

# 加速度センサと RFID を用いたユビキタス環境での利用者コンテキスト推定手法

## A User Context Estimation Method in the Ubiquitous Environment using Acceleration Sensors and RFID

猿田 芳郎<sup>▼</sup> 富井 尚志<sup>▲</sup>

Yoshiro SARUTA Takashi TOMII

近年のコンピュータの小型・高速化、センサ技術の発達によりユビキタス環境の研究が盛んに行われるようになってきた。本研究では、RFID を用いてオブジェクトの位置を管理するユビキタス環境において、オブジェクトに添付された IC タグを読み取ることで利用者が何を使用したかを取得し、また、利用者に装着された加速度センサから得られる時系列データより特徴量を抽出する。本論文ではこれらの情報を特徴量セットとして C4.5 決定木を作成し、利用者コンテキストの推定を行う手法について述べる。そして、プロトタイプシステムでの実験により、その有用性について評価した。

Numerous studies of ubiquitous environments have been undertaken recently because of rapid development of computer and sensor technologies. This study examines a method for users' context estimation in a ubiquitous environment. Position information of objects is managed using RFID tags and readers. Users' context estimation uses feature vectors extracted from time series data obtained from acceleration sensors attached to the user; the vectors are combined with reading of the tags for analyses.

We create a C4.5 decision tree using information described above and discuss the user context estimation method herein. Furthermore, we evaluate its feasibility using prototype system experiments.

### 1. はじめに

近年のコンピュータ技術の発達と、RFID等の様々な空間センサの登場により、ユビキタス環境への注目が高まっている[1]。このような空間では、利用者は時間や場所、あるいは背後で働く計算機システムの存在を意識することなく、情報サービスを利用することができる。そして、ユビキタス環境では、人の行動やオブジェクトの場所といった実世界の情報を計算機が自動的に認識し、状況に応じて異なるサービスを与えることが実現できる。このように実世界の状況や状態に依存する概念を“Context-Awareness”（コンテキストアウェアネス）と呼び、ユビキタス環境には不可欠な要素である。

我々はこれまでに、データベース管理システム(DBMS)を用

いてユビキタス環境を管理する「概念共有環境 CONSENT (CONcept Sharing ENvironment)」を提案してきた[2]。「概念共有環境 CONSENT」とは、共同社会での知識、すなわち「意味」や「意図」といった概念を、データベースを用いて共有・検索することが可能な仮想三次元空間である。この空間では、ある利用者の現実の操作を RFID を用いて取得している。これにより、人間の動作を蓄積し行動パターンを取得することで、利用者が日常生活を行う上での支援などが可能となる。

一方で、人間の動作を識別するために、加速度センサを用いた研究が行われている[3]。それらは移動や姿勢において高い認識率をあげている。しかし、日常的な活動は「本を読む」や「コーヒーを飲む」というように何らかのオブジェクトとともに行われることが多い。そこで、そのような動作をより高い精度で認識させるためには、利用者が使用しているオブジェクトが何であるかを RFID で特定し、さらにあらかじめ記述された知識情報、すなわちどのような動作が考えうるか、も考慮することで動作をより正確に認識できるものと考えた。

本研究では、加速度センサと RFID を用いた人の動作の推定手法を提案する。具体的には、利用者加速度センサを装着し、その時系列データから特徴量を抽出する。これと、動作の際に反応した RFID から得られる、データベースに蓄積している「what (使用した物体)」「where (使用した空間)」の情報を合わせて用いることで、利用者の動作を正確に認識することを試みる。ここで、本研究では「what」「where」とその動作「how」つまり、「なにを、どこで、どうした」という組を利用者コンテキストと呼ぶことにする。

以下、2章で本研究の背景について述べる。3章では利用者コンテキスト推定システムの設計をし、4章ではプロトタイプシステムの実装、5章でその評価を行う。最後に6章でまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 背景

### 2.1 関連研究

各種センサの小型化、また無線技術の発達により、人体にセンサを取り付けて日常活動を認識しようとする研究が行われている。中でも、加速度センサを使った研究は盛んで、移動や姿勢においての高い認識率を実証してきた[3]。さらに Bao ら[4]は、姿勢などに加え「読書する」「歯を磨く」といった 20 種の活動についても上半身と下半身に 1 つずつ加速度センサを装着することにより高い認識率が得られることを示した。また、Junker ら[5]は人の日常活動の認識評価に必要なサンプリング周波数について調査し、その結果 20Hz が必要であることを示した。

