

## 状況依存システム構築のためのコンテキスト定義ツールの開発

山下雅史<sup>†</sup> 寺田努<sup>‡</sup> 西尾章治郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科

<sup>‡</sup> 神戸大学大学院工学研究科

**あらまし：** ユーザが携帯端末などを利用し様々な場所でサービスを受ける場合、その時の状況に応じた内容が提供されることで、より便利なサービスが実現できる。ユーザの状況を認識する研究はこれまでも行われているが、従来研究では状況はサービス提供者によりあらかじめ定義されたものであり、ユーザが新たに状況を定義することを想定していない。一方ユーザそれぞれが独自に状況を定義するためには、センサや認識アルゴリズムに関する深い知識が必要となる。そこで本研究では、専門的な知識をもっていないユーザでも容易に状況を登録できるようにするため、簡単な質問を数回行うことでユーザの意図に沿ったセンサや認識アルゴリズムをシステムが自動で選択するツールを提案する。

## A Context Definition Tool for Developing Context-aware Systems

Masashi Yamashita<sup>†</sup>, Tsutomu Terada<sup>‡</sup>, and Shojiro Nishio<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

<sup>‡</sup> Graduate School of Engineering, Kobe University

**Abstract :** When people uses various services in various places using their portable devices, these services should be customized according to user context. There are various researches to recognize users' context, however contexts used in these researches are defined and fixed by service provider, and therefore it is difficult for users to define a new context because they must have enough knowledge of sensors and algorithms for context awareness. To solve this problem, we propose a novel tool that provides the support for defining contexts with automatic parameter setting using only a few questions.

### 1 はじめに

近年、情報機器の技術発展や小型化により、多くの人が携帯電話やPDA 端末などの情報機器を持ち歩くようになってきている。これらの機器には小型の画面やスピーカなど情報提示の機能や、外部との通信機能が搭載され、利用者は時間や場所を選ばず、様々なサービスを受けることが可能となっている。

最近では情報機器を衣服のように装着することでよりユーザに密着したサービスを受けることができる、ウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている。これまでにウェアラブルコンピューティングを活用したシステムとして、ユーザの行動を常時測定することで健康管理を行うシステム [1][2] や、看護師の行動を認識することで医療ミスを予防するためのシステム [3]、ユーザの状況が変化した場合にナビゲーションを行うシステム [4] などが提案されている。ウェアラブルコンピューティング環境ではHMD (Head Mounted Display) やイヤホンのような情報提示装置、加速度センサやマイクのような入

力装置など、装着するデバイスがユーザ個人に特化されているという特徴があり、サービスの内容もこのデバイスの多様性に即したものが要求されている。

ユーザがサービスを受ける際には、その時ユーザが置かれた状況に適した内容が提供されることで、サービスはより便利になる。状況依存のサービスを実現するために、状況を認識するためのセンサデバイスや認識アルゴリズムについても様々な研究がなされており、9つの加速度センサにより日常生活における行動を認識するためのデバイス [5] や、加速度センサによる動作と超音波センサによる大まかな位置を取得し、隠れマルコフモデル (HMM) を用いて自転車の修理における各動作を認識するためのシステム [6] などが提案されている。

しかしながら、従来研究におけるこれらの状況はサービス提供者によりあらかじめ定義されたものであるため、ユーザが新たに状況を定義したいと思っても、サービス提供者に状況を追加で定義してもらおうか、使用されているセンサや計算手法などを勉

強してユーザ自身で定義する必要があり、一般的なユーザには困難なものとなっている。

そこで本研究では、ウェアラブルコンピューティング環境のようにユーザの状況に依存したサービスの提供が求められるシステムに対して、ユーザに専門的な知識が無くても容易に状況を登録できるツールを提案する。

以下、2章では状況依存システムについて具体例を挙げながら説明し、3章では状況を新たに定義するためのツールの設計について述べる。4章では提案するツールについて実験と考察を行い、最後に5章で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 2 状況依存システム

