

5.

携帯機器の帯同場所のセンシング

基
専

—このデータはどこから来たのか?—

藤波 香織 東京農工大学大学院工学研究院先端情報科学部門

ここでは、携帯機器を持ち運ぶ際の帯同場所に着目する。帯同場所を考慮する必要性を具体例とともに紹介したのち、機器の「文脈」を考慮した連続的な帯同場所把握方法を紹介する。

機器の帯同場所を考慮すること

近年、携帯電話は言うまでもなく、熱中症警告器や活動量・消費カロリー計のような、通知や計測用の機器をズボンのポケットなどに入れて帯同する機会が増えてきている。これらの機器を持ち運ぶときには、状況に応じてさまざまな場所を使い分ける。これは、普段は胸ポケットに入れるが着替えた服にはなかったためにズボンのポケットに入れる、外出時に上着のポケットに入れたものを室内で上着を脱いだ際にシャツの胸ポケットに移し替える、運動時に邪魔になるので首から提げずにズボンのポケットに移す、などといった理由による。以下では図-1に挙げる3つの応用領域について機器の帯同場所を考慮する意義を説明する。

可搬型環境センサと帯同場所

ここ数年、夏期の猛暑に加えて節電の必要性から冷房を控えがちになり、熱中症の発症が急増している。熱中症の危険指標として、黒球湿球温度(WBGT)が国際的に用いられており、気温と相対湿度から簡易的に計算して提示する携帯型の熱中症警告器が市販されている。また同様のセンサで構成されるインフルエンザ警告器なるものも売られている。

可搬型環境計測	行動認識・計測
個人用途	誤認識の増加
過小評価による警告失敗	計測精度の低下
過大評価による警告無視	
集団用途(ヒューマンプローブ)	情報通知
雑多なデータ品質によるムラ	小音量による通知失敗
	大音量による周辺迷惑

図-1 帯同場所を考慮しないことによる問題例

これらの警告器は帯同時には外気に触れるように首から提げることやベルト付近に取り付けることが推奨されているが、先に述べたような理由で守られないことがある。図-2に、温度・湿度センサを首から提げた状態の計測結果と、同時に別の帯同場所で計測した結果のプロットを示す¹⁾。対角線上にプロットが集まるほど、外気に近い状態を計測していると言える。この図から、ズボンの前ポケットでの計測は、高温時には過小評価の傾向があること、湿度は過大評価気味でばらつきが大きいことが分かる。これは衣服による断熱効果や、汗の影響によると考えられるが、適切な補正式を求めることで、「首」以外でも外気での計測値やその信頼度を推定できるようになる。

これらは個人向けの環境センサにおける例であるが、GPSや多様なセンサを搭載したスマートフォンを移動センサと見なし、アドホックに広範囲な環境計測を実現するヒューマンプローブと呼ばれる新しい計測パラダイムにおいても同様の問題が生ずる。計測状態をコントロールできる従来の環境計測と異なり、ヒューマンプローブでは一般人にセンサの扱

