩行中に Google 社 Android 端末の格納場所を判定するものである。端末内蔵の 3 軸加速度センサが示す加速度変動を解析することにより、端末は自らが身体上の 5 カ所の既定の場所のうちどこに格納されているかを判定することができる。これにより、電話の着信方法の最適化や、行動認識や環境計測の精度の向上を期待することができる。そしてこのようなアプリケーション開発を容易にするための API を定義した。判定器に関して 10 名の被験者の歩行データによる評価を行った結果、学習を行った歩行データについて 100% の正解率を得た。

A Smart Phone that Knows Its Position on the Body

KOUCHI SATOSHI[†] YUAN XUE^{††} KAORI FUJINAMI^{††}

In this paper, we present a system that distinguishes the position of a smart phone from five positions on the body. The system identifies a storing position by 3-axis accelerometer while a user is walking. The result of cross-validation with five people shows the accuracy of 100%. We also developed a middleware for placement-aware applications on a mobile phone. An application was developed atop the middleware, that shows a warning-level of heat stroke based on a storing position of a sensor embedded in a mobile phone.

1. はじめに

近年、携帯電話に高性能 CPU やセンサが搭載されるなどの小型高性能化が進んでいる。加えて、携帯電話は日常的に持ち歩く機会も多いものである[8]。このような特徴から、携帯電話でのウェアラブルセンシングの機会が増すことが予想される。しかし、端末の携帯は自由度が高くさまざまな方法で携帯される。ウェアラブルセンシングはセンサの装着場所に大きく依存するため[5]、開発者はこれを考慮しなければならない。また、格納場所によっては携帯電話の着信通知に気付かない、電波の感度に影響し着信自体の通知が行われないといった問題が生じる可能性もある[1]。

これまで我々は、格納場所判定のコンセプト確認を目的として模型の携帯電話に加速度センサを装着して PC 上で格納場所を判定する手法について検討してきた[2]。本論文ではそれを踏まえ、携帯電話実機上での稼働に適した比較的軽量な特徴量の新たな選別と、格納場所判定器の実機上への実装・評価について述べる。さらに格納場所情報を使用するアプリケーション

に対して通知を行う基盤システムとしての設計・実装についても述べる。本システムにより格納場所を考慮した処理を行わせることが可能となる。

2. 分類器の設計と実装

2.1 機能概要

我々が実装する格納場所判定器とは、端末内蔵の加速度センサにより端末の身体上での格納場所を判別する機能である。歩行中の携帯電話の動きから算出した特徴量により分類器が後述する既定の格納場所の中から現在格納されている場所を判定する。

2.2 格納場所定義

ユーザが携帯電話を格納する場所は様々である。既存の調査[9]から携帯電話の格納場所として利用されやすい次の 5 カ所、(1)ズボンの前ポケット、(2)ズボンの後ポケット、(3)胸ポケット、(4)ジャケットのポケット、(5)首から提げる、を選出した。なお、携帯電話を鞆に格納して持ち歩くことも多いが、鞆はサイズや持ち運び方が多様であることから判定が非常に困難であるため、現状は判定の対象から外している。

2.3 格納場所判定のプロセス

図 1 に判定のプロセスを示す。まず加速度センサから生データを取得し、256 サンプル (約 10 秒) の生データからなるウィンドウを作成する (図 2)。ウィンドウのスライド幅は 8 サンプルとした。次に Cho

[†] 東京農工大学 工学部 情報工学科
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo

^{††} 東京農工大学 工学府 情報工学専攻
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo
University of Agriculture and Technology

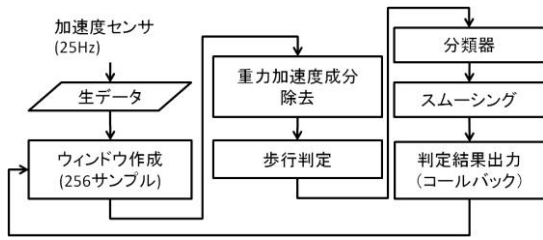


図1 場所判定のプロセス

らの手法[3]に基づき(1)式により近似的な重力加速度成分の除去, (2)式により正規化を行う. ここで $A(t)$ は時刻 t における x, y, z 軸の加速度, \bar{A} は加速度の平均である.

