

無線 LAN を用いた広域位置情報システム構築に関する検討

伊藤 誠 悟[†] 吉田 廣 志[†] 河口 信 夫^{††}

ユビキタス情報社会の実現に向けて屋内外で利用可能な位置情報システムの構築が求められている。近年の急速な無線 LAN の普及により、屋内外のあらゆる環境において無線 LAN アクセスポイントが設置され、広い範囲で利用可能な、無線 LAN を用いた位置情報システムの実現可能性が高まりつつある。本論文が対象とする無線 LAN 位置情報システムでは、アクセスポイントの緯度経度情報および BSSID (Basic Service Set Identifier) を位置推定のための基準点情報として収集し、基準点情報を利用して位置推定を行う。広く利用できる位置情報システムを構築するためには、無線 LAN 位置情報システムの実現可能性を調査し、基準点情報を広域に効率良く収集することが課題となる。加えて、位置情報システムの性能としての位置推定精度や推定可能範囲と、基準点情報の収集手法との関係を明らかにする必要がある。本論文では基準点情報の収集手法について、「収集地域の違い」「収集回数の違い」「収集経路の違い」「収集手段の違い」といった複数の観点から検討および評価を行った。その結果、名古屋、東京、大阪の都市部において、すべての経路のおよそ半分の経路の収集だけでも、80%程度の位置で 30~50m の精度で推定可能となることが分かった。

Studies on Construction Method for Wide-area Positioning Using Wireless LAN

SEIGO ITO,[†] HIROSHI YOSHIDA[†] and NOBUO KAWAGUCHI^{††}

Looking toward the ubiquitous information environment, there are some demands for positioning system which can use both indoors and outdoors. According to spread of wireless LAN, many positioning systems using wireless LAN have been developed. Although many studies have been made on accuracy in indoors environment, little is known about construction method of wide-area positioning system using wireless LAN. The positioning system we assume uses access points database which consist of BSSID (Basic Service Set Identifier) and location of access point. By using this reference points, the system estimates position. To construct wide-area positioning system, it is important to collect reference point effectively. In this paper, we examine construction method of wireless LAN based wide-area positioning system from point of view of collection area, collection route, collection vehicle, and number of collection. We collected reference points in real environment, and conducted evaluation experiments. Our results show, although reference point collectors decrease route in half, it is possible to estimate position with 30~50m accuracy and more than 80% coverage.

1. はじめに

近年、ユビキタス情報社会の実現に向けて様々な基盤技術の研究やアプリケーションの検討がなされてきている。ユビキタス情報社会におけるアプリケーションを実現する際に、位置情報は非常に重要であり、位置情報を利用したアプリケーションに関連する研究^{1)~10)}も活発に進められている。位置情報システムとして、現在最も広く利用されているシステム

は GPS (Global Positioning System) であり、ITS (Intelligent Transport Systems) の分野においても広く利用されてきた。しかしながら GPS では初期位置の取得に時間を要する点や、屋内環境等、衛星からの電波を受信できない場所では位置取得ができないという問題点がある。そのような環境では擬似衛星 (pseudolite) を用いる手段があるが、機器が高価なため現時点においては広く普及していない。屋内環境向けの位置情報システムとしては、超音波を用いた位置情報システム^{11)~13)}や RFID (Radio Frequency Identification) を用いた位置情報システム¹⁴⁾が研究されてきた。これらは屋内環境における高精度な位置情報システムであり屋外環境向けではない。最近では GPS が利用できないビル内や地下においても携帯電話

[†] 名古屋大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University

^{††} 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

の基地局からの情報を利用しておおまかな位置情報を提供するシステム^{15),16)}が提供されている。岡峰らの報告¹⁵⁾では屋内環境における携帯電話(W-CDMA)の基地局を利用した位置情報システムの位置推定精度は数百 m 単位である。gpsOne¹⁶⁾では GPS と携帯電話(cdmaOne/cdma2000)の基地局の情報を利用して位置推定を行う。佐々木らの報告¹⁷⁾では gpsOne 機能付き携帯電話を屋内環境で利用した場合は、位置推定精度に 100m 程度の標準偏差があったと報告している。一方、無線 LAN を用いた位置情報システムは、屋内環境および屋外環境において利用可能である。現在までに無線 LAN を利用した多くの位置情報システム^{18)~27)}が提案され、屋内環境においては数 m 単位での位置推定が可能である。最近では、多くのノートパソコンに無線 LAN 機能が搭載され、無線 LAN 機能付き携帯電話やカメラも発売される等端末の普及も広がっている。公衆無線 LAN サービスの増加、オフィスにおける無線 LAN の利用、さらに家庭における無線 LAN の利用等により市中のいたるところで無線 LAN の利用が可能となりつつある。このような社会状況を考慮した場合、現時点において無線 LAN を用いた位置情報システムは、広く利用可能な位置情報システムとして、非常に大きな可能性を持っている。加えて、我々が対象としている無線 LAN 位置情報システム(図 1)では、無線 LAN アクセスポイントの位置(緯度経度)と BSSID (Basic Service Set Identifier) の対応情報を基準点情報と呼び、基準点情報の集合を基準点情報データベースと呼ぶ。無線 LAN 機能付き端末は、基準点情報データベースを保持して位置推定を行う。

前述のように屋内外それぞれの環境において、位置情報を提供する仕組みがすでにいくつか存在する中で、無線 LAN を用いた広域な位置情報システムを構築する根拠は以下の 3 つである。

- 小型端末への位置情報の提供

無線 LAN 機能を持った組込機器に、基準点情報データベースを搭載するだけで容易に位置情報を

提供できる。たとえば、デジタルカメラに基準点情報データベースを搭載するだけで位置情報付きの写真を容易に撮れるといったアプリケーションや、無線 LAN アクセスポイントの記録を行い続けるタグにより、モノ等の移動履歴を見ることが、無線 LAN レコーダアプリケーション等を考えている。

- 位置情報システムの構築の容易さ

市販の無線 LAN アクセスポイントを、サービスの提供を行いたい範囲に設置することにより容易に位置情報システムを構築できる。たとえば、位置情報に基づくサービスを行いたい人が、サービスの提供範囲に位置情報システムの構築を行いたいと考えた場合や、基地局の追加により位置推定精度の向上を行いたいと考えた場合、携帯電話の基地局を設置することは困難であるが、市販の無線 LAN アクセスポイントを購入し設置することは比較的容易である。

- 位置推定可能範囲の拡大と位置推定精度の向上

今後、GPS 付き携帯電話が普及した場合、屋外環境では GPS、屋内環境においては携帯電話の基地局を利用して位置情報を取得できる。しかし前述のように、屋外環境においては GPS の精度が低下するビルの谷間等の環境があり、また屋内環境における携帯電話を用いた位置情報システムの推定精度は数百 m 単位である。このような場合において、無線 LAN 機能付き携帯電話に無線 LAN の基準点情報データベースを搭載するだけで、屋外環境のビルの谷間等での、GPS の精度が低下する状況での無線 LAN を用いた環境位置推定、屋内環境における携帯電話の基地局を用いた位置推定より高い精度での位置推定、といった利用法が可能となる。