本研究では状況に依存したシステムとして、下記に挙げるようなサービスをユーザ自身が定義して利用することを想定している。

- 長時間座ったままだと健康にも仕事効率にも良くないと思い、1時間座り続けていたら体を動かすよう促すようにした。
- 腹筋した回数をカウントするために、上半身の動きをジェスチャとして登録した。
- 頻繁に携帯電話を置いた場所を忘れてしまうので、ポケットから取り出すたびに場所と時刻を記録させることにした。
- 明日は重要な書類を持参する必要があるので、自宅の玄関で扉を開けようとしたときにリマインダを提示させることにした。

これまでに研究されている行動認識を行うシステムとしては、Kristofらによる加速度から一般的な10種類の動作を判別するデバイス [5] などについて既に1章で述べた。しかし、主に姿勢や継続的な動作を認識するアルゴリズムでは、「手を左に回す」と「手を右に回す」といった似通ったジェスチャの判別には不向きである。逆にジェスチャを対象としたシステムでは、1歩だけ歩いた場合と2歩だけ歩いた場合で「歩く」動作の判別結果に相違が出てしまう。また、「手を回す」ジェスチャを登録する際には、手に取り付けたセンサを用いればよいと考えられるが、「座っている」姿勢を登録する際に手に取り付けたセンサを用いるのは適切とは考えにくい。このように、ある状況に対してそれを検出するために適したセンサやアルゴリズムは異なる。

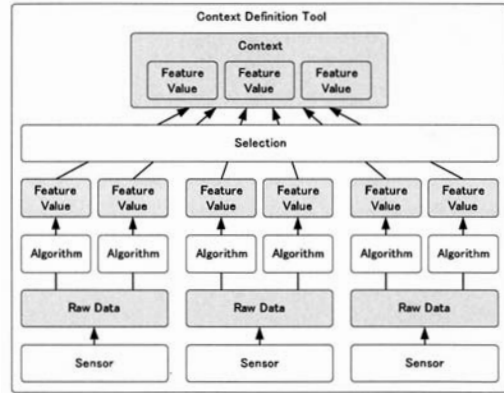


図 1: ツールの構成

適切なセンサやアルゴリズムを選択するには専門的な知識や経験が必要であるが、ユーザに対して専門的な知識を要求するようなシステムではごく限られたユーザにしか使えないものになってしまう。また、外出先などでは特に登録に要する手間を少なくする必要がある。これらの問題を解決するためには、システムがユーザの意図を認識し、適切なセンサやアルゴリズムの組合せを推測する必要がある。

さらに、例の最後に挙げたリマインダでは、場所と動作が組み合わさった状況であり、他にもRFIDタグや時刻などを組み合わせた状況など選択可能なセンサの組合せは膨大となり、サービス提供者が事前に全て登録しておくことは現実的でない。

本研究ではこれらを解決するため、状況の定義を支援するツールを提案する。

## 3 コンテキストの定義

前章で述べたように、ユーザが様々な行動を登録するツールには、様々な種類のセンサについて、必要と思われるセンサや認識アルゴリズムを推測し、ユーザの意図した行動を容易に登録できることが要求される。これを実現するために、図1に示す構成で行動の定義を行う方法を提案する。

行動の登録には各センサ部から出力される計測データに対して特徴量を計算する。ただし、この結果のみでシステムがユーザの意図を汲み取るには候補が非常に多く困難であるため、候補と推測される組合せを絞るために、数個の質問をユーザに答えさせる。

以下、候補を絞るための手法として、3.1節で加速度などのデータ系列から動作の抽出を行う方法、3.2節で質問回答インタフェースを用いて必要と考

えられる特徴量を推測する方法について述べる。

### 3.1 データ系列からの特徴部分抽出手法

加速度や音など連続的なデータでは、例えばジェスチャなどを行っている「登録に必要な部分」と、ジェスチャのあと別の動作に移る過渡的な状況など「登録に不必要な部分」が存在し、状況を登録するには前者をうまく抽出する必要がある。また、登録後の認識においても同じことが言え、特徴量の計算に適切なウィンドウサイズを設定することで、認識時の失敗を防ぐことができる。

