

## 環境カメラと携帯端末を用いた位置特定手法

岩本 健嗣 † 小林 亜令 †  
太田 慎司 † 西山 智 †

ユビキタスコンピューティングにおいて、ユーザの位置情報は重要な意味を持つ。近年、特にユーザの位置に適応してサービスを行うような位置依存サービス (LBS) の重要さが増している。位置情報の取得方法としては、屋外では GPS を用いた手法が一般的に用いられ、携帯電話にも搭載され普及している。屋内においてユーザの位置情報を取得する手法は、様々な方法が提案されているが、いまだ一般的に利用可能な決定的な手法は考案されていない。本稿では、ALTI (Activity-based Location Tracking and Identification) と呼ぶ手法を提案する。本手法は、環境に設置したカメラと、携帯端末上のモーションセンサからの情報を組み合わせ、各端末のみが自身の位置を検出し、他の端末や環境からは個々の位置を特定させない手法である。本手法を用いることで、設置時のコストを抑え、プライバシーに配慮した屋内位置取得システムを構築することが可能となる。

### Activity-based Location Tracking and Identification

TAKESHI IWAMOTO ,† AREI KOBAYASHI ,† SHINJI OTA †  
and SATOSHI NISHIYAMA†

In ubiquitous computing environment, location information is crucial for ubiquitous services. This type of service, called LBS (Location Based Service), will be widely available in near future. For outdoor, GPS (Global Positioning System) plays an important role to provide location information for ubiquitous application. For instance, cellular phone with GPS receiver obtains its location and provide it to navigation application. On the other hand, for indoor environment, there are few methods to obtain the location information and each of them has its weakness in respect to the installing cost or privacy issues. In the paper, we focus on the method to provide location information to services in a public environment, and propose the indoor location system which utilize both a camera installed in the environment and acceleration sensors on a handheld device that users have. The method, called ALTI (Activity based Location Tracking and Identification), allows a handheld device to estimate each own location. Moreover, our method prevent other users and environment from getting location information of specific user.

#### 1. はじめに

近年、ユビキタスコンピューティング環境において、ユーザの屋内位置情報の重要性が高まっている。例えば、ユーザの最も近傍に存在する機器を利用して、サービスを提供するようなロケーションベースサービス (LBS) や、それを実現するためのサービス検索手法<sup>1)</sup>の提案も行われている。

このようなサービスを実現する手法として、環境に設置された位置取得システムを用いて、ユーザの位置を管理する手法が一般的に用いられている。例えば、超音波タグを利用する方法や、赤外線ビーコンによる

手法、無線 LAN 基地局を利用する手法などが報告されている。しかし、これらの手法では、環境がユーザの識別を行うため、その識別子を一元管理する必要がある。オフィスなどの利用者が限られる空間では、このような手法は有効であるが、公共空間のように、不特定多数のユーザが利用する環境での利用は現実的ではない。例えば、大型商業施設で利用する場合、入口や受け付けなどで、来場した顧客の ID 発行や、ID と携帯電話との紐付けなどが必要となり、煩雑な作業となる。また、ユーザの位置をシステム側でトラッキングするため、プライバシーが大きな問題になり、ユーザが利用する際の心理的障壁になると考えられる。

本研究では、カメラを用いた動体検出と、携帯端末上のセンサ情報を組み合わせることで、ユーザ各々の携帯端末で自身の位置を取得する手法を構築した。この

† (株)KDDI 研究所  
KDDI R&D Laboratories Inc.

手法により、環境が ID 管理や個人識別を行うことなく、屋内位置取得を実現することが可能になる。

## 2. 公共空間における位置取得システムの要件

本研究は、公共空間で、ユーザに位置情報を利用したサービスを提供するための位置取得システムを構築することを目的とする。本稿における公共空間とは、ショッピングモールや、駅といった不特定多数のユーザが一時的に訪れる場所と定義する。公共空間では、どのようなユーザが利用するかは特定できず、ユーザが特定機器を所持していること想定することもできない。また、ユーザが公共空間の管理者を完全に信用できるとも限らない。そのため、公共空間における位置取得システムの備えるべき要件は、家庭やオフィスなどの特定ユーザのみを対象としたシステムとは異なる。

