

センシングモバイルにおける個人特化された省電力機構

米田 圭佑^{1,a)} 里中 裕輔^{2,b)} 西尾 信彦^{3,c)}

概要: 近年スマートフォンを用いたセンシングによる個人行動認識の研究やそれを用いたサービス開発が活発に行われている。個人行動認識のために永続的センシングを行うような場合には、センシングの増加に伴う消費電力が大きな問題になる。しかし、従来の省電力手法では特定の状況に対して全ユーザに対して一定のセンシング制御により省電力化の実現をしているため、本来の目的である個人行動認識のためのライフログ取得を達成しつつ省電力化を行うことは困難である。そこで本稿では、個人行動認識のために永続的センシングに適した個人特化された省電力手法について提案し、実現するために必要な機構を提供した。さらに、省電力の一例を機構に沿って実装・運用した結果、ユーザの状況と連動した省電力が実現できたことを確認した。

キーワード: 省電力, 人間行動センシング, ライフログ, 状況認識

Design of Personalized Energy Saving Mechanism for Sensing Mobiles

KOMEDA KEISUKE^{1,a)} SATONAKA YUSUKE^{2,b)} NISHIO NOBUHIKO^{3,c)}

Abstract: Recently, the research of human activity recognition using mobile sensing was become popular. In mobile sensing, the power consumption is still a serious problem, and it is difficult to reduce the power consumption with recent work. In this paper, we propose a design of personalized energy saving mechanism for sensing mobile, and implement a framework. We also implemented an example scenario of GPS sensing energy saving algorithm on the proposed framework, and confirmed positive performance.

Keywords: energy saving, human activity sensing, Lifelog, activity recognition

1. はじめに

近年の情報技術の発展に伴い、iPhone や Android 携帯端末などの一般にスマートフォンと呼ばれる携帯端末が普及してきた。このような携帯端末には Wi-Fi や Bluetooth のような無線通信デバイス、GPS 受信機などの位置測位デ

バイス、加速度計や気圧計のようなセンサデバイスなど、多種多様なデバイスが搭載されている。これら携帯端末はユーザが普段から持ち歩くことが可能であり、ユーザの行動に関する様々なデータをリアルタイムにセンシングするセンシング携帯端末(センシングモバイル)として期待されている。センシングモバイルに搭載されたデバイス群から得たデータは、ユーザの生活に密に関係するものと考えられ、我々はライフログと呼んでいる。ライフログには、個人特化したサービス提供への利用など様々な用途が期待されており、各ユーザから取得されたライフログ解析によるユーザの行動特性の把握や状況認識をする研究が活発に行われている。我々も個人特化された行動認識を目的に、センシングモバイルに搭載されたデバイス群を用いて常時センシングするライフログセンシングを行ってきた。しか

¹ 立命館大学大学院 情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

² 立命館大学大学院 理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan
University

³ 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Rit-
sumeikan University

a) kome@ubi.cs.ritsumei.ac.jp

b) sacchin@ubi.cs.ritsumei.ac.jp

c) nishio@cs.ritsumei.ac.jp

し、センシングモバイルを用いて行動認識のために永続的センシングを行う場合、問題として消費電力の増加が挙げられる。

これまでに、センシングモバイルでセンサデバイスを動作させる際に消費電力を削減する研究は多く行われてきた。しかし、並行して行動認識のためのライフログセンシングをするという環境を想定していないため、汎用的な省電力手法では各ユーザによって異なる行動認識に必要な情報が欠落したり、必要でない情報を無駄に取得してしまう。このため、本来の目的である行動認識のための永続的センシングと省電力を並行して効果的に行うことができない。ユーザによって行動認識のために必要な情報は異なり、省電力のために制御すべきセンシング対象は異なると考えられるため、センシングモバイルによる永続的センシングにおいては、省電力化についてもリアルタイムに得られる情報と蓄積ライフログを用いた個人に特化された手法を用いるべきである。

