

## Human Probe を利用した高次地理位置情報取得・管理システムの提案

鈴木 亮平<sup>1</sup> 石田 泰之<sup>2</sup> マーティンス マルセロ エンリケ テインシェイラ<sup>1</sup>  
戸辺 義人<sup>2</sup> 木實 新一<sup>3</sup> 瀬崎 薫<sup>3</sup>

近年、コンピュータや無線通信デバイスの小型化、軽量化が進み、ウェアラブルコンピューティングの実用性が高まってきた。人が小型化されたセンサ、GPS、PCなどを身につけるようになると、さまざまな情報が取得できるようになる。我々はこのような人を“HumanProbe”と呼ぶ。都市部のような人の多い環境では、個々のHumanProbeが取得した情報を提供し合うことで都市部に埋もれていた情報を引き出すことが可能となる。これらの情報は地図と連携することによって、より視覚的で有益な情報となるが、取得したデータの位置情報誤差が増加すると、有益であるはずの情報が違う場所の情報として扱われてしまう可能性があるといった問題がある。そこで、我々は、位置情報誤差を考慮した高次地理地情報の取得・管理をシステムを提案する。

### A System for Extracting and Managing Geospatial Environmental Information Utilizing Human Probe

Ryohei Suzuki<sup>1</sup> Yasuyuki Ishida<sup>2</sup> Marcelo H. T. Martins<sup>1</sup>  
Yoshito Tobe<sup>2</sup> Shin'ichi Konomi<sup>3</sup> Kaoru Sezaki<sup>3</sup>

With the advent of wireless sensor nodes, we can create a system of environment monitoring in urban areas. Although variable sensors can be deployed densely in certain area, it is not cost effective to use sensors more than necessary. Instead of embedded sensors, we can utilize information emitted from walking people. Although the technique of localization is advanced, there still exists a location error. It brings a huge impact for mapping the data, especially in large scale. Based on the idea, we propose a system of extracting environmental information with considering degree of location error. In our system, we have extended WINFO+, previously developed system for broadcast personal sensed information, to overcome issues about a location error.

#### 1. まえがき

近年、無線通信技術および半導体技術の発展に伴い、無線センサ端末の小型化、軽量化、省電力、高性能が進んでいる。また、センサに関しては脳波、眼球運動、脈拍、皮膚温度などの生体情報を取得するセンサや、花粉、CO<sub>2</sub>など周囲の環境情報を取得するセンサなど様々な種類のセンサが開発されている。このような背景から、これら無線通信機能を備えた様々なセンサを人に装着することは困難ではなくなってきた。我々はこのような人をHumanProbeと呼び、都市センシングの構成要素として捉えることで、都市に隠された環境情報の取得を目指している。

既に、環境情報と地理位置情報と関連付けることで高次地理位置情報を取得・視覚化するWINFO+ (Wearable Micro Info-broadcaster)を提案したが<sup>1),2)</sup>、WINFO+では位置情報を正確に取得できることを前提とした。実際、GPS等を利用した位置情報取得技術は高精度化しているが、GPSを利用した場合、消費電力の問題に加え、衛星からの見通しの悪い建物付近では精度が落ち、屋内や地下では使用できないといった制約がある。現在、国土地理院を中心に、位置情報の参照点となる電子タグ付きの基準点を国土に展開する構想がなされており、そのための基盤技術や電子タグの配備などの研究が進んでいる。我々は既に、GPS利用の利用が困難な状況においても、このような電子タグと、歩行者に装着した加速度、磁気センサを利用したデッドレコグニングによる位置情報高精度化手法を提案している<sup>3)4)</sup>。しかし、いずれの位置情報取得技術を利用してもある程度の誤差を生じる。このような誤

1 東京大学 生産技術研究所

2 東京電機大学 工学部 情報メディア学科

3 東京大学 空間情報科学研究センター

1 Institute of Industrial Science, University of Tokyo

2 Department of Information Systems and Multimedia Design, Tokyo Denki University

3 Center for Spatial Information Science, University of Tokyo

差は利用する位置情報取得技術毎、また歩行者の移動状態に応じて大きく変動する。このような誤差の変動はセンサデータの信頼性に影響を与えるだけでなく、誤差範囲が大きいにも関わらず空間粒度の細かいセンシングをするといった、無駄なエネルギー消費を引き起こす。