公共空間における位置取得システムの要件を以下に述べる。

### ● 設置コスト

設置コストは、公共空間に限らず非常に重要であるが、特に公共空間では、商業施設など広い範囲で利用することが想定され、より規模に対するコストの制約は強くなる。また、公共空間では、例えば店舗の変更や利用目的の変更などが頻繁に起りうる。そのため、初期設置時だけでなく、設置構成の変更も低いコストで対応できる必要がある。

### ● 運用コスト

システムによっては、ユーザが特殊な機器を保持する必要がある。公共空間では、あらかじめ利用するユーザを特定できないため、特殊な機器やタグを利用する場合は、その場で配布する必要がある。また、ユーザを特定するために ID 配布や、テンポラリーに個人情報の登録が必要になることがある。こうした、配布や情報の登録、管理にかかる手間が運用コストとなる。

### ● プライバシ

公共空間では、ユーザがシステム提供者を完全に信用できるとは限らないため、システムがユーザの位置情報を把握することはプライバシーに関する大きな問題となり得る。特に、個人情報と共に登録されたユーザの位置をサーバなどで管理するモデルはプライバシーの問題となる。

## 3. 既存の屋内位置システムと公共空間への適用時の問題点

屋外と異なり、GPS を用いることのできない屋内では、位置情報を取得するために様々な手法が用いら

れている。本章では、屋内における位置取得システムの要件について述べ、いくつかの代表的な位置取得手法を取り上げ、その問題点について述べる。

### 3.1 超音波を用いた位置システム

超音波を用いたシステムとして Activebat<sup>2)</sup> や、InterSense 社のシステム<sup>3)</sup>、Cricket<sup>4)</sup> などがある。

例えば ActiveBat や InterSense 社のシステムでは、超音波タグの発信機をユーザに持たせ、環境に受信機を設置し、精度の高い位置情報を取得できるシステムである。また、Cricket では、ActiveBat などとは逆に、環境側に発信機を置き、ユーザは受信機を持つ。この研究では、超音波と無線を同時に発信し、その到着時間差を用いて発信機と受信機の距離を測位する。複数の発信機との距離を利用し、受信機側で位置の測位を行う。

しかし、超音波を用いたシステムでは、数 m ごとに 1 つ程度の割合で専用の受信機を設置する必要があり、設置に係るコストはカバーする面積の大きさに比例して高くなる。また、タグが実際にどのユーザと対応しているかを登録したり、タグを配布する必要がある。運用のコストも高い。また、環境に設置した機器でタグの位置を取得するため、プライバシーも問題となる。

### 3.2 無線 LAN を用いた位置システム

Ekahau<sup>5)</sup> では、無線 LAN の電波強度をユーザの持つ端末で計測し、複数の基地局からの電波の強度を取得することで、その場所を特定する。この方式では、あらかじめ環境の詳細な測定を行い、電波強度のマップを作成する必要がある。RADAR<sup>6)</sup> では、基地局でユーザの無線 LAN 端末からの電波強度を取得し、複数の基地局で得た強度を用いて位置を特定する。

これらの手法では、既に基地局がネットワークインフラとして設置されていれば、専用に機器を設置する必要はない。しかし、無線 LAN を用いる手法では、詳細なキャリブレーションが必要であったり、基地局の設置位置が制限される場合があり、設置コストは高くなってしまふ。

### 3.3 画像認識を用いた位置システム

カメラで撮影した画像認識を認識することで、ユーザの位置情報を取得する手法で、例えば、Easy Living<sup>7)</sup> では、部屋内のユーザをカメラで撮影し、位置をトラッキングする。また、カラーヒストグラムを用いて個人の識別を行う。

画像認識を用いた場合、設置は既存の監視カメラなどを用いることで簡易に行うことができる。またユーザに特別な機器を持たせる必要がなく、運用コストも

同様に低い。しかし、個人の識別方法が困難であり、例えばカラーヒストグラムを用いる場合、商業施設などで訪れる客のカラーヒストグラムを登録することは現実的でない。また、ユーザ同士が交差するなどの動きをした場合、個々を区別することが困難であるといった問題があり、精度を向上するのが非常に困難である。

#### 4. 環境カメラと個人携帯端末を用いた位置特定手法

前章で、既存の位置取得システムを公共空間に適用した場合の問題点について述べた。本章では、本稿で提案する環境カメラと個人携帯端末を用いた位置特定手法について述べる。

##### 4.1 本手法の概要

本稿では、環境カメラと個人携帯端末を組合せて個人の位置を特定する手法として、ALTI(Activity-based Location Tracking and Identification) を提案する。