### 2.2 概念共有環境 CONSENT

高速・安価な計算機、ネットワークの普及により、ユビキタス環境に関する研究が盛んである。以下、その一例である、我々が提案している概念共有環境 CONSENT について述べる。

概念共有環境 CONSENT は、複数の人々が協調作業をする空間において、オブジェクトの位置や形状だけでなく、その空間に存在する「知識」や「常識」といった「概念」をも管理することで、利用者の支援を目指すものである。「概念」の管理は、それをオントロジとしてデータベースに蓄積することで、共有・検索が可能となる。

空間の共有を実現するためには、実空間中のオブジェクトの状態を、概念とともにデータベースに蓄積する必要がある。その際、利用者への負担を抑えるため、これは可能な限り無

<sup>▼</sup> 学生会員 横浜国立大学大学院環境情報学府 情報メディア環境学専攻博士課程前期 d07hc018@vnu.ac.jp

<sup>▲</sup> 正会員 横浜国立大学大学院環境情報研究院 tommy@vnu.ac.jp

意識的に行われることが望ましい。また、同時に複数のオブジェクトの移動を検知できる必要がある。これらの条件を満たすため、概念共有環境 CONSENT では無線 IC タグ技術 (RFID) を用いることとしてきた。まず、「オブジェクトをしまえる空間」など、意味を持つ空間 (where) に RFID リーダを配置し、その管理用 ID を位置情報と共にデータベースに登録する。一方、IC タグをオブジェクト (what) に貼り付けることにより、where と組み合わせることでこれらの位置情報を管理することが可能になる。また、これにより、たとえば本 A (what) に添付された IC タグが書籍棚 B (where) に設置された RFID リーダに反応した場合、ある利用者 C (who) による「本 A を書籍棚 B に『しまう』」という動作 (how) を取得できる。

ここで、what, where, how など小文字で表記した要素を個々のオブジェクトやそれらの組の現実の状態を表すインスタンスとみなした場合、一般にそれらのタイプをあらかじめ決定しておくことができる。本研究では対象空間の事物や事象のタイプとそれらの関係をオントロジとして記述し、その要素を以下、WHAT, WHERE, HOW のように大文字で表記する。WHAT, WHERE の組に対応する HOW はあらかじめデータベースに記述しておく。

しかし、このような状態の取得方法では利用者の動作を一意に識別できない場合が多く存在する。たとえば、「本 A」が「テーブル D」に反応した場合、利用者の動作は「読む」なのか「置く」なのか定まらない。そこで我々はこの問題について加速度センサとスキーマ化された多数のデータを用いた解決手法を提案する。

### 3. コンテキスト推定システムの設計

#### 3.1 基本的な流れ

本研究では、人が何らかの動作を行った結果、IC タグ (what, 使用した物体) が RFID リーダ (where, 使用した場所) に反応したと仮定する。このとき、RFID リーダが反応した瞬間から一定時間遡った区間の加速度データを読み取って、適切な動作 (how) を推定する。本研究での利用者コンテキスト推定システムを、流れに沿って説明する。(図 1)

- ① 人が何らかの動作を行った結果、IC タグ (what) と RFID リーダ (where) が反応する。このとき、人に装着しておいた加速度センサからデータを読み取る。
- ② ①の RFID 反応で特定した what, where の組に対し、それに対応した HOW の候補集合をクエリにより DB に問い合わせる。
- ③ 以上より得られた情報を特徴量セットとし、これを用いてあらかじめ用意した分類器にかけ、HOW を推定する。このとき、分類器には C4.5 決定木を用いる。

ここで、「RFID リーダが反応する」とは、IC タグが RFID リーダの検知範囲内に入ること、範囲外に出て行くことの 2 種類を意味する。以下これらをそれぞれ「Close」「Away」と呼ぶことにする。RFID の反応は、概念共有環境 CONSENT において、現実状態 (how) の作成、削除を判断する指標である。たとえば、「本 A」の IC タグが「書籍棚 B」の RFID リーダに反応した場合、HOW 候補としては「しまう」「取り出す」が考えられる。この場合、RFID の反応が Close ならば how は「しまう」、Away ならば how は「取り出す」と定められる。