ここでまず、従来研究から加速度の値変化により認識される状況について、その値の変化の特徴を考察すると、

- 「座っている」や「立っている」など変化が非常に少ない状態
- 「歩いている」や「走っている」など一定の変化パターンが続く状態
- 「ジャンプする」や「手を回す」など短時間で終わる変化が発生している状態

に大別できる。

これらより、現在の状況を表す部分だけを抽出するためには、加速度値の分散成分を用いればよいことがわかる。分散を用いるメリットとして、次の2点が挙げられる。まず1つ目は、計算が平均値からのバラツキを求めるものであることから、基本的な姿勢からの差分を抽出するにあたり、容易に動作部分を判別できることである。2つめは、計算上の負荷が比較的小さいことから、ウェアラブルコンピューティング環境などで用いられるような小型携帯端末でも動作に耐えうることである。

具体的な計算手順は下記に示す2段階で行う。

#### 1. 微小区間の分散の計算

まず微小なウィンドウサイズを設定し、範囲内の計測データが動作中であるか判断を行う。注目する時刻を  $t$ 、微小区間の幅を  $\delta$  としたとき、分散  $v$  を次式により計算する。

$$v(t, t - \delta) = \frac{1}{\delta} \sum_{k=t-\delta}^t x(k)^2 - \left( \frac{1}{\delta} \sum_{k=t-\delta}^t x(k) \right)^2 \quad (1)$$

データ系列に対して、注目する時刻を1サンプルずつ移動させて計算していくことで、動作中

の区間すなわち「登録に必要な部分」をおおまかに推測できる。

#### 2. 各区間の分散から差分の計算

次に、各区間で計算した分散について差分をとり、ウィンドウ間の変化の大きさを計算する。差分をとる区間については、時刻  $t$  の前後でのウィンドウを対象とし、次式を用いて差分  $d$  を計算する。

$$d(t) = v(t + \delta, t) - v(t, t - \delta) \quad (2)$$

この計算により、走っている状態から立ち止まっている状態など、変化のタイミングに近い時刻で差分が大きくなり、適切なウィンドウサイズを設定できる。

2段階目の計算結果から、差分が大きな時刻がウィンドウ境界の候補として得られる。計測データに変化がある部分は、直近の候補2つを仮定したときその内部の分散が大きいかどうかで判別することができ、ウィンドウの時間幅から短時間の変化が継続的な変化であるかを判別できる。また、認識においては現在から直近の候補までをウィンドウとすることで、現在の状態を適切に判断できる。

### 3.2 組合せ候補の絞り込み手法

加速度を用いたジェスチャやRFIDタグの認識など、ユーザがアクションを起こした場合はシステムがその行動を絞り込みやすい半面、GPSによる場所や時刻などの特徴量は常時取得されるものであり、大きな変化も起こらないため、ユーザが状況の登録に必要としているかどうかを推測するのは困難である。

そこで本研究では、状況を登録する際にシステムがユーザに対し簡単な質問を行い、それに答えさせることで用いる特徴量を絞り込む手法を提案する。本手法では、ユーザに対する問合せの数をできるだけ少なくするために、センサの種類ごとに優先度を考え、問合せ内容を適切にコントロールしている。ここで、センサの優先度に影響を与える要素としては下記のものが挙げられる。