そこで本稿では、ライフログを用いてユーザの状況をリアルタイムで得られる情報以上に認識できることとユーザの状況によって情報の価値は変化することに着目し、状況を考慮した個人特化されたセンシング制御によって、行動認識に必要な情報の取得を妨げない効率的な省電力化を実現することを目標とする。本稿では上記の提案を実現するため、センシング機構に対して下記の2つの機構を組み込むことを提案する。デバイスの観測値が事前に登録された条件を満たせば外部アプリケーションへ通知する機構と外部アプリケーションからセンシング設定を変更する機構を組み込むことにより、個人特化された省電力手法のための機構を設計する。センシング機構と省電力機構が連携して動作する省電力手法の一例を本稿で提案した機構に沿って実装し、その動作について確認する。

本稿ではまず2節でモバイルセンシングにおいて省電力を実現している関連研究を紹介し、汎用的な省電力手法について問題点を挙げた上で、3節で人間行動認識のための永続的センシングに適した省電力機構の要件を述べる。4節では、要件を満たす省電力機構を実現するために、センシング機構と省電力機構が連携して動作するためのフレームワークを提案する。最後に5節で、提案機構について省電力手法の一例と共にプロトタイプ実装を行い、運用結果を考察することで提案機構が動作していることを確認する。

2. 関連研究

携帯端末を用いたセンシングによる消費電力の問題に対しては、これまでも多くの研究がなされてきた。中川ら [1] はコンテキストウェア・サービスのための間欠的切替測位による省電力入圏検出方式を提案している。リソース消費と測位精度のトレードオフを考慮して、GPS 測位や基地局測位などの複数の測位手段から最適な手段を選択

し、間欠的測位方式で測位するアプローチを採用することにより、低消費電力な入圏検出を実現している。しかし、この手法では入圏を検知したい場所の近くに移動するまでは、位置情報取得の測位間隔を広げているため、そこに至るまでの道のりに関する位置情報を最短間隔で十分に取得することは達成できない。個人行動認識のためのライフログセンシングをしている状況下では、目的地に至るまでの道のりすべてに関しても、ユーザそれぞれによって位置情報を取得しておくべきかどうかは異なると考えられる。

清原ら [2] は携帯電話におけるコンテキスト情報としての低消費電力位置情報取得方式を提案している。ユーザの過去の行動パターンを用いて、GPS 測位が必要のない状況と推測されれば GPS 測位を控えることによって電力消費を抑えている。たとえば、位置測位の結果や時間帯などから、オフィスにいると認識されれば、日頃の行動パターンから解析されたオフィス滞在時間帯の間は GPS 測位を停止することで、低消費電力なコンテキスト推定を実現している。同時に、習慣的な行動パターンであると認識された後のユーザの習慣的でない突発的な行動に対しても、1時間ごとに1回位置測位による状態補正を行うことで対処している。しかしこの手法では、移動状態にあるが状態認識ミスによって GPS 測位が停止しているような場合、最大1時間の情報取得のロスが発生する。ライフログセンシングにおいて最大1時間の情報のロスは、状況によって大きな情報の欠落に繋がると考えられる。

取得したい情報はユーザによって千差万別であるため、汎用的な手法でセンシングを抑えるといった手法ではユーザによって取得したい情報を取りこぼしてしまう恐れがある。同様に、取得しなくてもいい情報に関してもユーザによって異なるため、そのような場合にも汎用的な省電力手法であれば無駄なセンシングに繋がる。このため、全ユーザに対して汎用的な省電力手法を用いて省電力を実現するような方法は、センシングモバイルを用いたライフログセンシングには適していないと考えられる。

3. 要件

2節での関連研究を踏まえて、我々はセンシングモバイルを用いた人間行動認識のための永続的センシング環境下には個人特化された省電力機構が適していると考えた。以下にセンシングモバイルにおける個人特化された省電力機構の要件として4つの項目を挙げ、それぞれについて説明する。

3.1 ユーザの状況を認識した制御による省電力

センシングモバイルを用いたライフログセンシングにおいて、それぞれのデバイスから得られる情報の価値はユーザの状況によって変化すると考えられる。たとえば、「センシングモバイルを放置している間は加速度デバイスで取

得する加速度情報の価値は低い」や「自宅に滞在している間は測位デバイスで取得する位置情報の価値は低い」などの場合が挙げられる。このような場合においてユーザーの状況に合わせた省電力を行うために、ユーザーの状況認識を省電力機構が行える必要がある。