#### 3.2 加速度センサの利用

日常的な活動を認識しようとする際、上半身と下半身に加速度センサを 1 つずつ装着、特に利き手の手首と腿に装着するとき、認識精度は良いとされる [4]。本研究でも加速度

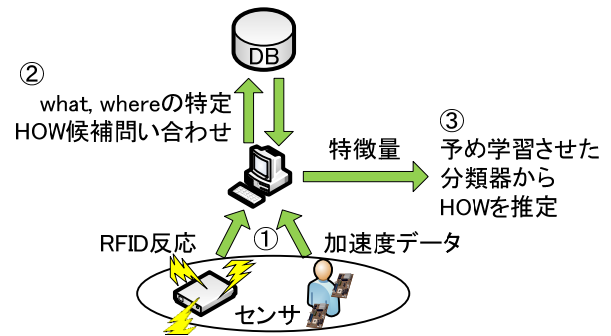


図 1 アーキテクチャ  
Fig.1 The architecture

センサをその 2 箇所に着した。また、サンプリング周波数は 33[Hz] に設定した。

動作認識において加速度データの特徴量はさまざまなものが用いられる [6]。本研究では式 (1) ~ (3) で示すように、基本統計量である平均、分散、mean crossing rate の 3 種を使用した。N, sample<sub>k</sub> はそれぞれサンプル数、k 番目のサンプルを表す。

$$mean = \sum_{k=1}^N sample_k / N \quad (1)$$

$$va = \sum_{k=1}^N (sample_k - mean)^2 / N \quad (2)$$

$$mcr = \sum_{k=1}^{N-1} \frac{|\text{sgn}(sample_k - mean) - \text{sgn}(sample_{k+1} - mean)|}{2} \quad (3)$$

以上の特徴量を、加速度センサ各軸について算出する。

#### 3.3 RFID の利用

RFID によって動作を検知するために、空間中に存在する物体 (what) に IC タグを貼付する。また、where になりうる物体には RFID リーダを設置する。

図 2 は概念共有環境 CONSENT のプロトタイプで用いたデータベースのスキーマ [2] の一部で、現実世界のモノ (what や where) と、それらの概念に関する情報を蓄積できる。このスキーマに基づき、ある動作が何であるかの HOW 候補集合を取得するための方法を示す。HOW の要素を表す「AO\_ID」(動作概念の ID) を ACTION\_ONTOLOGY テーブルから得るには、まず使用した物体 (WHAT) とそれを使用した場所 (WHERE) を表すそれぞれの「OO\_ID」(物体概念の ID) を得る必要がある。「OO\_ID」を得るには、各物体に一意に割り振られている「OEE\_ID」(実世界に存在する個別の物体 ID) を得ることが必要で、これが判れば HOW 候補が取得できる。この「OEE\_ID」は IC タグ情報を表す「RF\_ID」と一対一に対応している。つまり、「使用した物体 (what, IC タグ) の ID」「使用した場所 (where, RFID リーダ) の ID」これら 2 つの値がわかれば、動作に対する HOW 候補集合を CONCEPT テーブルより取得できる。

ここで、特徴量セットについてまとめる。

- 加速度データから算出される特徴量
- RFID 反応は Close であったか、Away であったか
- what, where の組から得られる HOW 候補集合

HOW 候補集合では、すべての HOW の要素を属性とし、what, where の組から得られる HOW の候補については True、そうでないものは False の値を与える。これにより、『ノート』を『机』で『食べる』といった CONCEPT テーブルに記述されていない動作を除外する効果が期待できる。

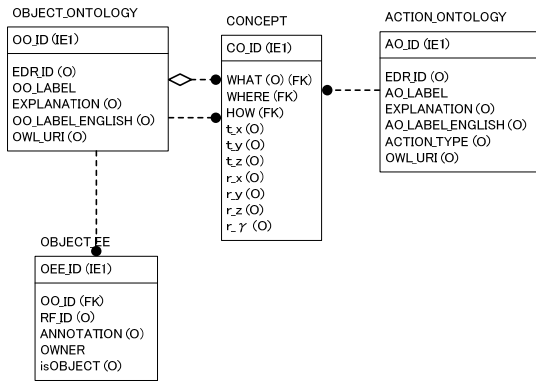


図 2 論理スキーマ (抜粋)