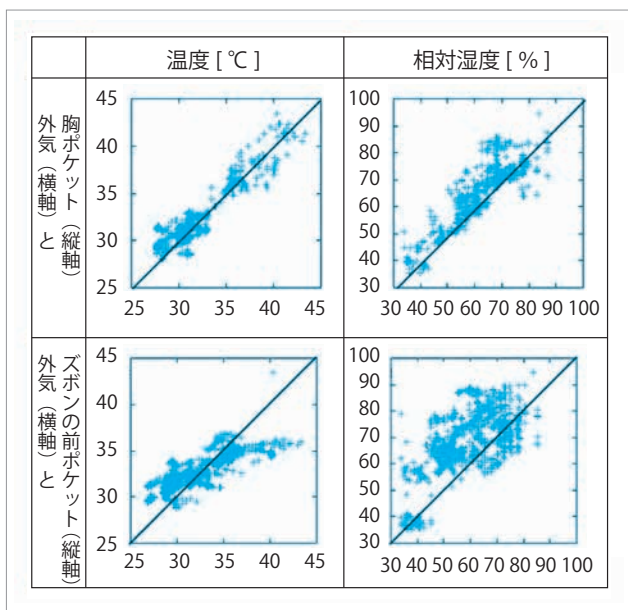


図-2 温度湿度センサの帯同場所と計測値の関係

いが委ねられている。このため、さまざまな帯同場所で計測された雑多な品質のデータの扱い方が課題となっている²⁾。

行動認識・計測と帯同場所

我々の日々の行動に関して、歩数や活動量、消費カロリーといった情報についてはすでに計測用の民生品が存在する。また、スマートフォンに搭載されたセンサを用いて、人間のさまざまな行動を認識・計測する試みが盛んである。利用者の受け入れやすさを考慮すると、帯同場所を制限しない認識・計測が重要である。この課題の解決の方向性として、単一の万能型認識・計測器を構成することと、帯同場所ごとに認識パラメータを最適化した認識・計測器を構成することの2種類が考えられる。

日常一般に見られる歩行・ランニング・スキップ・階段昇／降・自転車操縦・直立の計7種類の行動に対して、この2方式の違いを検証する実験を行った。帯同場所ごとに最適化する方法がすべての帯同場所で単一型を上回った³⁾ことから、帯同場所に応じた構成変更による精度向上が期待できる。

一方、帯同場所を指定するのがやむを得ない行動認識・計測の場合には、システムが指定外の場所への帯同を検知して適切な対応をとることで、誤認識

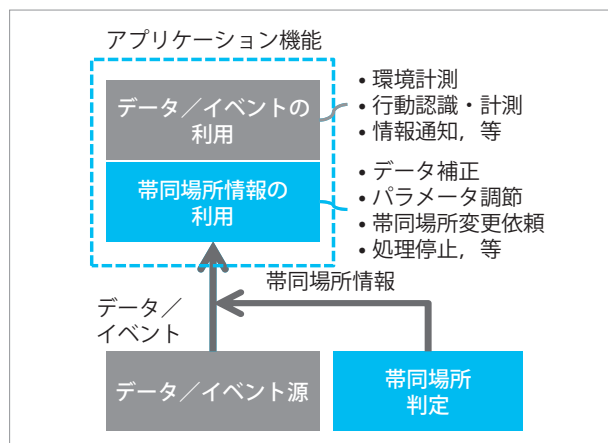


図-3 帯同場所情報の利用モデル

の増加や計測精度の低下といった信頼性の低下を避けることができる。

情報通知と帯同場所

情報通知は、携帯電話や前述の熱中症やインフルエンザ警告器をポケットなどに格納している最中に、視覚以外の手段でユーザーに情報を伝えるために重要な役割を担う。携帯電話に着信があったときに、胸ポケットなら気づいたのにズボンのポケットに入れていたために気づかなかったという経験がある読者も多いであろう。センシングだけでなく情報出力(通知)においても帯同場所による効果の差が存在する。どこに帯同しても気づく音量を設定することも1つの手段であるが、必要以上の音量は敬遠されるため、実効的ではない。これに対して帯同場所情報を用いることで、帯同場所に関する嗜好を尊重しつつも、最低限の音量で情報を効果的に伝達できる。

帯同場所情報の利用モデル

機器の帯同場所情報は、アプリケーションが本来使用する計測データ(温度・湿度値など)やイベント(着信など)の出所を表しており、その出所情報をもとにアプリケーションは適切な処理を実行する。これまでの話をふまえると、帯同場所情報の利用モデルは図-3のように表せる。計測データやイベントの処理において帯同場所情報を参照することで、何らかの基準値へのデータ補正、帯同場所ごとに最適なパラメータへの調整、所有者への場所変更依頼、

アプリケーション停止，といった対処が可能となる。データ補正やパラメータ調整のような自律的な適応によって，利用者が意識せずにアプリケーション処理が継続することが望ましい。しかし，それが困難な場合には，次善策として利用者の介在や動作停止により，誤動作やバッテリー浪費を防ぐことも可能である。

帯同場所の連続的な把握

機器の帯同場所判定を目指した研究の大部分は，その適用を歩行中に限定している^{4), 5)}。ここでは，加速度センサによって得られる各場所で異なる機器の動きや，動きによるエネルギーの違いを，時間領域と周波数領域の両面から捉えたパターン認識が適用される。しかしこの方法には，着席中のような静止時に発生した場所変更が再び歩き出すまで検出されないことや，逆に歩行中に立ち止まると判定を誤ること，机の上にあるような不帯同状態の検出ができない，といった問題が存在する。連続した帯同場所の判定はこれまでほとんど注目されてこなかったが，実用上重要である。