3.2 個人特化された状況推定

デバイスから得られる情報が同一であっても、ユーザーによって異なる状況だという場面は頻繁に存在すると考えられる。たとえば、複数ユーザーにおいて同一の位置情報を得た場合でも、あるユーザーにはその場所が「自宅」であるが、あるユーザーには「外出先」であるかもしれない。このように、ユーザーに関する蓄積されたライフログとリアルタイムに取得した情報をもとに個人特化された状況推定によって、その時々によって必要な情報の価値を決定できる。このため、個人特化された省電力のためには、リアルタイムで得られる情報に加え、個人の蓄積されたライフログを考慮して個人ごとの状況推定を行うことが非常に重要な項目となってくる。

3.3 個人特化された省電力手法に柔軟に対応可能

ユーザーによって最も効率的に省電力すべき手法は異なると考えられるため、個人特化された省電力アルゴリズムは千差万別である。このように多岐にわたる省電力手法すべてをセンシング機構側が事前に包括的に用意することは極めて非現実的である。このため、個人特化された省電力手法それぞれに対して、必要なものだけをセンシング機構に後から追加・変更できるような柔軟さがセンシング機構には求められる。

3.4 状況認識に必要な情報の欠落の回避

ライフログセンシングの目標は個人状況認識であり、そのためにセンシングモバイルに搭載されたデバイスを用いて永続的センシングを行っている。すべてのデバイスを最短間隔で常時センシングすることは、非常に大きな電力消費に繋がる。これを避けるためにはセンシング間隔を広くしたりセンシングを停止したりするなど消費電力を軽減する手法が考えられる。しかし、状況認識のために必要な情報が欠落してしまうことは本来の目的に合わず、避けねばならない。センシングモバイルにおける個人状況認識のための永続的センシング環境下では、いかに必要な情報を取得しつつ省電力を実施するかが重要である。

4. センシングモバイルにおける個人特化された省電力機構

3節で述べた要件を満たすような、個人特化された省電力手法を実現するために、本稿では個人特化された省電力手法を動作させるための機構を提案する。まず3.3項で挙

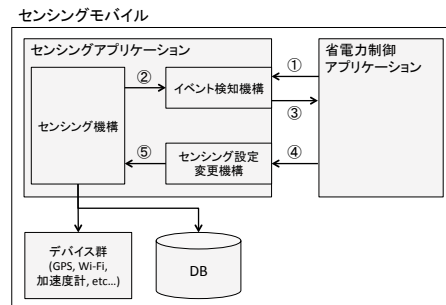


図 1 センシングモバイルにおける個人特化された省電力機構
 Fig. 1 Personalized Energy Saving Mechanism for Sensing Mobiles

げた要件を満たすために、センシング機構とは独立して省電力制御を行うための機構を用意できるような設計を行った。3.1項で挙げた要件を満たすために、ユーザー状況の認識を利用したセンシング設定変更による省電力を実現する必要がある。これに対して、センシング機構と省電力機構とで互いに連携するための手段を用意し、要件を満たすような省電力動作を実現可能とする。図 1 にセンシングモバイルにおける個人特化された省電力手法のための機構の概要図を示す。

モバイルセンシングにおける個人特化された省電力を実現するために、イベント検知機構とセンシング設定変更機構をセンシング機構側に組み込み、省電力機構である外部アプリケーションからそれらを利用し、センシング機構と連携することによって、3節で述べた要件を満たす省電力手法を実現するための手段を提供する。以下で図 1 を用いて個人特化された省電力手法の実現までの流れを説明する。

- (1) **イベント検知要求の登録** 外部アプリケーションが検知して欲しいデバイスのセンサ値についての条件を**イベント**という形で、センシングアプリケーションのイベント検知機構に対して登録する
- (2) **イベントの検知** センシング機構側でリアルタイムにセンシングされた値が、登録されているイベントと比較され、条件を満たしたことを検知する
- (3) **検知されたイベントの通知** 登録されているイベントが検知されたことを、センシングアプリケーションから外部アプリケーションに通知する
- (4) **センシング設定の変更要求** 通知されたイベントをもとにユーザーの状況を推定し、省電力アルゴリズムに沿って、状況に適したセンシング設定の変更をセンシング機構に要求する
- (5) **変更要求があったセンシング設定の変更** センシング設定変更機構で外部アプリケーションから要求された設定変更内容を受け付け、センシング機構の設定に反映する