本研究では、ユーザが特殊な機器を持つ必要がないといったメリットから、カメラを用いた位置検出システムに着目した。しかし、前節で述べたようにカメラを用いたシステムは、環境側から物体の位置を検出することが可能であるが、どの動物体が誰かといった個人認識の点で問題がある。ALTI では、環境に設置したカメラで個人特定されていない善ユーザの位置を取得し、これを軌跡データとして環境にいる全てのユーザの携帯端末に送信する。本研究では、携帯端末として、多くの人が利用している携帯電話を想定している。受信した携帯端末は、端末上のモーションセンサで取得したデータと照し合わせ、複数の軌跡から自分自身を特定する手法を提案する。ALTI では、システムで集中的に個々のユーザの位置情報を管理するのではなく、各ユーザの端末で自身の位置を把握する。また、環境側のシステムは不特定多数のユーザの位置座標を管理するだけであり、ID などといった個人を特定できる情報は持たない。そのためプライバシーに配慮したシステムを構築できる。

ALTI の概要を図 1 に示す。本手法では、カメラによって環境を撮影する。映像内の動物体を認識しその位置を 2 次元座標にプロットする。この座標情報を環境内の全ての携帯端末に送信する。このデータ内には、個人を特定する情報は含まれていないため、各端末、ならびに環境側のシステムでは、個人特定を行うことはできない。各携帯端末は、一定時間受信した座標情報から軌跡処理を行い、動き情報を抽出する。また、同時に携帯端末上のモーションセンサのデータを処理

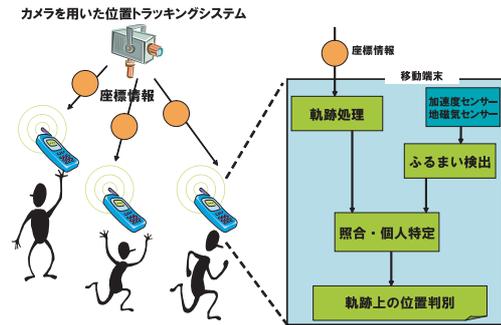


図 1 ALTI の概要

し、自分自身の振る舞い情報を取得する。この座標情報から得た複数の軌跡に対して、モーションセンサから得た自分自身の振る舞い情報を照合することで、自身の軌跡を推定する。これによって、自分自身の位置情報を得ることができる。

#### 5. 実装

本章では、本稿で行なった ALTI の試作について述べる。ソフトウェア、ならびにハードウェア構成を図 2 に示す。

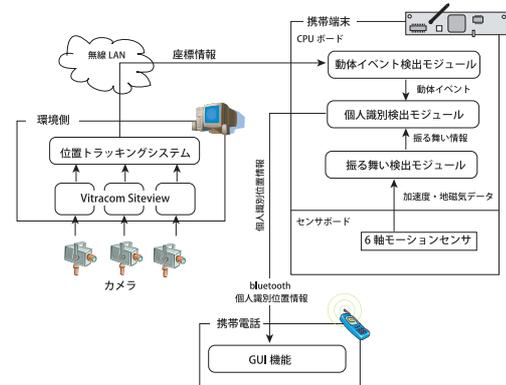


図 2 システム構成

##### 5.1 カメラを用いた位置トラッキングシステム

本システムでは、41 万画素のアナログカメラを用い、床からの高さ 2.9m の天井に真下に向けて設置した。カメラ 1 台の撮影可能範囲は、約 415cm x 285cm である。本トラッキングシステムは、動物体検出モジュールとして、Vitracom Siteview<sup>8)</sup> と呼ばれる動体検知ソフトウェアを利用した。動物体検出モジュールは、1 台のカメラから取得した画像を分析し、カメラ内の動きを検出する。検出された結果として、オブジェクト ID とその位置を記録する。検知頻度は 1 秒間に 5 回に設定して利用した。

位置トラッキングシステムでは、複数の動物体検出モジュールから出力された動物体オブジェクトのデータを接続し、単一の座標系にマップする機能を追加する。また、オブジェクトの停止時に、一定期間これを記憶し、次に再度動き初めた際にこれを接続する機能を持つ。この単一の座標系内に存在する動物体の情報を、無線 LAN を用いて一定間隔で特定のネットワークセグメントにブロードキャストによって送信する。送信される軌跡データに含まれる項目を表 1 に示す。