広く利用可能な、位置情報システムを構築するには課題がいくつか存在する、第 1 の課題として、「無線 LAN 位置情報システムの実現可能性」がある。無線 LAN アクセスポイントがなければ位置推定ができないため、市中にどの程度の無線 LAN アクセスポイントが存在しているかを知る必要がある。第 2 の課題として「基準点情報の効率的な収集」がある。位置情報を広く提供するためには基準点情報を効率良く、広く収集する必要がある。第 3 の課題として「位置情報システムの性能と基準点情報収集手法の関係」がある。位置情報システムとしてどの程度の性能が期待できるかを知るために、基準点情報の収集手法と、位置推定可能範囲および位置推定精度との関係を明らかにする

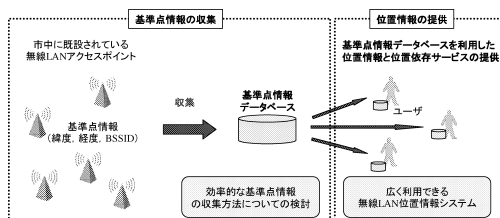


図 1 全体概要

Fig. 1 Overview.

必要がある．今回，実環境において，基準点情報の収集を「収集地域の違い」「収集回数の違い」「収集経路の違い」「収集手段の違い」といった複数の観点から行い，実環境における基準点情報の調査，収集された基準点情報の違い，位置推定可能範囲と位置推定精度の関係について評価したので報告する．

以下，2章において無線 LAN 位置情報システムの構成および関連研究について述べ，3章では広域な無線 LAN 位置情報システムにおける基準点情報の収集方法に関して述べる．4章においては様々な方法により収集した基準点情報を用いた場合の位置推定精度等について評価する．5章において広域な無線 LAN 位置情報システムにおける課題について議論し，最後に6章でまとめを述べる．

2. 無線 LAN を用いた位置情報システム

3章，4章において，無線 LAN 位置情報システムにおける基準点情報の収集に関する検討および評価を行う準備段階として，本章では基準点情報を用いた位置推定手法，および関連研究について説明する．

2.1 位置推定方式

無線 LAN を用いた位置推定方式は大きく分けて以下の Triangulation 方式，Proximity 方式，Scene Analysis 方式の3種類に分類することができる．

2.1.1 Triangulation 方式

位置が既知である基準点（本論文では無線 LAN アクセスポイント）からの相対的な位置関係を用いて推定を行う方式として Triangulation 方式²³⁾がある．我々は，Triangulation 方式の一方式である Centroid 方式に受信電波強度の値を考慮し改良した重み付き Centroid 方式を用いて端末の位置推定を行う．以下に Centroid 方式および重み付き Centroid 方式について説明する．

端末が位置 $T(x_t, y_t)$ においてアクセスポイント AP_1, \dots, AP_n (n は端末が位置 T で観測したアクセスポイントの数) から受信電波強度 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ を観

測したとする．このとき Centroid 方式では既知であるアクセスポイントの位置 $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ を用いて端末の位置 T を式 (1) により計算する．

$$(x_t, y_t) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \quad (1)$$

しかしながら式 (1) では端末が観測した受信電波強度について考慮していない．端末が観測できる受信電波強度はアクセスポイントに近いほど強く，受信電波強度が強いアクセスポイントの情報を利用して位置推定を行った場合，受信電波強度が弱いアクセスポイントの情報を利用して位置推定を行った場合に比べて位置推定精度が向上する．このため式 (1) に対して，受信電波強度に応じた重みを与える重み付き Centroid 方式を用いる．重みを与えるモデルとして我々は Seidel's model²⁸⁾ を用いる．Seidel's model は無線の伝播特性を表すモデルである．Seidel's model において距離 r_i (m) における受信電波強度 α_i (dBm) は以下の式 (2) で表すことができる．

$$\alpha_i = \alpha_0 - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(r_i/r_0) \quad (2)$$

式 (2) において α_0 は，参考距離 r_0 において観測できる受信電波強度であり，定数 n は物理環境の障害物等により設定するパラメータである．たとえば，LaMarca ら²⁰⁾ の経験則による設定と同様に $n = 2.5$ ， $r_0 = 1$ ， $\alpha_0 = -32$ dBm とした場合，式 (2) は式 (3) のように表される．次に，式 (3) を r_i について解くと式 (4) となる．

$$\alpha_i = -32 - 10 \cdot 2.5 \cdot \log_{10}(r_i/1) \quad (3)$$

$$r_i = 10^{(-32 - \alpha_i)/25} \quad (4)$$

式 (4) を重みとして用い，式 (1) を以下のように拡張する．

$$(x_t, y_t) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{10^{(-32 - \alpha_i)/25}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{10^{(-32 - \alpha_i)/25}}}, \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{10^{(-32 - \alpha_i)/25}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{10^{(-32 - \alpha_i)/25}}} \right) \quad (5)$$

これにより端末の位置推定を行う．

2.1.2 Proximity 方式

アクセスポイントへの接続状況やアクセスポイントからの受信電波強度の情報を用いて推定対象がどのアクセスポイントの近くに存在するかを推定する方式として Proximity²⁵⁾ 方式がある．推定アルゴリズムが容易であり基準点情報があれば位置推定できる反面，基準点の位置が推定位置となるため推定精度が低いという問題点がある．本論文では，ある位置で端末が観測できるアクセスポイントの数が少なく，2.1.1 項の Triangulation 方式を利用できない場合に Proximity 方式を用いる．

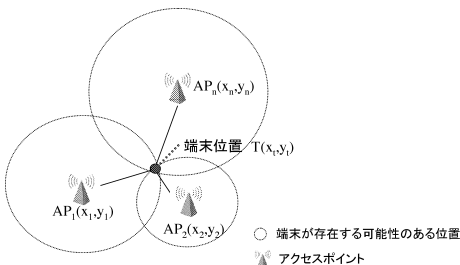


図2 Triangulation
Fig. 2 Triangulation.

2.1.3 Scene Analysis 方式

推定対象領域の各場所において受信電波強度分布等のサンプリングを行い、サンプリングデータを利用し、ベイズ推定²⁹⁾等を用いて位置推定を行う方式として Scene Analysis 方式がある。別名 Finger Print 方式とも呼ばれる。推定を行う領域中の複数の場所でシーンをサンプリングし、各シーンとそのシーンを観測した場所を学習データとして記録しておく。シーンとしてどのような情報を扱うかについては、それぞれの位置推定システムにより異なる。Scene Analysis 方式は数 m 程度の位置推定精度が可能であり、我々も Scene Analysis 方式を利用した位置推定システムの構築^{22),23)}を行ってきた。しかしながら、関連研究^{18),19)}にあるように高い位置推定精度を得るためには数 m 間隔でのサンプリングが必要となり学習データのサイズが大きくなる。たとえば、10 km 四方の領域で位置情報を提供すると仮定する。収集の労力を考慮せず、サンプリングを 2 m 間隔で行いデータを収集した場合、すべての場所において、端末が高い精度での位置推定を行うためには、およそ 25,000,000 力所でのサンプリングデータを端末が保持する必要がある。実際のデータサイズはどのようなデータを利用するかにより異なるが、小型端末においてはデータサイズが問題となる。このため本論文では、基準点情報データベースを保持すればアクセスポイントの電波が届く範囲で位置推定可能な、Triangulation 方式を採用している。