表 1 イベント一覧
 Table 1 List of Event

	GPS	Wi-Fi	加速度
属性	緯度・経度	BSSID	X 軸加速度
	速度	ESSID	Y 軸加速度
	精度	RSSI	Z 軸加速度
	受信衛生数		3 軸合成加速度
			放置状態

上記の流れで、ユーザの状況に合わせて最適なセンシング制御を行うにより、個人特化された省電力を実現する。センシング機構側では最低限のイベント検知機構とセンシング設定変更機構さえ実装すれば、省電力のためのアルゴリズムを採用したあらゆる省電力機構が外部アプリケーションからそれらを利用することで協調動作するため、それぞれの省電力機構に対して柔軟に対応することができる。以下でイベント検知機構とセンシング設定変更機構に関して詳しく説明する。

4.1 イベント検知機構

外部アプリケーションでユーザの状況を推定するためには、現在取得しているセンサの値などを用いて、それぞれの省電力機構が採用している状況推定アルゴリズムによって推定をする必要がある。里中 [3] はこういった原始的なセンサの値の変化をトリガとしたイベントの検知を行い、外部アプリケーションに通知し、外部アプリケーションでユーザの行動認識を行うことを可能とするモバイルセンシングのための段階的イベント検知機構を提案している。本稿ではこの機構を用いて、省電力機構としての外部アプリケーションからセンサの値に関してイベント検知を行い、通知する仕組みを提供する。現在センシングモバイルを用いて取得している情報の代表には位置情報・Wi-Fi AP 情報・加速度情報・磁界情報・傾き情報・気圧情報・3G 基地局情報などが挙げられる。里中が提案している機構では、これらの情報に関して、たとえば「位置情報の精度が 64 以下で取得できたら」のように「どのデバイスのどの値が条件を満たせば」というイベントと呼ばれる形式で検知を登録する。本稿ではプロトタイプ実装として、よく状況推定に用いられる代表的なセンサの値に関して検知を行えるようにイベントを提供した。加速度に関しては簡易的な解析処理をセンシング機構で行い、「放置状態」のイベント検知についてもサポートを行う。実装したイベントの一覧を表 1 に示す。それぞれのイベントにおいて扱える演算子は「等しい(=)」「より大きい(>)」「より小さい(<)」の 3 種類で、これらを用いてイベント検知を行う手段を提供した。外部アプリケーションは独自の状況推定アルゴリズムに必要なイベントをこの機構を用いて登録しておくことで、省電力制御のためのユーザ状況推定を行うことができる。

表 2 設定変更受付一覧
 Table 2 List of Available Setting

設定対象	設定内容
加速度センサ	ON/OFF, 間隔変更 (4 段階)
磁気センサ	ON/OFF, 間隔変更 (4 段階)
傾きセンサ	ON/OFF, 間隔変更 (4 段階)
気圧センサ	ON/OFF, 間隔変更 (4 段階)
GPS	ON/OFF, 間隔変更 (秒指定)
Wi-Fi	ON/OFF, 間隔変更 (秒指定)
アップロード	ON/OFF, 間隔変更 (秒指定)

4.2 センシング設定変更機構

外部アプリケーションからユーザの状況に合わせてセンシング設定を変更するためには、センシング機構側に外部から設定の変更を受け付ける機構が必要である。センシング設定は大きく分けて「センシングの ON/OFF」と「センシング間隔の変更」の 2 つがある。これらの設定を省電力機構としての外部アプリケーションから変更できるようにする手段を提供することで、センシング設定の変更による省電力を実現する。加えて、ネットワーク通信についても消費電力が増大するひとつの要因であるため、センシングしたデータをアップロードする処理においても「アップロードの ON/OFF」と「アップロード間隔の変更」をできるようにした。本稿ではプロトタイプ実装として、各デバイスのセンシング・アップロード処理の ON/OFF と間隔の変更を外部アプリケーションから受け付ける手段を提供した。外部アプリケーションはこの機構を通してセンシング設定を変更することにより、ユーザの状況に合わせて必要な情報をセンシングし、不必要な情報のセンシングを抑える(停止する・間隔を広げる)といった制御が可能となり、センシングモバイルにおける永続的センシングに適した省電力を実現する。これらふたつの機構の追加により、センシングモバイルにおける個人特化された省電力を実現するための環境を提供する。実装した設定変更受付対象とその内容の一覧を表 2 に示す。