センサ ID	カメラの ID
メッセージ ID	メッセージの通し番号
時刻	システム上の時刻
オブジェクト ID	動物体の ID
X 座標:Y 座標:Z 座標	オブジェクトの位置

5.2 6 軸モーションセンサを搭載した携帯端末  
 ユーザの動き情報を取得するため、モーションセンサを搭載した携帯端末を試作した。携帯端末の外観を図 3 に示す。

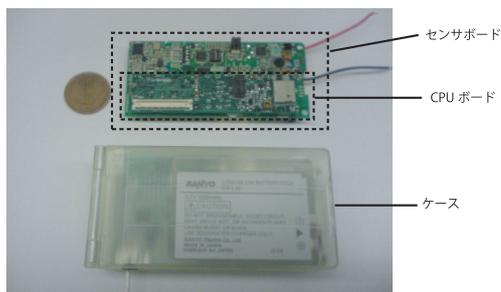


図 3 携帯端末の外観

本端末は、6 軸モーションセンサを搭載した試作ボードと CPU ボードからなる。CPU ボードには、gumstix<sup>9)</sup> を利用した。主なスペックを表 2 に示す。

CPU ボード	センサボード	電源
CPU OS ネットワーク	加速度センサ 地磁気センサ I/O	リチウムイオン充電電池
XScale 400MHz Linux 2.6.11 802.11b, bluetooth	日立金属 H34C 旭化成 AK8971N I <sup>2</sup> C	1200mAh

本携帯端末は、センサから取得した加速度と地磁気データを取得する。また、無線 LAN を用いて環境の

カメラで取得した軌跡情報を取得する。

### 5.3 振る舞い検出モジュール

本実装では、携帯端末で取得するユーザの振る舞い情報として以下の 4 つを識別する。

- 歩行状態
- 停止状態
- 左カーブ
- 右カーブ

歩行状態、停止状態の推定は以下の手順で行なった。まず、加速度センサからの 3 軸分の加速度データを 1 つに合成した。このデータを FFT で処理し、パワースペクトラムを得て、特定の周波数成分と、それ以外の周波数成分を比較して閾値判定し、歩行状態の推定を行なった。

左カーブ、右カーブは地磁気センサのデータを、姿勢情報を用いて方位情報に変換し、方位の変位量を閾値で判定することで行なった。

### 5.4 動体イベント検出モジュール

トラッキングシステムから受信した軌跡データを処理し、軌跡から動体イベントを検出する。本実装では、以下の 4 つの動体イベントを検出した。

- 移動
- 停止
- 右カーブ
- 左カーブ

停止は、500msec の間、規定の距離以上動かなかった場合を停止と判定した。またカーブは、各軌跡から、最小二乗法を用いて 5 点間の直線を導く ( 図 4(b) )。この直線を 5 点前の時点での直線と比較し、角度を求める ( 図 4(c) )。この角度から、閾値を用いてカーブであるかどうかの判定を行なった。

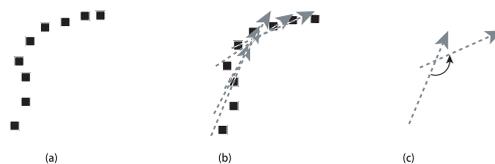


図 4 カーブの識別手法

### 5.5 個人識別モジュール

4.1 節で述べたように、ALTI では振る舞い情報と動体イベントから個人の識別を行う。この実装方法として、振る舞い検出をトリガに該当する軌跡を探索する手法と、先に全軌跡中から特異なものを探索し、これと検出された振る舞いを照合する手法の 2 つが考えられる。前者は軌跡を探索するための計算量を減らす

ことができるため、軌跡数が多い場合に適しているが、常に振る舞い検出を行う必要があり、これが計算資源を消費してしまう問題がある。後者は、複数の軌跡から特異なものを検出した時のみ、振る舞い検出を行う手法であるため総軌跡数が少ない場合に適している。本稿では、後者の手法で実装を行なった。

上述したように、個人識別モジュールでは、同一区間に発生した複数の動体イベントから特異なものを抽出し、ふるまい情報と比較を行う。まず、同一時間区間内の複数の動体イベントを比較し、そのなかで唯一の動きをしているオブジェクトを探索する。このオブジェクトを特異オブジェクトと呼ぶ。例えば、ある区間で、3つの軌跡データが存在していた時、[移動、移動、停止]という動体イベントが出力されていれば、停止しているオブジェクトは特異オブジェクトとなる。この特異オブジェクトの動体イベントを、振る舞い情報と比較し、一致した場合、その軌跡を個人と特定する。