2.2 関連研究

無線 LAN を用いた位置情報システムは大別して前節に示した 3 つの分類に分けることができる。本節では無線 LAN を用いた位置情報システムの既存関連研究について述べる。Bahl らによる RADAR²⁶⁾は無線 LAN を用いた位置推定システムにおける先駆的な研究である。RADAR では受信電波強度の計測値と各位置における理論値の差異を最小とするような位置をユーザの位置として推定する。理論値として、複数の標本点における事前の計測により学習した受信電波強度を用いる方法と伝播モデルを用いて与える方法の 2 つを提案している。前者は Scene Analysis 方式、後者は Triangulation 方式に基づく推定である。RADAR では屋内実験環境においてのみ実験を行っており広域な位置情報システムについて検討を行っている本論文とは異なる。Kontkanen らによる位置推定システム²⁴⁾は Ekahau Positioning System³⁰⁾の基礎となっているシステムである。Ekahau Positioning System は位置推定精度が数 m 以内と精度が高い。しかしながら Scene Analysis 方式のシステムであり、Site Survey

という調査ツールにより対象領域において事前調査をしておく必要がある。Ekahau Positioning System では工場や屋内環境等における高精度な位置情報システムを目的としている。萩野らによる AirLocation²⁷⁾では端末が発する位置要求エコーを、複数のアクセスポイントが受信しアクセスポイント間におけるエコー受信タイミングのずれと各アクセスポイントが保持する内部時計の誤差を加味して端末の位置を推定する方式である。AirLocation は Triangulation 方式の一種であり、このように信号遅延を用いて行う方式を TDOA (Time Difference of Arrival) と呼ぶ。AirLocation においては位置推定のために専用のアクセスポイントを必要とするため、広域な位置情報システムには向いていない。LaMarca らによる PlaceLab^{20),21)}においてはメトロポリタンスケールでの位置情報システムの構築を目指している。PlaceLab では基準点情報の収集方法についての検討は現在までに行われていない。

3. 実環境における基準点情報の収集

3.1 基準点情報の収集方法検討の必要性

広く利用可能な、無線 LAN 位置情報システムを構築するためには、基準点情報を可能な限り効率的に、広域にわたり収集することが望ましい。そのためには、基準点情報の収集手法について検討し、収集対象の面積に対してどの程度の時間が必要となるかを調べる必要がある。また、位置情報システムの性能としての位置推定精度や推定可能範囲と、基準点情報の収集手法との関係や、実環境における無線 LAN 位置情報システムの実現可能性を明らかにする必要がある。以下では、実環境での収集を通じて、基準点情報の収集手法についての検討、および実現可能性についての調査を行う。

3.2 基準点情報の収集手法

本論文では、具体的に以下の項目を検討対象とし、基準点情報の収集を行った。

- 基準点情報の収集地域

市中にすでに設置されている無線 LAN アクセスポイントは、人々が住んでいる住居地域や、オフィスや店舗が存在する商業地域といった環境によって存在数が異なると予想される。このため、収集を行う地域を変化させた場合の基準点情報の違いについて検討し、無線 LAN 位置情報システムの実現可能性について調査する。基準点情報の収集を図 3、図 4 に示す 2 地域において行った。この

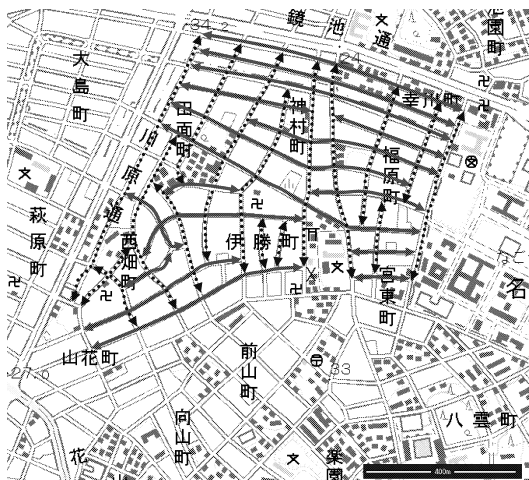


図3 住居地域における基準点情報収集

Fig. 3 Collection of reference points in residential area.



図4 商業地域における基準点情報収集

Fig. 4 Collection of reference points in commercial area.

2 地域は都市計画法における用途地域 が住居地域（第一種・第二種低層住居専用地域）および商業地域である．住居地域は愛知県名古屋市千種区内における地域（図3），商業地域は愛知県名古屋市中区内における地域（図4）である．図3中の第一種・第二種低層住居専用地域では，建築物の高度は10m以下という制限があり，高層な建築物を建てられない．商業地域における高度制限は地域により異なるが高層な建築物を建築可能な場合が多い．

用途地域とは都市の環境保護を目的として建築物の種類や用途の制限を定めた地域のこと

- 基準点情報の収集回数

ある地域の基準点情報を収集する際に，一度だけ基準点情報の収集を行った場合にどれぐらいの位置推定の性能が得られるのか，また，同じ地域を複数回収集を行った際に位置推定の性能が向上するのについて知る必要がある．このため，収集を1回行った場合と複数回行った場合により得られる基準点情報の違いについて検討する．具体的には，図3，図4に示す地域において5人の収集者（A，B，C，D，E）が基準点情報の収集を行った．

- 基準点情報の収集経路

ある地域の基準点情報を収集する際に，収集のための移動距離は可能な限り少ないほうが良い．すべての経路を収集した場合と，経路を減らして収集した場合に得られる基準点情報の違いが少なければ，経路を減らして収集した方が効率的に広い範囲での収集が可能となる．このため，収集を行う経路を変化させた場合に得られる基準点情報の違いについて検討する．具体的には，図3，図4に示す地域において実線および点線の経路に分けて収集を行った．

- 基準点情報の収集手段

ある地域の基準点情報を収集する際に，広い範囲で収集を行うためには迅速な移動手段で収集する必要がある．加えて，迅速に移動しながら位置推定のために十分な基準点情報を収集できているのかについて調査する必要がある．このため，異なる移動手段により得られる基準点情報の違いについて検討する．具体的には，5人の収集者（A，B，C，D，E）が3種類の移動手段（A，B，Cは自転車，Dは原動機付自転車，Eは自動車）を用いて収集を行った．

3.3 基準点情報収集セットによる収集

基準点情報の基となるデータの収集は，Stumbler と呼ばれる収集ソフトウェアを用いて行う．図5に我々が開発した Stumbler の画面を示す．GPS および無線 LAN アダプタが接続された端末において，Stumbler は一定時間ごとに無線 LAN アクセスポイントからの受信電波強度，ESSID（Extended Service Set Identifier），BSSID，緯度経度等の情報を取得し記録できる．Stumbler（図5）を用いて屋外の環境を移動しながら，前述の情報を継続的に記録する．次に，記録された情報を用いて基準点情報を作成する．1つの基準点情報は「無線 LAN アクセスポイントの緯度，無線 LAN アクセスポイントの経度，無線 LAN アクセス



図 5 収集ソフトウェア (Stumbler)

Fig. 5 Data Collection Software (Stumbler).