Fig. 2 The part of the logical schema



図 3 RFIDリーダとICタグ

Fig. 3 An RFID reader and an IC tag

#### 4. プロトタイプシステムの実装

3章の設計に基づき、利用者コンテキスト推定システムのプロトタイプを実装した。実装環境は以下のとおりである。

- CPU : Athlon XP 2500+ (1.83GHz) メモリ : 1GB
- OS : Windows XP Professional
- 開発環境 : Microsoft Visual Studio.Net 2005
- 開発言語 : Microsoft Visual C#
- DBMS : Microsoft SQLServer2005
- 加速度センサ
  - マイクロコントローラ : Freescale MC9S08QG8
  - 3軸加速度センサ : Freescale MMA7260Q (10bit, ±6G)
  - 評価カード : Sunhayato CT-298
  - 開発環境 : Freescale CodeWarrior for HC08 v5.1
- RFID

リーダ : FUJITSU F3972T110 タグ : OMRON V720S-D13P01

本研究では、プロトタイプとして以下に示す8種の動作をHOWの要素とし、動作データの収集対象とした。これらは過去の我々の研究室での実験[2]により明らかになった日常生活の上で頻繁に行われる動作の中から、加速度センサによる推定が可能であると見込める動作を抽出したものである。本手法はRFIDによるオブジェクト識別という環境的な制約がある。このため実験対象とする動作は室内の、特に机の周りの動作に限定する。頻繁に行われる動作は、他に「(扉を)開ける」「閉める」や、「(引き出しに)しまう」「取り出す」といったものがあつたが、これらは開閉センサや照度センサを用いることで比較的容易に取得が行えるものと考え、本研究では扱わない。

- ▽置く ▽取る ▽書く ▽読む
- ▽座る ▽立つ ▽飲む ▽食べる

加速度センサは3.2節の設計の通り、手首と腿に装着した。RFIDリーダは椅子、机の2箇所に配置し、椅子では「座る」「立つ」を、机ではその他6種の動作を行うことができる。ICタグは、以前から研究室にて貼付されていたもの、今回新たに追加したものも含め以下のオブジェクトに用いた。

- 一般書籍、ノート、雑誌
- 食料品 (パン、カップ麺、弁当…)
- 飲料品 (ペットボトル、缶、マグカップ)

ただし、食料品に対しては、その包装、容器にICタグを貼付した。椅子での動作では人間にICタグを貼付し、「座る」「立つ」を行ったときにRFIDが反応するようにした。図3は、机に設置したRFIDリーダと、ICタグを貼付したペットボトルである。

#### ◆ データ収集

3章で設計した特徴量セットを生成するため、以下のデータを収集した。

- (ア) RFID反応がCloseかAwayか
- (イ) (what, where)の組から得られるHOW候補集合
- (ウ) 加速度データ (手首と腿)
- (エ) 利用者が実際に行ったhow

(ア)(イ)(ウ)により特徴量セットを生成し、それら一つ一つに(エ)でラベル付けをする。このラベル付けされた特徴量セットから、オープンソースデータマイニングツールであるWEKA Version 3.4.10を使用し、C4.5決定木を作成した。

#### 5. プロトタイプシステムの評価

##### 5.1 特徴量セットの違いによる認識率の差異

本手法を評価するために、収集した学習/テストデータ等を用いて以下のA) B) C) D)4種の特徴量セット(図4)について、分類モデルの性能を評価した。被験者は1名、加速度データは256サンプル分(約7.7秒)を使用し、総インスタンス数は701件である。

- A) RFID反応<Close, Away>
- B) A)+HOW候補であるかどうか<True, False>
- C) 加速度データから算出される特徴量 (式1~3)
- D) すべて

8種の動作について、A) B) C) D)の場合それぞれを10分割交差検定によって評価した。結果を図5に示す。これは、現実に行われた動作が決定木によってどう分類されたかを表している。