以上の背景から、我々は WINFO+ を拡張し、位置情報とその誤差を考慮した高次地理位置情報の取得・表示を行うシステム、WINFO++ を提案する。本稿では、まず第2章において、高次地理位置情報を取得・表示を行う上での課題を整理し、第3章においてその解決手法を述べる。また、第4章でシミュレーションによる評価について述べ、第5章でプロトタイプの実装による実験とその結果の議論、また、第6章において、関連研究について触れ、最後に結論および今後の課題を述べる。

## 2. 課題

我々は、HumanProbe を利用し、位置情報誤差を考慮した高次地理位置情報の取得・表示を行う際の課題を、以下の3つに整理した。

- ・ センシング粒度の調節
- ・ 高次地理位置情報の取得・管理
- ・ 高次地理位置情報の視覚化

位置情報誤差が大きい場合、空間粒度の小さいセンシングを行ったとしても、誤差粒度が大きいため、結果として得られたデータは空間粒度の大きいデータとなってしまう。そのため、位置情報誤差に応じた空間的なセンシング粒度の調節を行う必要がある。また得られたセンシングデータから高次地理位置情報を取得した場合においても、高次地理位置情報に位置情報誤差がのってしまい、ある点の情報ではなくある面のどこかとして扱うことになる。そのため位置情報誤差範囲を考慮し、高次地理位置情報を管理する必要がある。さらに、高次地理位置情報の視覚化においては、ユーザーが要求した地図のスケールに応じて位置情報誤差の表示域に対する割合は変化する。例えば、建物レベルでのスケールでは位置情報誤差が大きすぎる場合でも、都市レベルでのスケールでは位置情報誤差が見かけ上小さくなり、点として扱うことも可能となる。

## 3. 提案手法

本章では、前章で述べた課題の解決手法を述べる。

我々は前提として、HumanProbe の位置情報取得には過去に提案した GPS とポイントマン DRM を用いたデットログニングまた、HumanProbe 同士の存在予測範

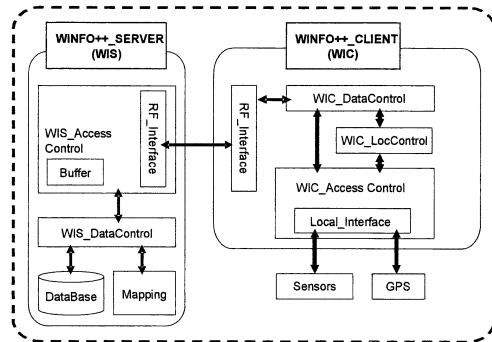


図1 システムアーキテクチャ

囲の交換による位置情報の高精度化アルゴリズムを利用する<sup>4)</sup>。ポイントマン DRM には加速度、ジャイロ、時期方位、気圧センサを搭載され、ユーザーの相対位置を推定することが可能である。

### 3.1 システム構成

WINFO++ の構成は、実際にセンシングした情報を収集する人にあたる、WINFO++ Client (WIC) と、収集したセンサデータから高次地理位置情報を生成、表示する WINFO++ Serve (WIS) から成る。図1にシステム構成を示した。

#### 2.1.1 WINFO++ Client (WIC)

WIC ではセンサデータと位置情報の取得を行う。高次地理位置情報の算出は WIS において行われるが、位置情報誤差はセンシング粒度調節に利用するため、WIC において算出する。

WIC\_Access Control では、Local\_Interface を通してセンサデータ、位置関連情報を取得する。取得したセンサデータは WIC\_Data Control に、位置関連情報は WIC\_LocControl にそれぞれ送る。WIC\_LocControl では位置情報誤差範囲を算出し、WIC\_DataControl に送る。WIC\_DataControl ではセンサデータに応じて WIS において処理しやすい形(CSV 形式等)に変換し、ハードディスクやフラッシュメモリ等の記憶媒体に保存、管理する。さらに、位置情報誤差範囲に応じてセンシングレートの調整を行う場合は、ここでレートを算出し、WIC\_Access Control を通してセンシングレートの調整を行う。

#### 2.1.1 WINFO++ Server (WIS)

WIS では WIC から送られてきたデータを時間、位置情報、位置情報誤差を考慮し DataBase において

管理する。さらにユーザから送られてきた要求に応じて地図へのマッピングを行う。

## 2.1 位置情報誤差範囲の取得

本章では、ポイントマン DRM より得られた位置情報とセンサ情報から、自身の存在範囲を生成する手法について述べる。ポイントマン DRM は搭載されたセンサ群によりユーザの歩行動作を認識し、歩幅、歩数、進行方向を推定することができる。このパラメータを用いてユーザの存在範囲の推定を行う。