図 6 基準点情報収集セットによる収集

Fig. 6 Data collection using reference point survey kit.

ポイントの BSSID」により構成される。

収集ソフトウェア (Stumbler) および 3.2 節に示した収集方法により収集者 A, B, C, D, E は基準点情報の収集を行う。しかし、ノートパソコン一式を持ちながらの収集は収集者の負担が大きい。負担を少なくし迅速に基準点情報を収集するため、我々は図 6 に示す「基準点情報収集セット」を作成し収集を行った。「基準点情報収集セット」とは Stumbler を起動するパソコン、無線 LAN カード、緯度経度を取得するための GPS、長時間調査を行うためのバッテリーより構成する。また、これらのハードウェアを手を持ちながら移動して基準点情報の収集を行うことは困難であるため、図 6 に示すようにリュックサックに固定し、一式を背負いながら基準点情報の収集を容易に行える装備とした。「基準点情報収集セット」に用いたハードウェアは以下である。

- ノートパソコン: Panasonic TOUGHBOOK CF-18AW1AXS

- 無線 LAN カード: BUFFALO WLI-CB-AG54
- GPS: Garmin Geko 201

「基準点情報収集セット」を背負っている場合、基準点情報の収集者は無線 LAN アクセスポイントや GPS からの情報が異常なく正常に収集できているかを確認することができない。基準点情報の収集者がノートパソコンの画面を見なくても、現在どのような情報を収集できているか確認できるようにするため、我々は Stumbler に以下の 6 種類の音による状態確認機能 (無線 LAN の状態 3 種類, GPS の状態 3 種類, 1 秒間に 1 回確認) を付加した。

- 無線 LAN アクセスポイントの情報が取得できている。
- 無線 LAN アクセスポイントの情報が取得できない (アクセスポイントなし)。
- 無線 LAN アクセスポイントの情報が取得できない (システムエラー)。
- GPS による緯度・経度情報が取得できている。
- GPS による緯度・経度情報が取得できていない (衛星状態等の原因)。
- GPS による緯度・経度情報が取得できていない (システムエラー)。

これにより「基準点情報収集セット」を背負った場合でも、収集者は情報の取得状態を正確に把握することが可能となる。

3.4 収集された基準点情報

3.2 節に示した収集方法を 3.3 節の基準点情報収集セットを用いて行った結果を以下に示す。加えて、収集されたすべての基準点情報を電子国土³³⁾上に配置した図を図 7, 図 8 に示す。電子国土とは、国土地理院が無償で配布・提供しているシステムであり、様々な位置情報を地図上に表示させ参照できる。

3.4.1 基準点情報の数

表 1 に各収集者が収集した基準点情報の数を示す。すべての収集者により住居地域においては 278 個、商業地域においては 878 個の基準点情報が収集された。収集手段別に見た場合、自転車を利用した場合は発見総数のうち 71% から 87% の基準点情報を収集した。原付の場合は少し低下している。自動車で収集した場合は、住居地域においては発見総数の 57%、商業地域においては 62% と他の収集手段より得られた基準点情報数が少ない。今回収集を行った住居地域の総面積は約 800,000 m²、商業地域は約 1,000,000 m² であるため、単純計算を行った場合 10,000 m² (100 m × 100 m) の範囲において、住居地域ではおよそ 3.5 個、商業地域ではおよそ 8.8 個の基準点情報が存在している。商業



図 7 住居地域における基準点情報

Fig. 7 Reference points map in residential area.

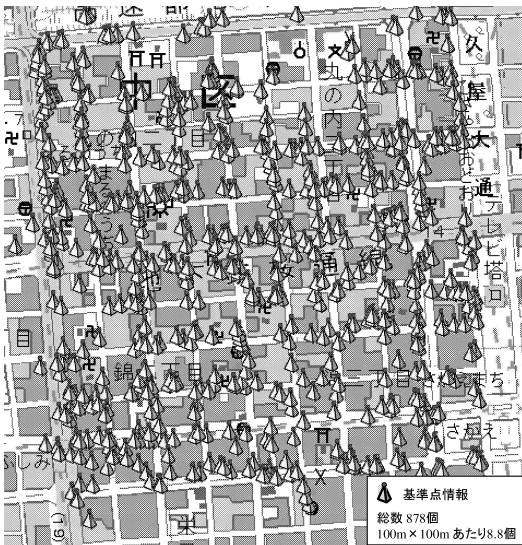


図 8 商業地域における基準点情報

Fig. 8 Reference points map in commercial area.

表 1 発見基準点情報 (個数, 発見総数に占める割合)

Table 1 The number of reference points (Number of pieces, Coverage).

収集者	住居地域		商業地域	
A (自転車)	236 個	85%	738 個	84%
B (自転車)	241 個	87%	620 個	71%
C (自転車)	211 個	76%	644 個	73%
D (原付)	194 個	70%	600 個	68%
E (自動車)	158 個	57%	542 個	62%
5人による総計	278 個		878 個	

地域においてはオフィスビル等も多いため基準点情報の数が多い。最も多くの基準点情報を収集した収集者 A について、経路による基準点情報数の内訳を表 2 に示す。実線、点線どちらか片方の収集経路のみの場合

表 2 発見基準点情報の経路による内訳 (個数, 発見総数に占める割合)

Table 2 The breakdown of reference points (Number of pieces, Coverage).

収集者		住居地域		商業地域	
A (自転車)	実線	181 個	65%	518 個	59%
	点線	168 個	60%	540 個	62%
A による総計		236 個		738 個	

表 3 収集時間 (秒, 個数あたりの収集秒, 毎秒あたりの収集面積)

Table 3 Collection time (second, seconds per reference point, collection area per second).

収集者	住居地域		
A (自転車)	4,977 秒	21.0 秒	161 m ² /sec
B (自転車)	5,810 秒	24.1 秒	137 m ² /sec
C (自転車)	5,781 秒	27.3 秒	138 m ² /sec
D (原付)	2,424 秒	12.5 秒	330 m ² /sec
E (自動車)	1,638 秒	10.4 秒	488 m ² /sec
収集者	商業地域		
A (自転車)	8,978 秒	12.1 秒	111 m ² /sec
B (自転車)	6,928 秒	11.1 秒	144 m ² /sec
C (自転車)	7,176 秒	11.1 秒	139 m ² /sec
D (原付)	4,779 秒	8.0 秒	209 m ² /sec
E (自動車)	3,064 秒	5.7 秒	326 m ² /sec