本実装では、この比較を行う際に、軌跡情報が端末に到着する遅延時間を考慮した。具体的には、最大1秒の動体イベントを遅らせてふるまい情報との比較を行なった。比較の結果一致した軌跡を、その携帯端末を持つユーザ自身の軌跡であると判断する。

## 6. 評価

本章では、ALTIの評価について述べる。まず、歩行時の加速度、地磁気センサの値と軌跡情報を取得し、オフラインでALTIのアルゴリズムを利用し個人特定を行なった結果について述べる。次に、実機を用いて複数人で歩行し、リアルタイムに処理し、位置検出を行なった結果を述べる。最後に、関連研究との比較を行う。

### 6.1 シミュレーション評価

ALTIの性能評価として、以下の実験を行なった。

まず、図5中の(a)-(f)の6パターンの歩行を行い、軌跡と6軸のセンサデータを取得する。各パターンから2つの軌跡を任意に組合せ、これにそれぞれのセンサデータをオフラインで与えて推定を行う。例えば、(a)と(b)の軌跡の組に対して、(a)のセンサデータを与え、結果として軌跡が(a)と推定できれば正解とする。この場合の(a)にあたる、正常判定の対象となるパターンを正パターンと呼び、(b)にあたる組合せ対象を誤パターンと呼ぶ。実験は、200msec毎の区間において、正パターンと判定できた区間を正常判定、誤パターンと判定した区間を誤認定として、測定した。結果は、どちらかの軌跡と判定できた区間数に対

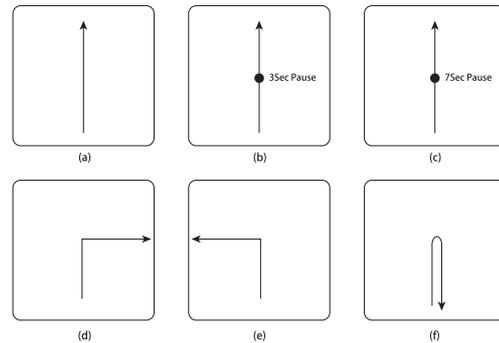


図5 実験の概略

し、正常判定できた区間と誤認定した区間のそれぞれの割り合いを算出した。結果を図6に示す。

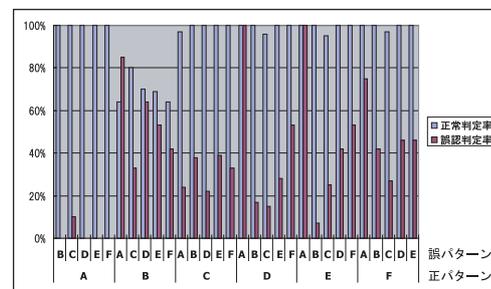


図6 実験結果 1

各組合せの合計が100%を越えるのは同一区間に対して正パターン、誤パターンともに識別した区間が存在するためである。このような区間が存在する理由は、個人識別アルゴリズムにおいて、軌跡データの到着遅延を考慮し、軌跡に対して1秒前までのセンサ情報を適用しているためである。

また、誤パターンを(a)とした場合、誤認定率が高くなっている。これは、軌跡データ上では停止状態、もしくはカーブ状態であっても、加速度センサ上ではその直前の歩行状態を用いてマッチしてしまうためである。

これを解決するため、正パターンと誤パターン共に検出した場合、適用した遅延時間の短い方を優先した結果を図7に示す。この結果では、結果1と比べて誤認定率が下がっているのがわかる。

実験結果1,2に共通して、(b)を正パターンとした場合の正常判定率が低く誤認定率が高い。これは、加速度センサが停止と判断するまでに、時間がかかることと、停止時は軌跡上にカーブなどの他の動きが出やすいということが考えられる。