$$A_1(t) = A(t) - \bar{A} \quad (1)$$

$$A_2(t) = A_1(t) / \|\bar{A}_1\| \quad (2)$$

次に Murao らによる自己相関を用いた手法[4]により, 当該ウィンドウに含まれる行動が歩行であることを確認する. すなわち, (3)式でウィンドウのラグ τ における自己相関係数を求め, (4)式で正規化を行ったのち R'_{xx} のピーク値 $R'_{xx}(n) (n > 0)$ が(5)式を満たすときにそのウィンドウを歩行中とみなす. なお, 閾値 α は[4]を基に 0.8 に設定した.

$$R_{xx}(\tau) = \sum_{t=0}^{N-1} A_2(t)A_2(t-\tau) \quad (3)$$

$$R'_{xx}(\tau) = R_{xx}(\tau) / R_{xx}(0) \quad (4)$$

$$R'_{xx}(n) > \alpha(1 - n/N) \quad (5)$$

以上で判定された歩行ウィンドウを次段の分類器へと渡す. 分類器は 5 カ所の判定場所から現在の格納場所を選出する. 次にここで選出された結果に対し多数決によるスレーシングを行い, 他の判定結果から孤立した誤判定による出力結果のばらつきを除く. 同票による不確実な判定を防ぐため多数決は過去 11 回分という素数票とし, 判定回数が多かった判定結果を出力する. このプロセスを 300 ミリ秒ごとに繰り返し行う.

2.4 特徴量と分類器

携帯電話の向きに依存しすぎないことと判定の精度と実端末での計算速度を考慮して試行を繰り返すことで 29 個の特徴量を選定した. 表 1 に特徴量の一覧を示す. ここで, “軸”とはその特徴量計算に利用した加速度軸(図 3)を指し, “小ウィンドウ”とは図 2 のようにウィンドウ内でさらに小さなウィンドウ(サイズ 10 サンプル・スライド幅 1 サンプル)を作ったものを指している. また“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 5.85Hz 帯ずつ取りだし 0.2Hz ずつスライドさせたものである.“周波数領域”の低・中・高とはそれぞれ, 0~8.4Hz,

8.4~16.8Hz, 16.8~25.0Hz を指す. 例えば, “ウィンドウの周波数成分全体の振幅の最大値”とは, ウィンドウ内の加速度データに対し高速フーリエ変換(FFT)を適用して得られた周波数成分の振幅のうち最大値を指している.

また分類器は, 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(Multi-Layer Perceptron)により実現し, パラメータは LNKnet[6]を用いて決定した.

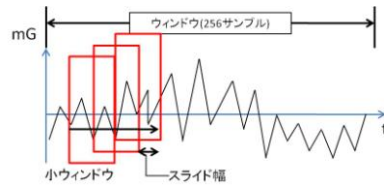


図2 ウィンドウの例

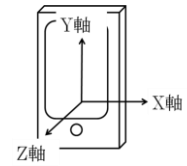


図3 加速度の軸方向

表1 特徴量一覧

特徴量名	軸
ウィンドウの平均の絶対値	z
ウィンドウの二乗平均平方根[5]	x, y
ウィンドウの軸間の相関係数	x-y, x-z
小ウィンドウの標準偏差の平均	x
ウィンドウの周波数成分全体の振幅の最大値	y, z
ウィンドウの周波数成分の振幅が最大となる周波数	x, y, z
ウィンドウの周波数成分の振幅の第 3 四分位点 [5]	z
ウィンドウの周波数成分の振幅の四分位範囲[5]	x
周波数ウィンドウの振幅の標準偏差の最大値	z
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	
低周波数領域における周波数成分の振幅の最大値	x, y
低周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差	x, y, z
低周波数領域における軸間の相関係数	y-z
中周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差	x, y, z
中周波数領域における軸間の相関係数	x-y, x-z
高周波数領域における周波数成分の振幅の標準偏差	x, y

3. 評価

10 名の被験者から集めた歩行データを用いたオフライン評価を行った. オフライン評価とは事前に収集したデータを用いて分類を行うことを指している. 歩行データは 5 カ所の格納場所ごとに 5 分間ずつ歩いて収集した. これらの歩行データから以下のような分類器 A, B1~B5 を作成し, 判定の正解率の評価を行う. 分類器 A とは被験者 A~E の 5 名の歩行データを学習したもの, 分類器 B1~B5 は被験者 A~E の歩行デ