においても発見総数の約 60% 付近の基準点情報の収集ができています。

3.4.2 住居地域および商業地域の違い

基準点情報収集時の住居地域、商業地域の環境の違いを比較する指標の 1 つとして、各地域における GPS の HDOP (Horizontal Dilution Of Precision) の平均値を示す。HDOP は GPS の精度を表す指標の 1 つで、値が小さいほど GPS の精度が高いことを表す。本収集時においては、住居地域で HDOP 平均 3.0、商業地域で HDOP 平均 3.9 であり、商業地域の方が HDOP の平均値が高い。HDOP はビル等の影響により可視衛星が少なくなると高くなる傾向があり、商業地域においては住居地域に比べて高い建物が多く存在していることが原因の 1 つとして考えられる。GPS の精度が低くなると基準点情報の正確さが低下する。Kim らの論文³¹⁾ では、基準点情報の正確さが低下すると位置推定精度が下がると報告している。実際に次章で示す本収集での評価結果においては、基準点情報の数は商業地域が多いが、住居地域と比べ、およそ 10~20 m 程度位置推定精度が低下している。これは、GPS による基準点情報の正確さの違いが精度低下の一因となっている。

3.4.3 基準点情報の収集時間

表 3 に収集者が点線および実線の経路の収集に要した時間、基準点情報を 1 つ見つけるための秒数 (収

表 4 総所要時間(秒, 個数あたりの収集秒, 毎秒あたりの収集面積)

Table 4 Total Collection time (second, seconds per reference point, collection area per second).

収集者	住居地域		
A (自転車)	7,586 秒	32.1 秒	105 m ² /sec
B (自転車)	10,252 秒	42.5 秒	78 m ² /sec
C (自転車)	12,314 秒	58.4 秒	65 m ² /sec
D (原付)	5,525 秒	28.5 秒	144 m ² /sec
E (自動車)	5,428 秒	34.4 秒	147 m ² /sec
収集者	住居地域		
A (自転車)	11,465 秒	15.5 秒	87 m ² /sec
B (自転車)	8,324 秒	13.4 秒	120 m ² /sec
C (自転車)	9,455 秒	14.7 秒	105 m ² /sec
D (原付)	9,088 秒	15.1 秒	110 m ² /sec
E (自動車)	4,990 秒	9.2 秒	200 m ² /sec

集時間/発見個数), 毎秒あたりの収集面積を示す. たとえば, 商業地域(約 1,000,000 m²)の実線および点線の経路を 5,000 秒で収集した場合, 毎秒あたりの収集面積は 200 m²/sec である. 表 3 より, 移動速度が速い収集者 D (原付), 収集者 E (自動車) は収集に要する時間が少なく, 毎秒あたりの収集面積も多い. 指定した経路の移動の時間のみではなく, 指定の経路へ移動するまでの時間を含めた総所要時間を表 4 に示す. 表 4 では収集者 D, E の毎秒あたりの収集面積が半減している. これは自動車や原付では一方通行の道を通ることができず, 迂回して目的の経路に移動した時間が含まれるためである. 収集者 E の商業地域における毎秒あたりの収集面積が多いのは, あらかじめ一方通行の道を調べて走行経路を事前に計画していたためである. 自転車に比べ自動車や原付は, 移動速度は速いが一方通行や狭い場所には行けないため, この点が収集する際には不利となる. これに対して, 今回の収集において自転車はある程度の効率で基準点情報の収集ができた. なお, 収集者 B, C が住居地域において毎秒あたりの収集面積が少なくなっている理由は, 目的の経路を何度か見失い再度収集を行っていたためである. 今回は収集範囲を指定したため, 自動車や原付にとって不利な比較結果になるが, 一般に基準点情報を収集する際は迂回している場合も基準点情報の収集を行えるため今回の結果ほどの差は出ないと予想される. これらの点を考慮した場合, 幹線道路のように自動車や原付の速度の利点を生かせる地域においては自動車等で収集を行い, 一方通行等の制限が多い地域や, 狭い通路がある地域等を収集したい場合は, 自転車での収集を行う等, 環境に応じて収集方法を変えることが望ましい.

4. 収集手法による性能評価

3 章において収集した基準点情報を用いた場合の, 位置推定精度および位置推定が可能な範囲について評価するために, 2.1 節に示した Proximity 方式および Triangulation 方式による位置推定手法を Java 2 Platform Standard Edition 1.5.0 上において実装した.

位置推定精度の評価のためのデータは, 図 3, 図 4 に示す全経路において収集者 A, B, C, D, E が収集した 5 種類のデータである. 各収集者は Stumbler を用いて毎秒式 (6) の情報を記録する (n は収集者がいる位置で観測した無線 LAN アクセスポイントの数).

$$\{(\text{緯度}, \text{経度}), \{(BSSID_1, \text{受信電波強度}_1), \dots, (BSSID_n, \text{受信電波強度}_n)\}\} \quad (6)$$

基準点情報は収集者が毎秒記録した式 (6) の情報の中で, 最も強い受信電波強度が得られた緯度経度と BSSID の組とする. 最終的に式 (7) に示す基準点情報データベースを用いて位置推定を行う.

基準点情報データベース

$$= (\text{緯度}_1, \text{経度}_1, BSSID_1), \dots, (\text{緯度}_n, \text{経度}_n, BSSID_n) \quad (7)$$

位置推定精度の評価は異なる収集者が収集した基準点情報を用いて評価を行う. たとえば A が収集した基準点情報と, B のデータを用いて位置推定精度を評価すると仮定する. このとき, B は毎秒記録した式 (6) の BSSID と受信電波強度の情報のみを利用し, 重み付き Centroid 方式により自身の位置推定を行う. 正解位置は, 式 (6) の緯度経度とし, BSSID および受信電波強度の情報を用いて推定された位置と正解位置の差を位置推定誤差として評価を行う. 緯度経度は GPS により付与されたものであるため, 以下の評価では GPS による誤差も含まれている.

以下の各評価における平均と標準偏差は位置推定誤差の平均と標準偏差である. カバー率とは, 図 3, 図 4 に示した地域において全体のどの程度が位置推定可能な範囲であるかを示す数値である. 無線 LAN を用いた位置情報システムにおいては, 無線 LAN アクセスポイントが設置されておらず, 式 (6) の情報が記録できない場合は位置推定ができない. たとえば, カバー率が 90% である場合, 移動した全経路の 90% 以上の位置において位置推定が可能であったことを示す.

4.1 収集回数に関する評価

基準点情報の収集回数と位置推定精度, カバー率の関係について評価を行った. ある地域に関する基準点情報を一度だけ収集した場合と, 複数回収集した場合

表 5 収集回数による推定精度の違い

Table 5 Difference of accuracy in number of collections.