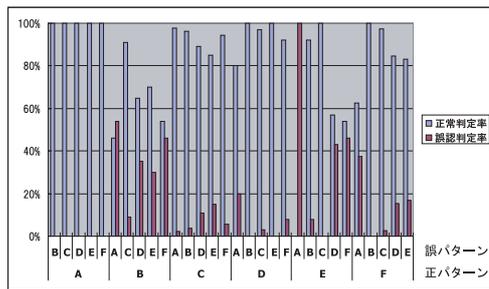


図 7 実験結果 2

## 6.2 関連研究

モーションセンサとビデオカメラを用いた個人識別型位置検出手法<sup>10)</sup>では、本研究と同様に、環境に設置したカメラを用いてユーザを撮影し、ユーザの持つ加速度センサのデータと撮影によって得た位置情報を照合して、個人識別を行う。この研究では、加速度センサのデータから、移動距離や歩数を計測し、カメラの情報との照合を行なっている。また、想定アプリケーションが幼児の行動分析であるため、照合は、全てのデータを環境側に集め、非リアルタイムに行われる。

Azim<sup>11)</sup>では、環境に設置されたマークを、ユーザが専用端末を用いて指し示すことで、各マークからの方位角を求め、確率モデルに従って自身の位置を特定することができる。しかし、ユーザが各マークを能動的に指し示したり、マークの色を指定するといった入力をする必要がある。

デッドレコニングによる手法<sup>12)</sup>では、加速度センサを用いて、歩行動作と移動方向を検出することで、位置推定を行うことができる。この手法では、精度を保つためには、重力加速度を検出するために、鉛直方向の変化を小さくする必要があるため、センサの保持方法が体幹に近い位置に制限されてしまうという問題がある。また、誤差が蓄積されてしまい、長時間利用し、歩行距離が長くなるほど大きなずれを生じるため、マップマッチングなどの手法や、他のセンサと組み合わせることで推定精度を維持する必要がある。

## 7. おわりに

本稿では、公共空間のような不特定のユーザが利用する環境において、屋内位置情報を提供する手法として、ALTIを提案した。ALTIは、環境に設置したカメラからの軌跡情報と、携帯端末に搭載されたモーションセンサを用いて、携帯端末が自身の位置を推定する。この手法により、環境にはカメラだけを設置することで設置、運用の簡易化を図り、また、個人特定を各端末で行うことでプライバシーに考慮した位置取得システ

ムを実現できた。

今後の課題として、現在の実装では、動体イベントおよび振る舞い情報の抽出は、あらかじめ静的に決められた閾値によって決定している。これを改良し、個人の違いを学習することができれば、さらに精度を向上させることができると考えられる。また、今後アプリケーションとの連携を行い、実際の携帯電話などへの適用を視野に入れたサービスの提案なども行う必要がある。

## 参考文献

- 1) Czerwinski, S.E., Zhao, B.Y., Hodes, T.D., Joseph, A.D. and Katz, R.H.: An Architecture for a Secure Service Discovery System, *Mobile Computing and Networking*, pp.24-35 (1999).
- 2) Harter, A., Hopper, A., Steggle, P., Ward, A. and Webster, P.: The Anatomy of a Context-Aware Application, *Mobile Computing and Networking*, pp.59-68 (1999).
- 3) InterSense: IS-600 <http://www.isense.com/products/prec/is600/>.
- 4) Priyantha, N.B., Chakraborty, A. and Balakrishnan, H.: The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications, *Proc. 7th ACM MOBICOM* (2001).
- 5) Ekahau: Ekahau RTLS <http://www.ekahau.com/?id=4200>.
- 6) Bahl, P. and Padmanabhan, V.N.: RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, *INFOCOM (2)*, pp.775-784 (2000).
- 7) Brumitt, B., Meyers, B., Krumm, J., Kern, A. and Shafer, S.A.: EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments, *HUC*, pp.12-29 (2000).
- 8) VitraCom: Siteview <http://www4.kke.co.jp/siteview/>.
- 9) GumstixInc.: Gumstix <http://gumstix.com>.
- 10) 河合純, 永田章二, 清水宏章, 新谷公郎, 金田重郎: モーションセンサとビデオカメラを用いた個人識別型位置検出手法, 情報処理学会コピキタスコンピューティングシステム研究会 2004-UBI-5 (2004).
- 11) Iwasaki, Y., Kawaguchi, N. and Inagaki, Y.: Azim: Direction Based Service using Azimuth Based Position Estimation, *Proc. The 24th International Conference on Distributed Computing Systems*, Tokyo, Japan, pp.700-709 (2004).
- 12) Kouroggi, M. and Kuratal, T.: Personal Positioning based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera, *Proc. ISMAR03*, pp.103-112 (2003).