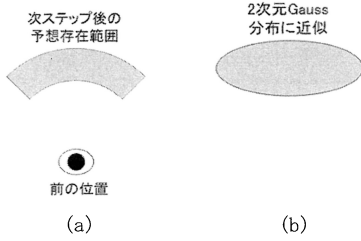


図2 歩行動作における存在範囲の生成と近似

予備実験により、ポイントマン DRM による歩行距離の推定値、および進行方向角の誤差はガウス分布をとることがわかった。したがって1歩進んだときのユーザの存在範囲は図2(a)のような扇形を取ると考えられる、一方進行方向の推定値の誤差は十分小さい(標準偏差 5deg 程度)ため、ユーザの存在範囲は2次元 Gauss 分布をとり、図2(b)のような楕円形に近似することができる。ポイントマン DRM による測位は以下のように表される。

$$\vec{x}_{i+1} = \vec{x}_i + w_i \vec{d}_i$$

ここで  $\vec{x}_i$  は  $i$  歩目の位置ベクトル、 $w_i$  は  $i$  歩目の歩幅、 $\vec{d}_i$  は  $i$  歩目の進行方向単位ベクトルである。

次に測位誤差のふるまいについて検討する。いま  $i$  歩目のステップで、進行方向の方位角の分散が十分小さいことから、進行方向ベクトルの誤差を、進行方向と垂直の Gauss 分布に従う誤差  $e_i$  と近似することができる。したがって、歩目の移動後のユーザの位置は以下の式で示される。

$$\begin{bmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i + w_i \cos \theta_i - e_i \sin \theta_i \\ y_i + w_i \sin \theta_i + e_i \cos \theta_i \end{bmatrix} = A_i \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ w_i \\ e_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cos \theta_i & -\sin \theta_i \\ 0 & 1 & \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 $M_i$  を  $[x_i \ y_i \ w_i \ e_i]^T$  の分散共分散行列とすると、 $x_i \ y_i \ w_i \ e_i$  は互いに独立なので、以下のように表すことが可能となる。

$$M_i = \begin{bmatrix} \Sigma_i & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_w^2 & 0 \\ 0 & 0 & (w_i \tan \sigma_a)^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$x_i \ y_i \ w_i \ e_i$  はそれぞれ Gauss 分布に従うので、その線形結合である  $x_{i+1}$ 、 $y_{i+1}$  も当然 Gauss 分布に従う。従って、その平均ベクトル  $\mu_{i+1}$  および分散共分散行列  $\Sigma_{i+1}$  は以下のように表すことが可能となる。

$$\mu_{i+1} = \mu_i + w_i \vec{d}_i \quad (4)$$

$$\Sigma_{i+1} = A_i M_i A_i^T \quad (5)$$

以上のようにユーザの存在範囲は近似的に2次元 Gauss 分布、すなわち平均ベクトル  $\mu_{i+1}$  および分散共分散行列  $\Sigma_{i+1}$  により表され、ポイントマン DRM で計測される歩行動作のパラメータより求めることが可能となる。

式(5)において行列  $M$  の固有値を大きいほうから  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  とすると、 $a$ 、 $b$  をそれぞれ長軸、短軸とした確率楕円を求めることが可能である。