収集者	平均	標準偏差	カバー率
住居地域			
A, B, C	29.3 m	19.7 m	98.9%
B, C	29.6 m	20.9 m	97.1%
C	30.4 m	23.8 m	94.8%
商業地域			
A, B, C	47.6 m	32.5 m	99.8%
B, C	48.4 m	29.8 m	97.2%
C	49.1 m	33.3 m	96.0%

の位置推定精度およびカバー率の違いに関する評価である。複数回基準点情報を収集した場合と一度だけ収集した場合の違いが少なければ、同一の場所を複数回集める必要性は少なくなる。同一の移動手段である自転車で収集した収集者 A, B, C による 3 種類の基準点情報 (A, B, C により収集された基準点情報, B, C により収集された基準点情報, C により収集された基準点情報) を用いた。位置推定を行ったデータは収集者 D により収集されたデータである。

表 5 に結果を示す。収集回数を重ねることによる位置推定精度の大きな変化は見られなかった。収集回数を重ねた際の利点としては、複数回収集した場合の方がわずかではあるが基準点情報の数が増えるため、カバー率が增加する点がある。収集回数の違いによる位置推定精度の違いより、位置推定を実施した地域による位置推定精度の違いのほうが大きい。3.4.1 項の結果より商業地域は住居地域より約 3 倍の基準点情報があるにもかかわらず位置推定精度が低い。原因の 1 つとして考えられるのは、それぞれの地域による建築物の高度がある。3.4.2 項で述べたように、建築物の影響で商業地域では HDOP 値が大きくなっているため基準点情報の正確さが下がり、結果として位置推定精度が低下する。加えて、今回、基準点情報は緯度経度のみで高度の情報を持っていない。このため、たとえばあるビルの 1F にあるアクセスポイントと最上階にあるアクセスポイントが同じ場所における基準点情報として扱う場合がある (実際には高さの分だけ端末が得られる受信電波強度が異なる)。そのため位置推定精度が低下していると考えられる。一方、住居地域においては 10 m 以上の建築物はなくそれらの影響が少なかったと考えられる。

4.2 収集経路に関する評価

基準点情報の収集経路と位置推定精度、カバー率の関係について評価を行った。4.1 節の評価結果より収集回数を重ねることによる位置推定精度の大きな変化がなかった。このため、収集者 C の場合に、次の 5 種

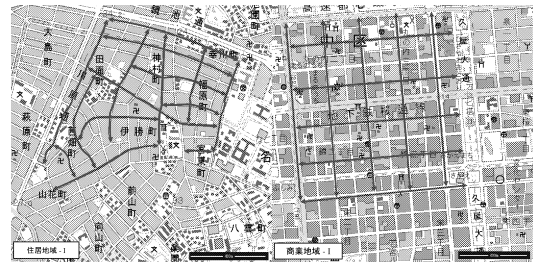


図 9 異なる収集経路 I

Fig. 9 Different collection route I.

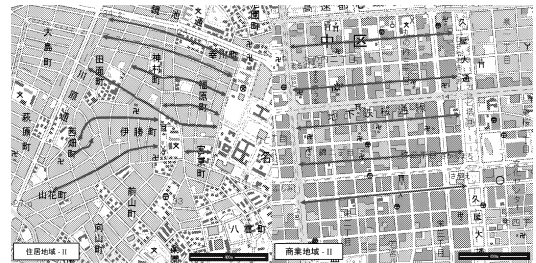


図 10 異なる収集経路 II

Fig. 10 Different collection route II.

類の収集経路による基準点情報を用いて位置推定精度の比較を行った。

- (ア) 図 3, 図 4 におけるすべての収集経路
- (イ) 図 3, 図 4 における点線の収集経路
- (ウ) 図 3, 図 4 における実線の収集経路
- (エ) 図 9 における住居地域-I, 商業地域-I の収集経路
- (オ) 図 10 における住居地域-II, 商業地域-II の収集経路

(イ),(ウ),(エ)はどれも収集距離が(ア)の約 1/2 であるが収集経路の組合せが異なる。(オ)は収集距離が(ア)の約 1/4 である。位置推定を行ったデータは収集者 D により収集されたデータである。

表 6 に結果を示す。表 6 において最も注目すべき点はカバー率の違いである。(ア)の収集経路に比べて(イ),(ウ),(エ)の経路は収集距離が約 1/2 であるのにカバー率は半減していない。さらに(オ)の経路は(ア)の経路に比べ、約 1/4 の収集距離しか収集していないにもかかわらずカバー率の低下は 34%程度である。基準点情報の収集距離を考えた場合、1/2 もしくは 1/4 の距離の収集で、位置推定精度が数十 m の位置推定システムにおける数 m の推定精度違いおよびカバー率の低下を選択するか、もしくは 2 倍、4 倍の収集時間により位置推定精度およびカバー率の増加を選択するかについてはトレードオフの関係にあり、要求される性能に応じて適切に選択する必要がある。

表 6 収集経路による推定精度の違い

Table 6 Difference of accuracy in collection route.

収集経路	平均	標準偏差	カバー率
住居地域			
(ア)	30.4 m	23.8 m	94.8%
(イ)	37.3 m	26.2 m	79.9%
(ウ)	31.6 m	24.1 m	78.3%
(エ)	30.8 m	24.2 m	80.7%
(オ)	31.9 m	23.5 m	60.7%
商業地域			
(ア)	49.1 m	33.3 m	96.0%
(イ)	47.8 m	32.4 m	94.7%
(ウ)	58.6 m	32.7 m	85.8%
(エ)	55.5 m	36.9 m	86.7%
(オ)	68.3 m	39.8 m	58.2%

表 7 収集手段による推定精度の違い

Table 7 Difference of accuracy using difference vehicle.

収集者(収集手段)	平均	標準偏差	カバー率
住居地域			
C(自転車)	29.7 m	23.3 m	96.1%
D(原動機付自転車)	31.9 m	21.8 m	93.3%
E(自動車)	31.1 m	23.8 m	82.1%
商業地域			
C(自転車)	48.7 m	33.5 m	98.8%
D(原動機付自転車)	51.7 m	33.3 m	94.8%
E(自動車)	52.6 m	34.9 m	92.4%

4.3 収集手段に関する評価

基準点情報の収集手段の違いと位置推定精度、カバー率の関係について評価を行った。表 1 より、基準点情報を収集した際、自転車、原付、自動車それぞれの収集手段により発見数が異なる。これらの C(自転車)、D(原付)、E(自動車)の3種類の基準点情報を用いた場合の性能評価である。位置推定を行ったデータは収集者 A により収集されたデータである。

表 7 に結果を示す。移動速度が最も遅い C(自転車)と移動速度が最も速い E(自動車)を比べた場合、住居地域においてはカバー率が 14%低下している。E(自動車)は迅速に経路を収集できる反面、収集できていない基準点情報もあり、カバー率が低下している。位置推定精度に関しては商業地域においては 3.9m の低下であった。

5. 議 論

前章では住居地域および商業地域における広域無線 LAN 位置情報システムを構築し、広域無線 LAN 位置情報システムにおける効率的な基準点情報の収集方法について検討および評価を行った。実環境で利用可能な広域無線 LAN 位置情報システムを構築するためには解決すべきいくつかの課題がある。以下これらの

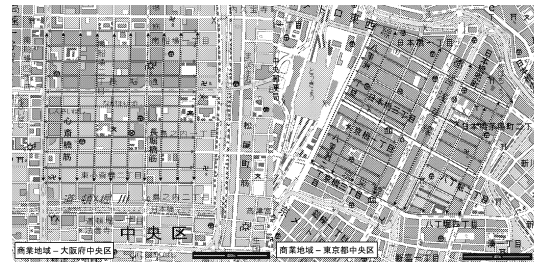


図 11 大阪および東京における収集

Fig. 11 Collection in Osaka and Tokyo.