A)は、Close, AwayのみからHOWを識別するため、サンプル数が多いものを正解とみなし分類している。B)は、databaseの情報を用いてHOWの候補を絞っているが、結局A)と同様、あるHOWに偏る。椅子の場合は、「座る」「立つ」が1対1に対応しており100%正解する。D)の提案手法では、加速度特徴量を加えたことで偏りは解消され、全体の認識率も向上している。C)の加速度のみの場合と比較すると、「立つ」を「置く」と認識するといった、使用物体が特定されていれば発生しないであろう誤りが減少しており、提案手法が

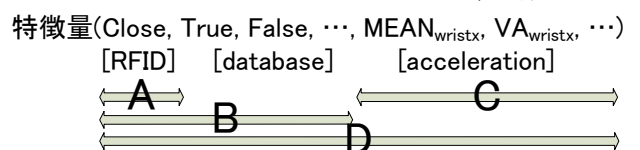


図 4 特徴量セット  
Fig. 4 The features

a b c d e f g h ← Classified as	a b c d e f g h ← Classified as
0 0 92 0 0 0 0 0   a = 置く	56 1 1 8 5 4 15 2   a = 置く
0 0 78 0 0 0 0 0   b = 座る	2 74 0 0 0 1 0 1   b = 座る
0 0 96 0 0 0 0 0   c = 書く	1 0 89 2 0 0 3 1   c = 書く
0 0 87 0 0 0 0 0   d = 読む	5 0 5 72 2 0 2 1   d = 読む
0 0 81 0 0 0 0 0   e = 食べる	9 0 0 1 65 3 3 0   e = 食べる
0 0 90 0 0 0 0 0   f = 飲む	2 1 0 0 1 81 3 2   f = 飲む
0 0 0 0 0 0 92 0   g = 取る	12 0 2 1 1 4 71 1   g = 取る
0 0 0 0 0 0 85 0   h = 立つ	3 1 0 0 0 0 2 79   h = 立つ

i) feature set A

iii) feature set C

a b c d e f g h ← Classified as	a b c d e f g h ← Classified as
0 0 27 12 23 30 0 0   a = 置く	68 0 2 10 6 6 0 0   a = 置く
0 0 78 0 0 0 0 0   b = 座る	0 78 0 0 0 0 0 0   b = 座る
0 0 96 0 0 0 0 0   c = 書く	0 0 92 3 0 1 0 0   c = 書く
0 0 33 54 0 0 0 0   d = 読む	7 0 1 79 0 0 0 0   d = 読む
0 0 0 0 81 0 0 0   e = 食べる	8 0 0 0 73 0 0 0   e = 食べる
0 0 0 0 0 90 0 0   f = 飲む	3 0 1 0 0 86 0 0   f = 飲む
0 0 0 0 0 0 92 0   g = 取る	0 0 0 0 0 0 92 0   g = 取る
0 0 0 0 0 0 85 0   h = 立つ	0 0 0 0 0 0 85 0   h = 立つ

ii) feature set B

iv) feature set D

図 5 Confusion matrix  
Fig. 5 Confusion matrix

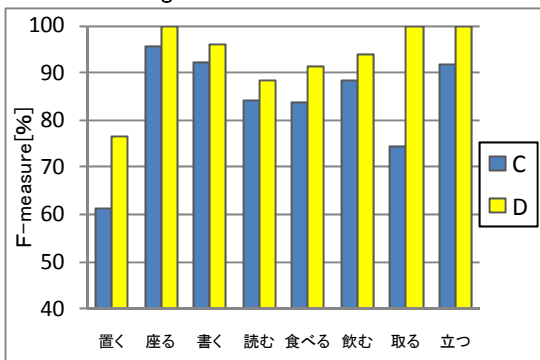


図 6 交差検定の結果

Fig. 6 Result of cross validation

有効に機能していることがわかる。また、図6で示すように、F値で表した各動作の認識率も向上している。

### 5.2 複数利用者による学習データの共有

前節の評価において、互いに誤認識をしやすいと認められる机の上での動作5種について、被験者を新たに3名加え、同様に実験を行った。このとき、各動作は日常生活を通じて2週間にわたり収集した。