$$a = -2 \ln(1-c) \sqrt{\lambda_1} \quad (6)$$

$$b = -2 \ln(1-c) \sqrt{\lambda_2} \quad (7)$$

ここで、 $c$  は確率楕円の信頼限界である。我々はここで算出した確率楕円を位置情報誤差範囲として捉えることとする。

## 2.2 センシング粒度の調整

位置情報誤差が大きい場合、空間粒度の小さいセンシングを行ったとしても、誤差範囲が大きいため、結

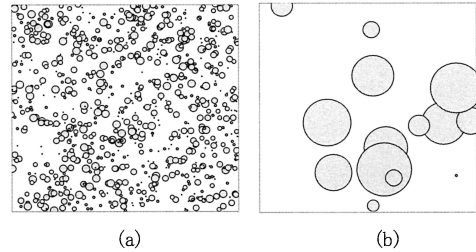


図3 スケールの変化 vs. 誤差の変化

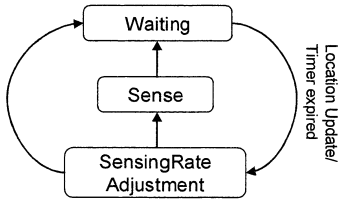


図4 センシング粒度調節のフロー

果として得られた高次地理位置情報は十分誤差が許容可能な大きさのスケールで表示することとなる。図3にスケールの変化に対する誤差の変化の様子を示した。図3において円の大きさは誤差範囲を示しており、図3(b)は図3の(a)の一部を拡大したものである。図3から分かるように、地図を拡大すればするほど、誤差の影響は大きくなり、十分誤差が許容できるスケールまでのみ表示することとなる(拡大限界を有する)。逆に、空間粒度を細かくセンシングした場合、その表示は十分拡大された地図で特にその意味を持つ。

そこで、我々は位置情報誤差範囲の大きさに応じてセンシング粒度を調節し電力消費量の観点から効率的なセンシングを行うアルゴリズムを提案する。具体的に、2.1章で述べた楕円形の位置情報誤差範囲を、半径が、確率楕円の長軸と短軸である  $a$  と  $b$  の平均値になるような円形に近似し、近似円の中心から最後にセンシングした位置までの距離が近似円の半径よりも大きい場合に、再びセンシングを行う。近似円の大きさはユーザの移動にともなって変動するが、その変動にあわせ、センシング粒度を調整することで、無駄なセンシングを防ぐことが可能となる。また、センシング粒度の調整は位置情報を更新した時点で行うため、HumanProbe がほとんど動いていない場合、長期間センシングされないという状態が続く可能性がある。そのため、予め決めておいた interval を超えない範囲でセンシング粒度の調整を行う。そのため調整したセンシング間隔が interval を超えてしまう場合は interval ごとにセンシングすることになる。interval の値は、センシング対象によって、一日に一回センシングすれば十分なものと、数秒、数ミリ秒に一回センシングする必要があるものまで様々であるため、センシング対象毎に最適な値を決定する。図4、図5にセンシング粒度調整のフローとアルゴリズムをそれぞれ示す。

### 2.3 高次地理位置情報の階層的管理

WIC から取得した高次地理位置情報は、そのまま

Algorithm 1 Sensing Rate Adjustment Algorithm

```

1: procedure SensingRateAdjustment
2:   if LOC_UPDATE_INTERVAL is
3:     then sense_flag:=true;
4:   else if MAX_SENSING_INTERVAL is less than
5:     (CURRENT_TIME - last_sensed_time)
6:   then sense_flag:=true;
7:   else if re is less than distance between
8:     // re is a current range of estimated error
9:     then sense_flag:=true;
10:  end if
11:  if Sense_flag is true
12:  then do function sense();
13:  do function timer_start();
14:  last_sensed_time := CURRENT_TIME;
15:  last_sensed_position := CURRENT_POSITION;
16:  end if
17: end procedure
  
```

図5 センシング粒度調節アルゴリズム

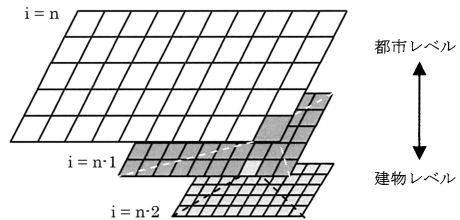


図6 位置情報誤差範囲に応じた階層的管理

では様々な誤差範囲を含んでいる。そこで我々は、位置情報誤差範囲に応じて高次地理位置情報を階層的に管理することで、視覚化の際にユーザの要求した地図のスケールに応じて効率的に許容誤差範囲の情報を表示することを可能とする。具体的に、図6に示すように、地図のスケールに応じた階層化を行う。各階層では許容誤差範囲を定めその面積を  $S_i$  とする。ここで  $i$  はスケールの大きさに応じて付けられた通し番号とする。高次地理位置情報は 2.1 章で述べた確率楕円の面積を  $S$ 、階層の数を  $n$  とした時、 $\{S_i | S \leq S_i, i \in N, n\}$  の条件を満たす  $S_i$  が最大の値をとる階層に割当てる。

ここで、階層の数  $n$  は事前に決定しておく必要がある。より細かく階層化することによって、ユーザの要求により正確に応じることが可能となる、しかしその一方で、管理のオーバーヘッドが大きくなってしまいうという欠点がある。この点は議論する余地があるが、本稿では人が生活している都市部での高次地理位置情報の取得を目指しており、そのような空間では、物レベル、建物レベル、番地・区画レベル、町レベル、区・市レベルといった階層化の粒度をあらかじめ予測することは困