以下では，帯同場所の連続的な把握を目指した我々の取り組みを紹介する⁶⁾。なお，対象とする帯同状態は，首（ストラップにて提げる状態），胸ポ

ケット，上着のサイドポケット，ズボンの前および後ろポケット，の身体上の5カ所に加え，「手中」と不帯同状態の計7状態である。

機器の帯同場所変更動作の利用

静止時の帯同場所変更を検出するためには，機器を帯同しようとする動作に着目する。機器をさまざまな場所にしまう動作を観察すると，その移動軌跡は異なることが分かる。このため，帯同動作からその行き先（帯同場所）を推定するジェスチャ認識問題と捉えることができ，隠れマルコフモデル（HMM）やSVM（Support Vector Machine）などが適用できる。

また，静止している所有者のポケットの中や机の上にある場合などでは，機器に加わる力の時間変化パターンに差はないため，歩行中の判定の延長で区別することは困難である。しかし，取り出し動作の有無を知ることによって，判定が可能になる。

場所変更時の判定と歩行中の判定の統合

上で述べたような帯同動作に基づく判定と歩行中の定常的な帯同場所判定の使い分けや，取り出し動作との組合せによる判定精度の向上のためには，データストリームからそれぞれの動作区間を特定する必要がある。機器の帯同場所変更時には歩行時と比べて機器に加わる力が大きく変

わるために，**図-4**上段の濃い矩形領域に見られるように加速度波形に特徴が現れる。この特徴を強調するためには，データ窓内で移動平均により高周波成分を除去し，さらに移動標準偏差計算と3軸の平均値算出を行う（下段）。データ窓内に一定高以上のピークがあれば，場所変更動作が含まれると判断する。本手法は単純であるが，歩行中の転回や階段を上る直前・降りた直後などの歩容変化や，首か

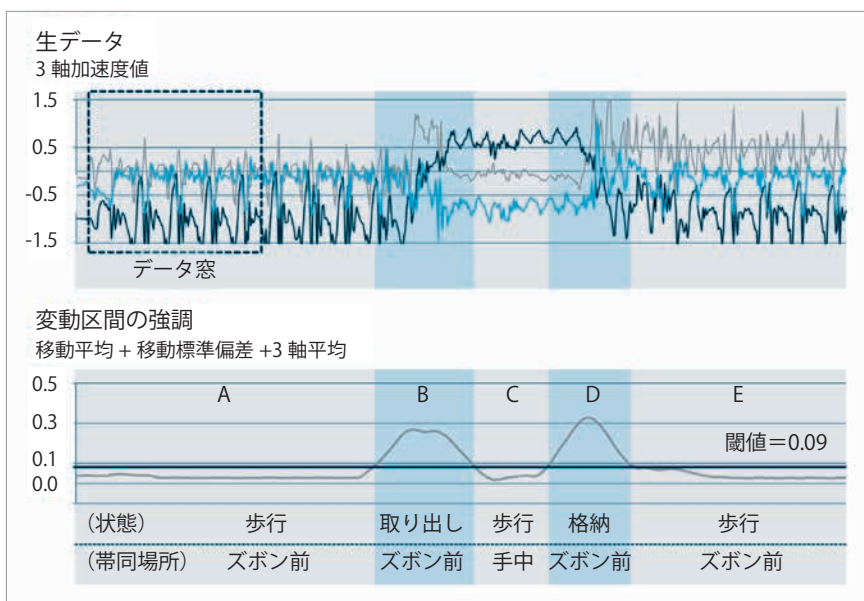


図-4 加速度生データと検出された変動区間

ら機器を掲げた状態での歩行に伴う大きな揺れを場所変更動作と誤検出することなく、実利用の中での頑健性が確認されている。

しかし、この時点ではまだ帯同場所が変化したことしか分からない。このため、次の段階で「手」の経路に着目した帯同状態遷移図(図-5)に基づいて「帯同」と「取り出し(手中)」という2つの変更動作を区別する。たとえば図-4のDの区間は、その直前の状態(場所)が「手中」であるため、帯同区間と判断できる。その後は、区間の始点と終点の情報を元にオリジナルの加速度データを抽出してジェスチャ認識を行うことで「ズボンの前ポケット(への変更)」という結果を得る。