課題と今後の展望について述べる。

5.1 屋外環境での無線 LAN 位置情報システム

3, 4 章の結果より屋外環境において基準点情報を用いた位置情報システムの推定精度は数十 m (本論文における環境では約 30 ~ 50 m) 程度であり、ある地域においてすべての街路の半分の経路による収集でもカバー率が 80%程度になることが分かった。また、収集時間は目的とするカバー率および収集方式によるが、自転車では 1 km² あたり 4,000 秒から 6,000 秒で十分であることが分かった。たとえば、1 km² あたりの収集時間を 5,000 秒とした場合、山手線の内側面積 (約 70 km²) を収集するには、1 日 8 時間の収集で約 12.2 日で収集できると概算できる。ある程度の規模の都市においても許容できる範囲で収集できることが分かった。

このような結果が他の地域でも同様に適用されるのか明らかにするため、東京と大阪の商業地域において同程度の面積における、調査および評価を行った (図 11)。収集手段は自転車を用い、2 人の収集者によって図 11 における実線および点線の経路を収集した。大阪府中央区においては、940 個の異なる基準点情報を収集し、東京都中央区においては、928 個の異なる基準点情報を収集した。2 人の収集者が収集した基準点情報を用いて 4 章と同様に収集経路に関する評価を行った。表 8 より、4 章の結果と同様に収集対象地域においてすべての経路のおよそ半分程度の経路の収集を行った場合においてもカバー率が 8 割以上であり他の都市においても同様の結果が得られた。以上の結果より、都市部における、無線 LAN を用いた広域な位置情報システムの実現可能性は十分あると考えられる。また、都市部以外の地域における評価については今後実施していく必要がある。

5.2 基準点情報の充実と更新

本論文が対象とする無線 LAN 位置情報システムにおいては、基準点情報が位置情報取得のための必須条件となる、このため基準点情報を充実させることが課

表 8 大阪および東京における実験結果
Table 8 Result in Osaka and Tokyo.

収集経路	平均	標準偏差	カバー率
商業地域 (大阪府中央区)			
すべての経路	34.7 m	25.8 m	98.15%
実線の経路	35.0 m	26.4 m	91.1%
点線の経路	43.8 m	31.1 m	86.1%
商業地域 (東京都中央区)			
すべての経路	40.3 m	28.8 m	97.6%
実線の経路	52.3 m	31.3 m	88.5%
点線の経路	45.8 m	28.7 m	91.0%

題となる．局所的な基準点情報ではなく，全国的な基準点情報収集のためには様々なユーザの協力が必要であり，ユーザ間のコラボレーションによる基準点情報の収集が求められる．そのため，我々は現在ユーザコラボレーションによる基準点情報の構築を支援するためのサイトである「無線 LAN を用いた位置情報・測位ポータル Locky.jp³²⁾」を構築し運営を行っている．Locky.jp では無線 LAN 情報を収集するためのツールの提供や，それぞれのユーザが収集した基準点情報を集める仕組み等を提供している．留意しておくべきことは，携帯電話を用いた位置情報システム等では基地局は通信事業者により管理されているが，本論文が対象とする無線 LAN を用いた位置情報システムでは，第三者の無線 LAN アクセスポイントを基準点情報として利用しているため，アクセスポイントの故障，破棄，停止，移動，等により基準点情報が陳腐化してしまうことである．位置情報システムの安定性・信頼性は基準点情報の充実および新しさに依存するため，このような点からも，基準点情報の充実および更新は重要となる．本論文では基準点情報の収集に GPS を用いた．しかし GPS が利用できない環境でも，無線 LAN アクセスポイントの BSSID に何らかの形で位置情報を付与できれば基準点情報としての利用が可能である．我々はこのような状況において，無線 LAN を用いた位置情報システムを構築するための仕組みの一例を Locky.jp で提供している．収集者はある場所で，無線 LAN アクセスポイントの BSSID を Stumbler を用いて収集した後，Locky.jp 上の Web 地図アプリケーション³⁴⁾ を用いて自身の現在地点を指定する．これにより GPS が利用できない場合でも基準点情報の収集が可能となる．

5.3 小型端末での利用

本論文に示した基準点情報の利用はパソコン，携帯電話等における利用以外に，PDA さらに小型の無線 LAN 機能付き機器における位置情報の利用を想定している．小型端末において利用する場合は基準点情報

の大きさが課題となる．本論文に示した基準点情報において，緯度経度のデータ領域をそれぞれ 8 バイト，BSSID の領域を 6 バイトとした場合，1 つの基準点情報に必要なデータサイズは 22 バイトである．10 万個の基準点情報があった場合でも 2 メガバイト程度である．たとえば，無線 LAN 機能付きデジタルカメラに基準点情報を内蔵させた場合，写真を撮ると同時にどこで撮った写真かという位置情報を付与することが可能になる．このような小型端末向けの基準点情報形式についての検討も必要である．

6. ま と め

本論文では，無線 LAN 位置情報システムで利用するための基準点情報を住居地域および商業地域において収集し，収集方法に関して収集効率と位置推定精度およびカバー率の観点から検討および評価を行った．結果より，屋外環境において基準点情報を用いた位置情報システムの推定精度は約 30～50 m であり，名古屋，大阪，東京の商業地域，住居地域等においてすべての街路の半分の経路による収集でもカバー率が 80%程度になることが分かった．この推定精度は，基準点情報の誤差に，無線 LAN による屋外位置推定誤差が相加された精度である．また，収集時間は 1 km² あたり 5,000 秒程度であることが分かった．本論文において示した内容は，無線 LAN を用いた広域な位置情報システムの実現のために重要な鍵になると我々は考えている．数十 m の推定精度の位置情報システムにおいて，すべての経路を収集し数 m の推定精度の向上を選択するか，およそ半分程度の経路の収集を行って収集コストを半減させるかについては目的により異なる．しかし，これらの評価結果がどちらを選択するかについての指針の 1 つとなる．加えて，より多くのユーザの協力を得てユーザコラボレーションによる基準点情報の収集を行うために無線 LAN を用いた位置依存アプリケーションの実装も並行して進めている．

今後の予定として，社会基盤としてすでに利用されている GPS や，携帯電話を用いた位置情報システムと組み合わせることで，屋内外の環境で，それぞれの位置情報システムが持つ弱点を補完した位置情報システムの実現を目指す．

謝辞 本研究の一部は文部科学省科研費，若手研究 (B) (課題番号：17700146) による助成を受けている．

参 考 文 献

- 1) Hightower, J., Consolvo, S., LaMarca, A., Smith, I. and Hughes, J.: Learning and Rec-