#### 1. 更新頻度

RFIDタグからの入力など、ユーザが行動を起こさないと有効な特徴量が発生しないもので、この特徴量に組み合わせられる特徴量も限られる。

## 2. 状況推定の容易さ

加速度などのセンサでは、前節で述べた方法を用いてユーザーの状況を大枠で判断することができ、他のセンサが必要かどうかを推測できる。

## 3. 他との組み合わせやすさ

GPS による場所など組合せの自由度が高いものは、ユーザーに問い合わせないと必要かどうか判断できない。

これらを踏まえ、加速度、GPS、時刻、温度および RFID タグの各センサを用いた場合での、質問フローを図 2 に示す。これは、RFID タグ、加速度、GPS、の各センサについては上記に示す順に、時刻および温度については自由度が高く想定される組合せが多い時刻から先に注目し、ユーザーの意図との関連性を必要に応じて質問するものである。また、質問内容はあらかじめ推測された候補に関するか尋ねるなど、はい又はいいえの 2 択で行うものとした。

## 4 実装と評価

前章で提案した手法を用いて実際にツールのプロトタイプを作成し、その有効性を評価した。

### 4.1 実装

図 3 に示すようなツールを作成した。入力するセンサとしては、ワイヤレステクノロジー社製小型無線加速度センサ WAA-001 (手、腰、足の 3 箇所)、HAICOM 社製 GPS レシーバ HI-406BT、Phidget 社製 PhidgetRFID Kit、および PC (SONY 社製 VAIO VGN-UX90PS) 内部の時計を利用した。ツールは主に、左半面が計測データおよび特徴量やウィンドウ選択状態の表示、右半面は状況の登録や認識結果の表示を行う構成となっている。

実際に利用する環境を想定すると入力部分の表示はあまり必要でないかもしれないが、必要に応じて操作することも想定し、ボタン操作による登録や解除、グラフ上のドラッグによるウィンドウサイズの手動設定など、直観的な登録操作を行えるよう配慮した。

選択可能な特徴量は、加速度センサに対して各軸の平均値、分散、瞬時値、傾き、積分値および DP マッチング、そのほかのセンサについては、GPS の緯度および経度、RFID タグの ID、今日の日付、時刻、曜日、時間帯を用意した。

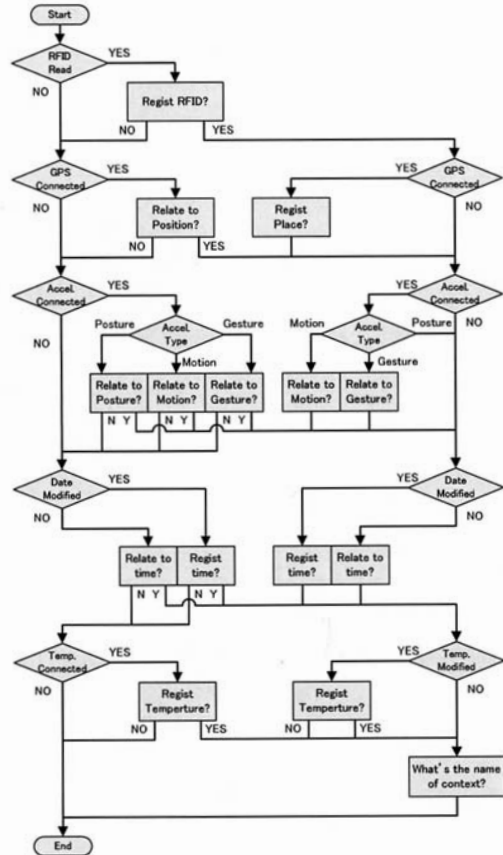


図 2: ウィザード形式の質問フロー

ツールに実装した認識手法は、複数状況の同時発生を許容できることと、学習回数をできるだけ少なくするため、単純にユークリッド距離を求める方法を用いた。この方法は、まず登録時にユーザーが意図する状況に必要な特徴量を選択保存する。以降、現在の計測データと対応する各次元についてユークリッド距離を計算し、各次元の相違が全て閾値以下であるかどうかで判別した。なお、閾値については事前に予備実験を行い、適切な値を設定した。