5. 本機構の動作確認

本稿では、坂本ら [4] が提案し、我々の研究室で運用してきた Android 携帯端末上で動作するライフログセンシング機構に対して 4 節で述べたイベント検知機構とセンシング設定変更機構を追加実装する形でプロトタイプ実装を行った。このプロトタイプ実装を用いて、省電力アルゴリズムの一例を実装し、その動作を確認する。

5.1 GPS センシング省電力機構

本稿では省電力アルゴリズムの一例として、武田 [5] が提案した GPS センシング省電力を本機構に沿って実装を行った。武田 [5] が提案した GPS センシング省電力アルゴリズムは、ユーザの GPS 取得情報と端末放置情報に

表 3 各状態における検知対象イベント・センシング設定
Table 3 Detect Event and Sensing Setting of Each State

	検知するイベント	センシング設定
オフ状態	非放置判定	GPS 測位 停止
〃		放置/非放置認識 開始
受信待機状態	放置判定	GPS 測位 (広間隔) 開始
〃	GPS 取得/精度判定	放置/非放置認識 開始
受信良好状態	GPS 取得/精度判定	GPS 測位 (狭間隔) 開始
〃		放置/非放置認識 停止
受信不良状態	GPS 取得/精度判定	GPS 測位 (広間隔) 開始
〃		放置/非放置認識 開始

合わせて状態を遷移し、GPS センシング間隔の最適化によって省電力を実現する手法である。状態遷移により、屋内などの受信環境が良くない場所では GPS センシングを抑え、屋外などの受信環境が良好な場所では GPS センシングを最短間隔で取得再開する動作を実現し、無駄な測位による電力消費を抑えている。GPS 受信環境の良し悪しに加えて、GPS が受信不可能な場所でユーザが停留 (端末が放置) 状態にあると判断した時点で、GPS センシングを停止することで積極的に省電力を試みている。状態はそれぞれ「オフ状態」「受信待機状態」「受信良好状態」「受信不良状態」の4つで表すことができる。本機構に沿った実装では、状態遷移時に各状態におけるセンシング設定をセンシング設定変更機構に要求することで、GPS センシングの制御を実現する。同時に、他の状態に遷移するために必要な入力をイベント検知機構に要求することで、状態遷移を実現する。それぞれの状態において、次の状態遷移のために検知するように登録しておくイベントと、状態遷移時に変更するセンシング設定について、表 3 に示す。

5.2 動作結果

本機構を用いて実装した省電力アルゴリズムを実際にライフログセンシングと平行して運用し、一日の活動の中でユーザの状況に合わせて状態遷移し、省電力が実現できているかを確認する。図 2 に省電力機構を動作したライフログセンシングを運用した結果、得られた位置情報と状態遷移の様子を示す。得られた位置情報の時系列で前後関係にあるそれぞれの点を地図上で色付きの線で結び、線が青色で引かれている範囲が「受信良好状態」、赤色が「受信待機状態」、黒色が「オフ状態」、桃色が「受信不良状態」であることを意味している。図 2 より、屋外にあたるほとんどの箇所において受信良好状態で、屋内にあたる場所や屋外の特定地点において受信待機状態に遷移していることがわかる。しかし、屋外移動中の一部で受信待機状態に遷移していたり、屋内から屋外に移動してから測位を開始するまでに間隔が空いてしまうなど、常時最短間隔でセンシングしていた場合なら取得できていたであろう位置情報が欠落している場合も見受けられた。受信停止状態は黒色で示さ