一方、「変更動作ではない」と判定されたデータ窓に対しては、データの周期性やばらつきに着目して「歩行中」、「静止」、「その他」の状態に分類する。その結果、A、C、Eのような歩行区間に対しては、これまで提案されているような歩行中の帯同場所判定を行う。一方、「静止」や「その他」の状態のデータ窓に対しては、帯同状態遷移図上の現在の状態と直前の判定結果に基づいて、「不帯同」や「変化なし」という判断を下す。

紹介した方法は、パターン認識の結果に加え、機器の「文脈」を考慮して毎回のデータ窓に対する判定を確定させていくものである。これにより、ポケットの中や机上で静止している状態のようにセンサでは判別が困難な状態にも対応でき、機器自身が帯同場所を把握し続けることを可能にする。

課題と展望

これまで、帯同場所の判定性能は帯同方法や歩き方などの個人の影響を受けやすく、個人に特化した分類器により劇的に改善することが分かっている。個人特化のための分類器のカスタマイズにあたっては、帯同場所のラベルが付与されたデータをいかに効率的に得るかが鍵となる。また、帯同に用いる場所も皆一律ではなく、数個に限定されると考えられる。このため、個人が普段使用する場所の判定性能

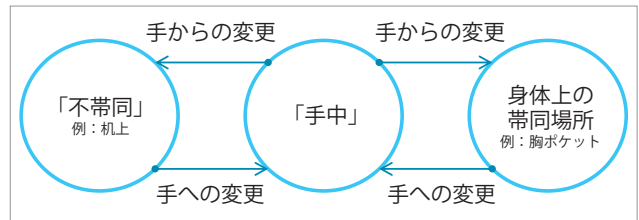


図-5 手を介した機器の帯同状態遷移図

を上げるチューニングを施すことや、そのような場所を使用中に発見して判定対象に追加するといった方法による判定対象のカスタマイズも有効であると考えられる。

本稿で述べた帯同場所判定機能は、Android OS搭載のスマートフォン上にバックグラウンド動作可能な「サービス」としてすでに実装しており、複数のアプリケーションから利用可能である。現在は冒頭で紹介したような応用例に適用しているが、今後は帯同中の機器で動作するさまざまなアプリケーションに適用することで判定機能の洗練と性能の向上をはかり、帯同場所を考慮したシステム構成法についての理解を深めていく。なお、判定の様子は下記のビデオ^{☆1}から知ることができる。

参考文献

- 1) 村田哲史, 細川茂樹, 河内智志, 薛 媛, 藤波香織: センサの帯同場所を考慮した個人参加型センシングのための環境センサモジュールと基盤ソフトウェア, ESS2012, pp.73-78 (2012).
- 2) Lane, N. D., Miluzzo, E., et al.: A Survey of Mobile Phone Sensing, IEEE Communications Magazine, Vol.48, Issue9, pp.140-150 (2010).
- 3) 太田和也, 岩崎正裕, 藤波香織: 携帯端末の格納場所情報を用いた行動認識手法最適化に関する研究, 信学技報, Vol.112, No.441, pp.129-130 (2013).
- 4) Kunze, K., Lukowicz, P., et al.: Where am I: Recognizing On-Body Positions of Wearable Sensors, LoCA2005, pp.264-275 (2005).
- 5) Vahdatpour, A., Sarrafzadeh, M. and Amini, N.: On-body Device Localization for Health and Medical Monitoring Applications. PerCom' 11, pp.37-44 (2011).
- 6) 河内智志, 藤波香織: 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～, 情処研報 Vol.2013-UBI-37, No.19 (2013).

(2013年2月21日受付)

☆1 <http://youtu.be/U9LO3UX3pgs>

藤波香織 (正会員) | fujinami@cc.tuat.ac.jp

NTT(株)およびNTTコムウェア(株)を経て2005年早稲田大学大学院理工学研究科情報科学専攻博士課程修了。2007年より東京農工大学。現在、同大学院工学研究院先端情報科学部門准教授。博士(情報科学)。