ータを個別に学習した5つの分類器である。これらの分類器を以下のようなデータの組み合わせで評価した。

1. 被験者 A~E の歩行データを分類器 A で分類
2. 被験者 F~J の歩行データを分類器 A で分類
3. 被験者 A~E の個別の歩行データを分類器 B1~B5 で分類

評価1および3は10 fold cross validationを行った。評価1~3の正解率を図4に示す。評価1では高い正解率が得られたが、評価2において学習に含まれない被験者の未知なるデータに対しては正解率が低い。また、個人ごとの精度のばらつきの原因は、被験者 F・H は分類器 A の学習に参加した被験者 A・D と体格や衣服や歩き方が似ていたが、被験者 G・I・J は類似した人物がいなかったことだと思われる。また評価1と評価3の比較から、個人に特化した学習を行った方が高い正解率が得られることが分かる。このことから正解率を高めるためには、不特定多数のデータを用いるよりもユーザ本人のデータを用いて学習を行うことが必要である。一般に学習データの収集をユーザ自身に行わせることは困難であるが、現在、仮想ペットへの愛情を利用した動機付け手法を検討している[7]。

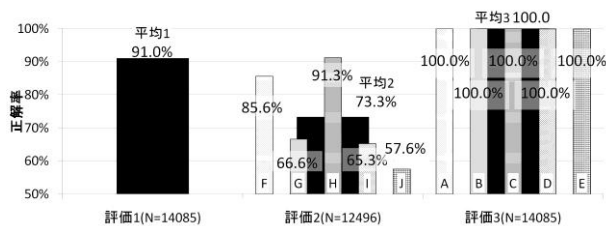


図4 オフライン評価の結果

表2 評価2の判定結果の詳細

	1	2	3	4	5	Precision
1	1488	446	236	4	18	67.9%
2	56	2064	3	278	240	78.1%
3	117	121	1836	82	579	67.1%
4	610	193	62	328	871	42.2%
5	1	42	0	2775	46	96.9%
Recall	65.5%	72.0%	85.9%	80.0%	49.7%	

[ラベル] 1:ズボン前, 2:ズボン後, 3:ジャケット, 4:胸, 5:首

また、評価2の格納場所ごとの判定結果を表2に示す。“Precision”はもともと「格納場所1（ズボンの前ポケット）」だったものを正しく「1」と判定した割合、“Recall”は「1」と判定されたもののうち、本来「1」のものが含まれている割合を表す指標である。表2によるとジャケットのポケットの Precision が低

いが、これはジャケットのポケットの形状がスーツのような上から端末を入れる形やパーカのように横から入れる形など多様であることが原因と考えられる。

4. 基盤システム機能

4.1 設計方針

携帯電話上の他のアプリケーションから判定器を利用するための基盤システムについて述べる。図5に本システムの概要を示す。本システムは分類器の判定結果を受けて、格納場所に変更があったときには新たな格納場所情報をシステムに登録された別アプリケーションに対して通知する。これによりアプリケーションは格納場所に応じて処理を最適化することができるようになる。

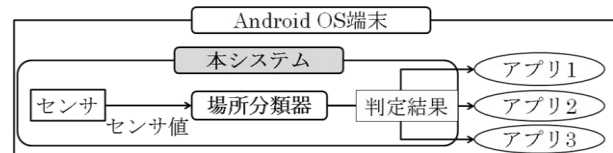


図5 本システムの概要

4.2 実装端末

本システムは Google 社 Android OS を対象とし、端末 nexus one (CPU: 1GHz Qualcomm Snapdragon, メモリ: 512MB, OS: Android OS 2.2) 上に実装した。Android OS はアプリケーションのバックグラウンド動作やアプリケーション間で情報のやり取りを行えるといった仕組みを開発者が扱えるという特徴がある。本システムはこれらの仕組みを利用し、起動中の別アプリケーションに対して格納場所変更を通知する。そのため本システムが動作中であっても携帯電話としての他の機能を阻害せずに同時利用が可能である。nexus one で動作検証を行った結果、2.3 節のプロセスが約 200 ミリ秒で遅延なく完了し、精度もオフライン評価で得られた結果と大差ないことを確認した。

4.3 コールバック

本システムには格納場所判定結果を別アプリケーションから受けとれる“コールバック機能”が設けられている。図6にコールバック機能の構成を示す。

格納場所情報を必要とするアプリケーションはシステムが用意したハンドラに結果を受け取ったときの自身の処理を記述する。次にアプリケーションは MessageManager クラスにこのハンドラを渡す。このクラスはハンドラからコールバックインスタンスを生成し、本システムに対して登録を求める。