図 2 状態の遷移と位置情報の可視化
Fig. 2 State Transition and Location Information

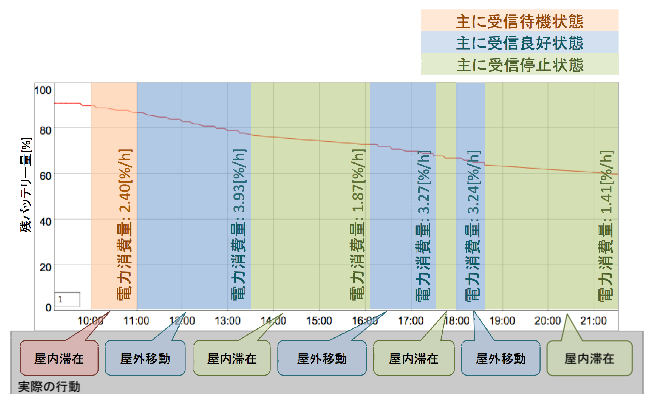


図 3 状態の遷移と位置情報の可視化
Fig. 3 State Transition and Consumption of Battery

れるが、測位できない場所で停滞している場合に遷移する状態なので、地図上では視認できないのが正常の動作であり、期待しない状態の遷移が発生していないことが確認できる。なお、今回の運用では精度の悪い位置情報を観測することがなく、受信不良状態に遷移することはなかった。

次に、図 3 に省電力機構を動作したライフログセンシングを運用した結果、得られたバッテリー残量推移と状態遷移の様子を示す。バッテリー残量を時系列に表した場合、図 3 のようになり、時間あたりのバッテリー消費量が各状態によって変動していることがわかる。地図上では確認できなかったが、屋内で停滞している時間にあたる期間では受信停止状態に遷移しており、大きく電力消費が抑えられていることが確認できる。省電力機構を動作させずに常時最短間隔で GPS センシングを行う場合では、動作良好状態のバッテリー消費量を参考にすると、時間あたり平均 3.48 [%/h] のバッテリー消費量であると考えられる。動作停止状態は時間あたり平均 1.64 [%/h] のバッテリー消費量であるため、今回の運用では動作停止状態であった 5 時間程度に関しては消費電力を約半分に抑えることを実現でき

ている。これらより、本機構上でユーザの状況に合わせた省電力手法が動作していることを確認した。

6. おわりに

本稿では、センシングモバイルを用いた個人行動認識のための永続的センシング環境下に適した省電力手法について提案した。我々は各デバイスが得ることのできる情報の価値がユーザの状況によって変化することに着目し、状況に合わせたセンシング制御を行うことで省電力を実現するための要件を挙げた。ライフログセンシングの目的である個人行動認識に必要な情報の欠落を避けるためにも、ユーザに特化された省電力手法を用いることが必要である。本稿ではセンシング機構側に、取得センサの値のイベントを外部アプリケーションに通知するイベント検知機構と、外部アプリケーションからセンシング設定を変更するセンシング設定変更機構を組み込むことで、個人特化された省電力手法を実現するための環境を整えた。

今後は、本稿で提案した機構の上動作する、人間行動認識のためのセンシングモバイルにおける永続的センシングに適した省電力手法について考えていきたい。ライフログセンシングにおいてユーザの状況認識に必要なデータを収集することは最重要項目であり、省電力によりこれが損なわれることがあってはならないという点に留意しながら、ライフログセンシングによって自動で個人特化される省電力手法について取り組んでいく。

参考文献

- [1] 中川智尋, 土井千章, 太田賢, 稲村浩: “コンテキストウェア・サービスのための間欠的切替測位による省電力入圏検出方式”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム論文集, 2012.
- [2] 清原良三, 三井聡, 松本光弘, 沼尾正行, 栗原聡: “携帯電話におけるコンテキスト情報としての低消費電力位置情報取得方式”, 情報処理学会研究報告, 2008.
- [3] 里中裕輔: “モバイルセンシングのための段階的イベント検知機構”, 立命館大学 卒業論文, 2010.
- [4] 坂本憲昭, 市川昌宏, 坂本一樹, 新井イスマイル, 名生貴昭, 西尾信彦: “同期シナリオを用いてセンシング携帯端末と協調連携するアプリケーションフレームワークの提案”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム論文集, 2010.
- [5] 武田恭典, 安積卓也, 西尾信彦: “端末ローカル情報のみで実現する GPS センシング省電力機構”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, 2011.