最後に、認識結果を実際に状況依存システムで利用するための手段として、Wearable Toolkit [7] のプラグインとして連携できる機能を実装した。この機能を利用することにより、認識された行動はECA (Event, Condition, Action) ルールのイベントとして通知され、アプリケーションを動作させるルールを加えることでシステムを構築できる。状況の登録からアプリケーションの動作まで、専門的な知識を必要とすることなくユーザー自身でシステムの構築を



図 3: コンテキスト定義ツール

行える。

## 4.2 実験

前節で述べたツールを利用して状況を定義した際に自動選択される特徴量やウィンドウ、認識率について評価を行い、提案手法の有効性について検討する。

実験で対象とした行動は、3.1節で挙げた3種類のパターンに対してそれぞれ2つずつとなるように、

1. 座っている
2. 立っている
3. 歩いている
4. 走っている
5. 飛び跳ねる
6. 腕をまわす

の6種類を、および複数のセンサを組み合わせた状況として、

7. 夕方に指定のRFIDタグを読む
8. 研究室付近を歩いている
9. 夕方に研究室付近で腕をまわす

の3種類を加えた合計9種類を設定した。これらの状況を、各特徴量の計算方法や特性をよく知っている行動認識の研究者と、一般的な利用者にそれぞれ登録してもらった。

まず、一般ユーザが手動で定義した特徴量、および質問回答インタフェースを利用して自動選択された特徴量に対して、研究者が手動で選択した特徴量

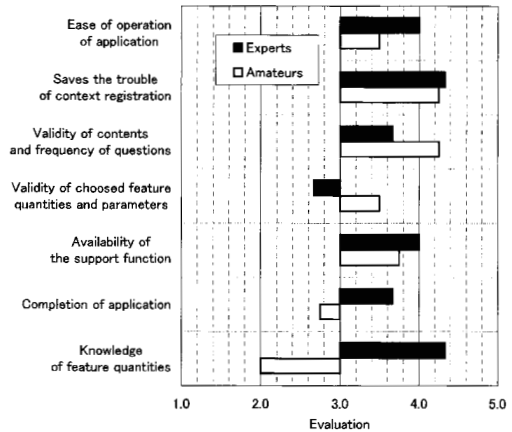


図 6: アンケート結果

と比較した。同じ特徴量、異なる特徴量が選択された数をそれぞれ  $S_{same}$ 、 $S_{diff}$  としたとき、研究者が手動で選択した特徴量の総数  $S_{all}$  との比  $R_s$ 、 $R_d$  を次式で計算し、得られた結果を図4に示した。

$$R_s = S_{same}/S_{all} \quad (3)$$

$$R_d = S_{diff}/S_{all} \quad (4)$$

ただし、 $R_s$  が1に近いほど研究者と同じ特徴量を選んだことになり、 $R_d$  は値が大きいほど研究者が不要と考えた特徴量を選んだことを意味する。結果より、一般ユーザが手動で特徴量を選択した場合、自動選択した場合と比べて研究者が不要と考えた特徴量を多く選択してしまう傾向にあることがわかった。

次に、各利用者に登録された状況を再現してもらい、登録した状況の認識率を評価した。研究者が手動で定義した状況、一般ユーザが手動で定義した状況、ならびに両者が自動登録を利用したときに定義された状況について、それぞれの認識結果を図5に示す。結果より多くの行動において、自動登録を用いた結果が研究者による定義には及ばないものの、一般ユーザより高い認識率を得られることがわかった。

最後に、ユーザに対してアンケートを行った。質問項目は、質問内容や回数、得られた結果の妥当性、UIや提案機能そのものの有効性などで、それぞれ5段階で評価してもらった。なお、評点が高いほど有効であるものとし、得られた評点の平均を図6に示す。ユーザの主観ではあるが、提示した特徴量への知識は研究者と一般ユーザで大きな差がみられた。これ以外の評価項目については研究者と一般ユーザで差がみられなかったが、このうち、自動で選択さ