また、「座る」「立つ」の動作を収集しないことから加速度センサは手首のみに装着し、RFIDリーダも机のみに設置した。加速度データは72サンプル分(約2.2秒)を使用し、総インスタンス数は1,069件である。

図7、図8は、被験者4人の学習データを合わせ、前節と同様に評価したものである。これらの結果を見ると、複数人の学習データを共有しても、各動作において提案手法は有効に機能し認識率が向上していることがわかる。したがって、複数の利用者が学習データを共有することに支障はないと考えられる。

## 6. おわりに

本論文では、何らかのオブジェクトに関わる動作について、加速度センサにより人の動きを取得し、RFIDにより使用オブジェクトとその場所を識別し、ユビキタス環境データベースに問い合わせることで利用者コンテキストを推定する一手法を提案した。特に、机の周りで行われる動作を中心に有用性を確認した。これにより、高い精度で利用者の行動パターンを取得でき、日常生活での支援に役立つものと考えられる。

今後の課題としては、机の周りでの動作に限らず一般的な

a b c d e ← Classified as	a b c d e ← Classified as
149 18 18 16 33   a = 置く	154 13 26 9 32   a = 置く
18 117 14 4 3   b = 読む	25 118 0 13 0   b = 読む
14 4 213 16 31   c = 飲む	23 0 255 0 0   c = 飲む
24 2 14 107 16   d = 書く	6 4 0 153 0   d = 書く
28 12 37 18 143   e = 食べる	8 0 0 0 230   e = 食べる

i) feature set C

ii) feature set D

図 7 Confusion matrix

Fig. 7 Confusion matrix

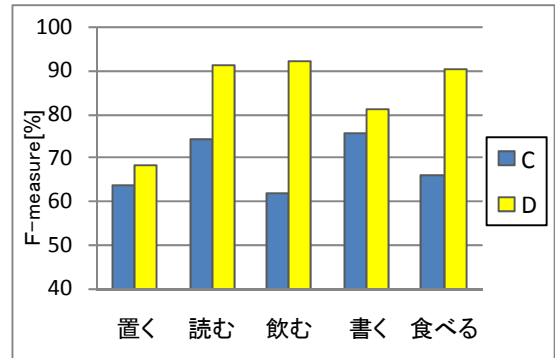


図 8 複数利用者の場合

Fig. 8 The case of four users

環境での検証が挙げられる。また、姿勢を考慮した動作の解析や、加速度データの読み取り時間をHOW候補によって変えるといった検討などが考えられる。

### [文献]

- [1] Ubiquitous ID Center <http://www.uidcenter.org/>
- [2] 小川梯知, 賀来健一, 渡邊文隆, 佐渡山英史, 富井尚志, “概念共有環境 CONSENT における行動パターンの取得”, Proc. of Data Engineering Workshop (DEWS2006), 4B-i9, March, 2006
- [3] F. Foerster, M. Smeja, and J. Fahrenberg: "Detection of posture and motion by accelerometry: a validation in ambulatory monitoring." Computers in Human Behavior, 15:571-583, 1999.
- [4] L. Bao and S. Intille: "Activity recognition from user-annotated acceleration data," in Proc. 2nd Int. Conf. Pervasive Computing, pp. 1-17. 2004.
- [5] Holger Junker, Paul Lukowicz, Gerhard Troster: "Sampling Frequency, Signal Resolution and the Accuracy of Wearable Context Recognition Systems," ISWC2004, pp. 176-177, 2004.
- [6] Nagendra B. Bharatula, M. Staeger, P. Lukowicz, and G. Troester: "Empirical Study of Design Choices in Multi-Sensor Context Recognition Systems." In IFAWC: 2nd International Forum on Applied Wearable Computing, pp. 79-93, 2005

### 猿田 芳郎 Yoshiro SARUTA

横浜国立大学大学院環境情報学府博士課程前期在学中。2007 横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。ユビキタス環境データベースシステムの研究・開発に従事。日本データベース学会学生会員。

### 富井 尚志 Takashi TOMII

横浜国立大学大学院環境情報研究院准教授。1999 横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了。博士(工学)。マルチメディアデータベース、時空間データベースの研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、日本データベース学会正会員。