- ognizing the Places We Go, *Proc. 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2005)*, pp.159–176 (2005).
- 2) Iachello, G., Smith, I., Consolvo, S., Abowd, G., Hughes, J., Howard, J., Potter, F., Scott, J., Sohn, T., Hightower, J. and LaMarca, A.: Control, Deception, and Communication: Evaluating the Deployment of a Location-Enhanced Messaging Service, *Proc. 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2005)*, pp.213–231 (2005).
 - 3) Sohn, T., Li, K., Lee, G., Smith, I., Scott, J. and Griswold, W.: Place-Its: A Study of Location-Based Reminders on Mobile Phones, *Proc. 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2005)*, pp.232–250 (2005).
 - 4) Smith, I., Consolvo, S., LaMarca, A., Hightower, J., Scott, J., Sohn, T., Hughes, J., Iachello, G. and Abowd, G.: Social Disclosure Of Place: From Location Technology to Communication Practices, *Proc. 3rd International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2005)*, pp.134–151 (2005).
 - 5) Duckham, M. and Kulik, L.: A Formal Model of Obfuscation and Negotiation for Location Privacy. *Proc. 3rd International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2005)*, pp.152–170 (2005).
 - 6) Perttunen, M. and Rieki, J.: Introducing Context-Aware Features into Everyday Mobile Applications, *Proc. 1st International Workshop of Location and Context-Awareness (LoCA 2005)*, pp.316–327 (2005).
 - 7) Winter, S. and Engel, T.: Location-Based Services for Scientists in NRENs, *Proc. 1st International Workshop of Location and Context-Awareness (LoCA 2005)*, pp.341–349 (2005).
 - 8) Quigley, A. and West, D.: Proximation: Location-Awareness Through Sensed Proximity and GSM Estimation, *Proc. 1st International Workshop of Location and Context-Awareness (LoCA 2005)*, pp.363–376 (2005).
 - 9) Harle, R. and Hopper, A.: Deploying and Evaluating a Location-Aware System, *Proc. 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2005)*, pp.219–232 (2005).
 - 10) Satoh, I.: A Location Model for Pervasive Computing Environments, *Proc. 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2005)*, pp.215–224 (2005).
 - 11) Want, R., Hopper, A., Falcao, V. and Gibbons, J.: The active badge location system, *ACM Trans. Information Systems*, Vol.10, pp.91–102 (1992).
 - 12) Priyantha, N., Miu, A., Balakrishnan, H. and Teller, S.: The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications, *Proc. 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM 2000)*, pp.1–14 (2000).
 - 13) Kawahara, Y., Minami, M., Morikawa, H. and Aoyama, T.: DOLPHIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Computing Environment, *Proc. IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems (WSTFES 2003)*, pp.53–56 (2003).
 - 14) Ni, L., Liu, Y. and Lau, Y.C.: LAND-MARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID, *Proc. 1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2003)*, pp.407–415 (2003).
 - 15) 岡峰 正, 國頭吾郎, 高橋竜男, 田中 聡: GPS 携帯電話による位置情報ログを用いた訪問施設抽出方法, マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム, DICOM2006, pp.273–276 (2006).
 - 16) gpsOne. <http://www.cdmatech.com/products/gpsone.jsp>
 - 17) 佐々木一郎, 合田耕治, 谷 英和, 香川考司, 垂水浩幸: SpaceTag システムの評価実験, 情報処理学会第 47 回グループウェアとネットワークサービス研究会, GN-47-5 (2003).
 - 18) Youssef, M. and Agrawala, A.: The Horus WLAN location determination system, *Proc. 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2005)*, pp.205–218 (2005).
 - 19) Seshadri, V., Zaruba, G. and Huber, M.: A Bayesian Sampling Approach to In-door Localization of Wireless Devices Using Received Signal Strength Indication, *Proc. 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2005)*, pp.75–84 (2005).
 - 20) LaMarca, A., Chawathe, Y., Consolvo, S., Hightower, J., Smith, I., Scott, J., Sohn, T., Howard, J., Hughes, J., Potter, F., Tabert, J., Powlledge, P., Borriello, G. and Schilit, B.: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, *Proc. 3rd International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2005)*, pp.116–133 (2005).
 - 21) LaMarca, A., Hightower, J., Smith, I. and Consolvo, S.: Self-Mapping in 802.11 Location Systems, *Proc. 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2005)*, pp.87–

- 104 (2005).
- 22) Ito, S. and Kawaguchi, N.: Bayesian based Location Estimation System using Wireless LAN, *Proc. 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom 2005 Workshops)*, pp.273–278 (2005).
- 23) Satoh, H., Ito, S. and Kawaguchi, N.: Position Estimation of Wireless Access Point using Directional Antenna, *Proc. 1st International Workshop of Location and Context-Awareness (LoCA 2005)*, pp.144–156 (2005).
- 24) Kontkanen, P., Myllymaki, P., Roos, T., Tirri, H., Valtonen, K. and Wettig, H.: Topics in Probabilistic Location Estimation in Wireless Networks, *Proc. 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications* (2004).
- 25) Krumm, J. and Hinckley, K.: The NearMe Wireless Proximity Server, *Proc. 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2004)* (2004).
- 26) Bahl, P. and Padmanabhan, V.: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, *Proc. 19th Conference of the IEEE Communications Society (Infocom 2000)*, pp.775–784 (2000).
- 27) 荻野 敦, 恒原克彦, 渡辺晃司, 藤嶋堅三郎, 山崎良太, 鈴木秀哉, 加藤 猛: 無線 LAN 統合アクセスシステム位置検出方式の検討, マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム, DICO2003, pp.569–572 (2003).
- 28) Seidel, S. and Rappaport, T.: 914 Mhz Path Loss Prediction Model for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, pp.207–217 (1992).
- 29) 渡部 洋: ベイズ統計学入門, 福村出版 (1999).
- 30) Ekahau. <http://www.ekahau.com/>
- 31) Kim, M., Fielding, J. and Kotz, D.: Risks of using AP locations discovered through war driving, *Proc. 4th International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2006)*,

pp.67–82 (2006).

- 32) Locky プロジェクト. <http://locky.jp/>
- 33) 電子国土. <http://cyberjapan.jp/>
- 34) Google Map. <http://maps.google.co.jp/>

(平成 18 年 4 月 1 日受付)

(平成 18 年 10 月 3 日採録)



伊藤 誠悟 (正会員)

2000 年東京理科大学理工学部情報工学科卒業。2002 年同大学大学院理工学研究科情報科学専攻修士課程修了。同年日本電信電話株式会社情報流通プラットフォーム研究所入所。2004 年より名古屋大学大学院情報科学研究科情報 COE 研究員。ユビキタスミドルウェアシステム, ユビキタス環境における位置コンテキストに関する研究に従事。IEEE 会員。



吉田 廣志

2005 年南山大学数理情報工学科卒業。現在, 名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻修士課程。無線 LAN 基地局情報の収集に関する研究に従事。



河口 信夫 (正会員)

1990 年名古屋大学工学部電気工学科卒業。1995 年同大学大学院情報工学専攻博士課程修了。同年同大学工学部助手。同大学講師, 助教授を経て, 2006 年より同大学大学院理工学研究科助教授。モバイルコミュニケーション, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。2004 年より大学発ベンチャー企業 (有) ユビグラフ取締役兼務。工学博士。ACM, IEEE, ソフトウェア科学会, 人工知能学会, 日本音響学会, 電子情報通信学会各会員。