この要請を受けた本システムは受け取ったコールバ

ックを CallbackList インスタンスに追加する。本システムが格納場所の変更を判断したときにはこのリストインスタンスに登録されたコールバックを叩くことで情報を各アプリケーションへと通知する。通知される情報を表 3 に示す。“信頼度”とは判定結果が正しい度合いを示すものであるが、将来的な拡張のための実装であり、現時点では値は 1.0 で固定である。

表3 コールバックの通知情報

項目	種別 (1 種類)	場所 (5 種類)	信頼度
例	場所変化	首	0.8

5. 本システムの応用例

本基盤システムを用いて熱中症危険度判定アプリケーションを開発した (図 7)。これは環境センサから得た値から熱中症の危険度を算出し、ユーザに対して通知を行うものである。通知の際には、ズボンのポケットでは長時間の振動を用いるなど、格納場所に応じた適切な通知方法を選択する。

また、環境センサは格納場所によっては正しい値が取得できないこともある。例として、首から提げられているときはセンサが外気にさらされるためほぼ正確な値が取得できるが、ズボンのポケットに格納されている間はユーザの体温の影響を受けた値を取得してしまう。このような格納場所による影響を考慮せずに間違った通知を出し続けてしまうことで、ユーザが通知への不信感をもつようになり通知が意味をなさなくなる。そこで、本アプリケーションは熱中症危険度について上部にレベルを常時表示すると共に、格納場所情報に応じた適切な説明文を図 7 に示すように画面中央に表示する。これによりユーザが通知への不信感を抱くことを防ぐことができると考えられる。

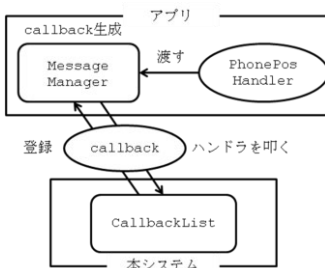


図6 コールバックの概要



図7 アプリ例:熱中症判定器

の格納場所判定器を実装、アプリケーションに対して通知を行う基盤システムの設計および実装を行った。結果として本システムの分類器は学習を行った被験者の歩行データに対して 99%以上の高い精度を得た。

また、今回の判定器は歩行中における判定のみを行っている。今後は、格納動作のジェスチャ判定を行い、ユーザが静止しているときにも場所判定を行えるようシステムの機能拡充を行う。また、本システムを利用することで携帯電話の格納場所情報を利用したアプリケーションの開発が可能になる。本論文では熱中症危険度判定の高信頼化を例として挙げたが、今後さらなる利用方法を提案し本システムの価値の増大を目指す。

謝辞

本研究は (財) 栢森情報科学振興財団の援助を受けた。

参考文献

- 1) K.Fujinami, C. Jin, and S. Kouchi; Tracking On-body Location of a Mobile Phone, ISWC2010 (LBR).
- 2) 金, 藤波; “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 UBI 研究会第 21 回発表会, 情報処理学会研究報告 2009-UBI-21, pp. 23-30, 2009 年.
- 3) S.-J. Cho, E. Choi, et al.: Two-stage Recognition of Raw Acceleration Signals for 3-D Gesture-Understanding Cell Phones, 10th Int'l Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, 2006.
- 4) K. Murao, and T. Terada: A Motion Recognition Method by Constancy-Decision, in Proc. of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2010), pp. 69-72, 2010.
- 5) K.Kunze, P. Lukowicz, et al.: Where am I: Recognizing On-Body Positions of Wearable Sensors, In Proc. of LoCA2005, pp.264-275, 2005.
- 6) MIT Lincoln Laboratory LNKnet. URL: <http://www.ll.mit.edu/mission/communications/ist/lnknet/>.
- 7) 荒川, 薛, 藤波; “困難タスク完遂支援のための、ユーザに愛情をもたれる仮想ペット”, 情処学会第 73 回全国大会, 2011 年 3 月 (発表予定)
- 8) グループワークス, ライフスタイル調査 (2008.12) “外出時に持ち歩いているもの” http://www.grooveworks.co.jp/lifestyle_09Gaishutsu.html
- 9) 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

6. まとめと今後の展望

本論文では Android OS 端末上に、端末の身体上で