難ではないと考えている。さらにこのように要求を想定した階層分けを行うことで、データの管理という視点、特に地図へのマッピングを考えた際に有効であると考ええる。

## 2.5 高次地理位置情報の視覚化

取得した環境情報は位置情報、位置情報誤差を付加し、高次地理位置情報として生成する。視覚化の際にユーザが選択したスケールに応じて、その許容誤差範囲内にある全ての高次地理位置情報をマッピングする。マッピングする際、既に階層的に管理されているため、許容誤差範囲内の高次地理位置情報をオーバーレイ表示することで、スケールを変える等操作毎に表示範囲の地図にあるデータを誤差範囲内かどうか判別するよりも処理速度の観点から効率的な表示が可能となる。

## 3. 評価

本章では WINFO++ の評価について述べる。まず、センシング粒度調節アルゴリズムの評価のためシミュレーションを行った。シミュレーションでは 500m の直線を 500, 1000, 1500, 2000 人の HumanProbe が任意の位置から一定の速度で動き、生成した位置情報誤差範囲に応じて、センシングの粒度を調整した。センシングには MICAz mote<sup>5)</sup> を利用すると仮定し、エネルギー消費量を算出した。

図7に HumanProbe の数に対するエネルギー消費量を示す。センシング粒度の調節をしない場合 (SensingAll) と比べた場合、WINFO++ は位置情報誤差の大きさに応じてセンシング粒度を調節しているため、電力消費量が少ない。また、図8に地図のスケールに対する位置情報の誤差率を示す。ここで、誤差率は位置情報誤差範囲に対する地図の面積とする。図8(a)は HumanProbe の数に応じて算出した誤差率を平均したものである。図8(a)に示すように、センシング粒度の調節をしない場合は、WINFO++ よりも誤差率が高い。特にスケールが大きいくほど、その差は大きくなる。図8(b)に HumanProbe の数に対する誤差率を示す。図8(b)に示すように、HumanProbe の数が変化しても誤差率には影響を与えないことがわかる。

さらに、実際に表示された場合の違いを図9に示す。図9(a)は HumanProbe の数が 500 人の場合、(b)は 2000 人の場合の場合である。図 (a) の黒色の点が WINFO++ によってセンシング粒度を調節した場合であり、(灰色+黒色)の点がセンシング粒度の調節をしない場合である。図9に示すように、スケールが大きい

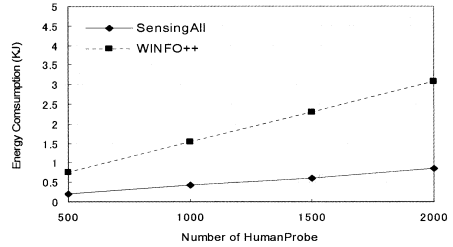
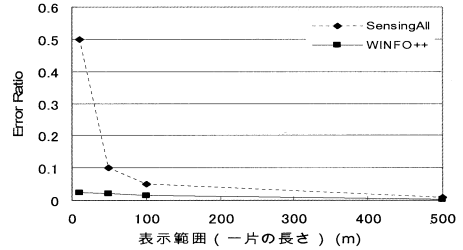
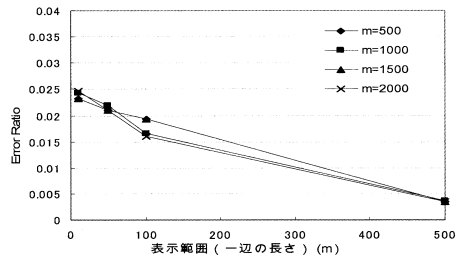


図7 HumanProbe の数に対するエネルギー消費量



(b)



(a)

図8 地図のスケールに対する誤差率

ほど誤差の影響は大きく、スケールが小さい場合は、誤差の影響が少ないことがわかる。さらに、スケールが小さい場合でも、センシング粒度を調節しない場合 (データ数が多い場合) に比べて、十分な量のデータを取得できていることが確認できる。

## 4. プロトタイプの実装

本章では実装した WINFO++ システムのプロトタイプ、またプロトタイプを利用した実験の結果を示す。

### 4.1 プロトタイプの構成

WIC のプロトタイプは、図10に示すように、ラップトップ PC、GPS、ポイントマン DRM、RFID Reader、圧力センサから成る。図10に示すように、圧力センサは靴の内側に2つ配置し、足裏圧力の分布を取得する。出