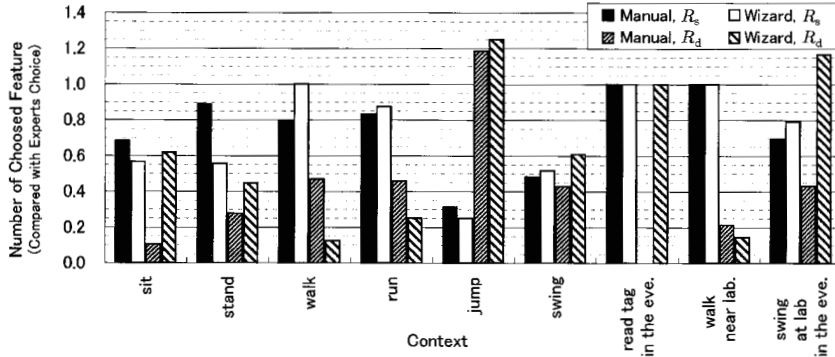


図 4: 選択された特徴量の比較

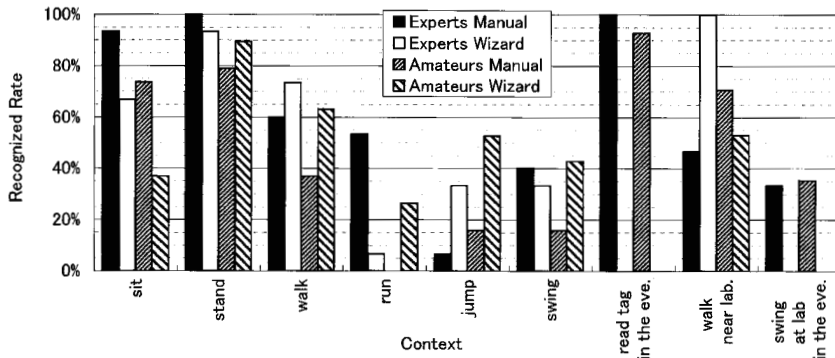


図 5: コンテキスト認識結果

れた特徴量の妥当性、アプリケーションの完成度の2項目については、否定的な評価が多く見受けられた。

### 4.3 考察

前節の結果から、一般ユーザにとっては自動登録を利用して状況を定義したほうが、概ね高い認識率を得られた。研究者については手動設定の精度が高いが、自動登録を利用したほうが認識率は高くなる場合もあることがわかった。

特に認識率が低かった、走っている、ジャンプする、腕を回すの各行動について、選択された特徴量を分析した結果、研究者が手動で定義した場合と大きく差異があるとわかった。

一般ユーザが手動で設定した場合、各特徴量への知識が不足したせいか、研究者が不要と判断した特徴量を特に多く選択しており、歩いている、もしくは走っているの各認識率が低下する原因となっていた。

自動登録を用いた場合には、状況を表す部分を抽出する際にうまく区間を認識できず、動作の開始前や開始後の区間を含めた行動が候補として選択さ

れることが多いとわかった。これは、動作の開始や終了がゆっくりとしており、境界部分として判断できない場合や、ジェスチャを行った後にアプリケーションを操作し始めるまでの操作が含まれてしまうといったことが原因であった。

このため、適切な特徴量が選択されず、研究者による手動の定義より認識率が低下してしまったと考えられる。しかし、ジェスチャを一定時間続く行動と誤認識してしまった際に、その種類の動作を認識するための汎用的な特徴量が選択されたことで、かえって研究者の手動登録よりも高い確率で状況が認識される場合もあった。

また、特徴部分や特徴量の選択に関して、全ての加速度センサをまとめた分散を計算し、特徴量の選択も全ての加速度センサ同じものを用いるとしていたため、手のみに依存する行動でも定義された行動は足や腰のセンサに依存してしまうものとなってしまう。この問題を解決するためには、特徴部分の抽出における分散の計算を各センサに分けて行うことで、一部のセンサのみに依存した行動を定義でき