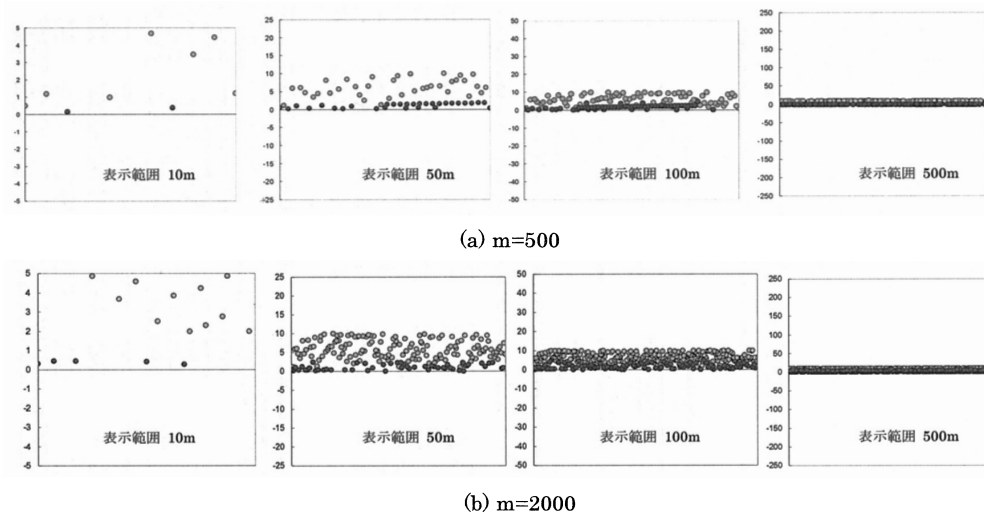


図9 スケールに対するプロット結果



図10 プロトタイプ構成

力された圧力値は MICAz mote を通して、ラップトップ PC に送信される。WIC で得たデータは WIS に送られ高次地理位置情報の抽出を行う。

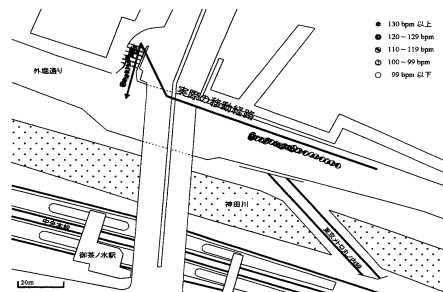


図11 実験結果

#### 4.2 実験

都内を 10 分間歩行し、心拍データ、足圧力をセンシングし、我々が過去に提案した<sup>2)</sup>、心拍、足圧力から階段であるかという判断を行った。実験の結果を図11に示す。実験の結果から、地図のスケールに応じた許容誤差範囲内の情報のみが表示され、表示されたデータは、ほぼ実際の移動経路に沿っていることがわかる。

#### 5. 関連研究

Microsoft Research で行われている、SensorWeb プロジェクト<sup>6)</sup>では、SensorMap と呼ばれるポータルサイトで地球上のセンサから集めた膨大な情報をデータベースで管理し、表示を行っている。高次地理位置情報の表示にも利用することは可能であるが、位置情報の誤差を考慮していないため、HumanProbe の移動にともない位置情報誤差が増加した場合、全く違う場所の

データとして扱われてしまう可能性がある。

#### 6. むすび

我々は位置情報とその誤差の変動、を考慮した高次地理位置情報の取得・表示を行うシステム、WINFO++を提案した。今後はプロトタイプを利用した実機での評価を行う予定である

#### 参考文献

- 1) Sasaki, K., Inoue, U. and Tobe, Y.: WINFO: A human-assisted sensor network, The second International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS 2005), June 2005.
- 2) 石田泰之、鈴木亮平、石井那由他、戸辺義人: 生態情報コンテキストと地理情報の連携, 情報処理学会 第 70 回全国大会, 2008.
- 3) Sezaki, K. and Konomi, S.: RFID-based positioning systems for enhancing safety and sense of security in Japan., UPIMap 2006.
- 4) 田中隆浩、岡野諭、瀬崎薫: アドホックネットワークを利用したシームレスな位置情報の取得, 電子情報通信学会 第 6 回アドホックネットワークワークショップ, 2007.
- 5) MicaZ mote, <http://www.xbow.com/Products/productdetails.aspx?sid=164>
- 6) SensorWeb Project, Microsoft Research, <http://research.microsoft.com/nec/senseWeb/>