るようにすることが必要である。

加速度以外のセンサに関しては計測データがデジタルもしくはそれに準じた内容であるため、特徴量の候補が少なく、質問およびその回答と結び付けやすいため、高い認識精度を得ることができた。ただし、時刻に関する特徴量を選択する場合、その設定方法の自由度が高く、不要な特徴量を選択してしまうかどうか、認識率を大きく左右させてしまうことがわかった。

今回実装したツールでは全ての質問をはいかいいえで答えてもらうようにしたが、センサデータの特徴により質問の形式を変化させることで、よりユーザの意図に応じた行動を定義できると考えられる。ただしユーザからは、今回の質問内容や回数については妥当であり、登録に要した手間も減ったという意見が得られたが、認識精度やユーザの意図を反映するために操作回数や複雑さを上げてしまうのは本末転倒となってしまうのでさらなる熟考が必要である。

## 5 まとめ

本研究では、ウェアラブルコンピューティング環境のようにユーザの状況の依存したサービスを提供するシステムに対して、利用者が容易にその状況を定義する機能を提供するツールの実装と、それを実現するために必要な機能についての提案を行った。ツールではユーザの意図する状況について、大まかな推測とユーザに対する問合せを組み合わせることで、専門的な知識を必要とすることなく、任意の状況をシステム利用中に定義できる機能を提供する。

今後の課題として、まず特徴部分の抽出をよりの確に行うために様々な計算手法を適用してみることが挙げられる。分散の計算を同種のセンサでも分けて行う方法を先に挙げたが、分散以外を用いた場合などについても検討の余地がある。

さらに、入力部分や特徴量の計算部分をモジュール化することで様々なセンサへの拡張性をもたせることや、行動認識を行うシステムの構築に際して認識機能の設計や試算に利用できるツールとしての利用にもつなげていきたい。

## 謝辞

本研究の一部は、独立行政法人情報処理推進機構 2006 年度下期末踏ソフトウェア創造事業「ウェアラブルコンピューティングのためのイベント駆動型モデルウェア開発」、文部科学省科学研究費補助金基

盤研究 (A) (プロジェクト番号: 17200006), および特定領域研究 (19024046) の研究助成によるものである。ここに記して、謝意を表す。

## 参考文献

- [1] K. Ouchi, T. Suzuki, and M. Doi: "LifeMinder: A Wearable Healthcare Assistant," in Proc. of International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC2002), pp. 791-792 (2002).
- [2] O. Amft, M. Stager, P. Lukowicz, and G. Tröster: "Analysis of Chewing Sounds for Dietary Monitoring," in Proc. of International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2005), pp.56-72 (Sep. 2005)
- [3] F. Naya, R. Ohmura, F. Takayanagi, H. Noma, and K. Kogure: "Workers' Routine Activity Recognition using Body Movement and Location Information," in Proc. of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2006), pp. 105-108 (2006).
- [4] M. Miyamae, T. Terada, Y. Kishino, M. Tsukamoto, and S. Nishio: "An Event-driven Navigation Platform for Wearable Computing Environments," in Proc. of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2005), pp. 100-107 (2005).
- [5] K. V. Laerhoven and H. W. Gellersen: "Spine versus Porcupine: a Study in Distributed Wearable Activity Recognition," in Proc. of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2004), pp. 142-149 (Oct. 2004).
- [6] T. Stiefmeier, G. Ogris, H. Junker, P. Lukowicz, and G. Tröster: "Combining Motion Sensors and Ultrasonic Hands Tracking for Continuous Activity Recognition in a Maintenance Scenario," in Proc. of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2006), pp. 97-104 (Oct. 2006).
- [7] T. Tsutomu, and M. Miyamae: "Toward Realizing On-site Programming Environments," IPSJ SIG Technical Reports, Vol.46, pp. 1-8 (May 2007).