

参照用無線機を用いたエリア検知方式

小西 勇介[†] 中尾 敏康[†]

[†] NEC サービスプラットフォーム研究所

論文要旨 無線通信機を用いた位置検知システムでは、動的な障害物や無線機の取り付け方の変化などを原因とする無線通信状況の変動によって、位置検知精度が劣化するという問題がある。そこで我々は、環境に設置した参照用の無線機を用いて得られるエリア毎の無線通信状況に基づいて、移動する無線機の存在エリアを検出する方式を提案し、プロトタイプシステムを開発した。実環境でのアクティブ RFID を用いた評価実験の結果、無線通信状況の変動に対して提案方式が有効であることを確認した。

キーワード 位置情報、参照用無線機、アクティブ RFID

Area Detection Method Using Reference Wireless Terminals

Yusuke KONISHI[†] Toshiyasu NAKAO[†]

[†] Service Platforms Research Labs., NEC Corp.

Abstract We are trying to develop an area detection system which can improve accuracy especially under the unstable wireless communication environment. In this paper, we proposed, implemented and evaluated a method which can detect user's location using reference wireless terminals which are fixed in the environment.

Keyword Positioning system, Reference terminal, Active RFID

1. はじめに

近年のモバイルデバイス技術や移動体通信環境の急速な発達と普及により、移動体の位置情報の取得／活用に注目が集まっている。特に屋内における位置検知システムに関しては、これまでに GPS 応用技術、無線 LAN、RFID、赤外線、超音波などを利用したシステムが多く提案されている^[1]。

このような位置検知システムのうち、無線 LAN やアクティブ RFID などの無線機を用いたシステムでは一般に、システムの設置時や運用中に、環境内の無線状況を計測し、位置検知のためのパラメータを設定（キャリブレーション）する必要があり、設置・運用コストを増加させる原因となっていた。このようなキャリブレーションの問題に対しては、環境に設置した参照用の無線機（以下、参照局）を用いて、移動体に取り付けた無線機（以下、移動局）の位置検知を高精度化・低コスト化する技術がこれまでも提案されている。Ni らは、環境に設置した複数の基地局で得られる、移動局からの電波強度と参照局からの電波強度とを比較することにより、移動局の位置座標検知を高精度化する技術を提案している^[2]。小川らは、あらかじめ学習させておいた各エリアの無線状況と、移動局で計測される無線状況とを比較することにより、移動局の存在エリア検知を高精度化する技術を提案している^[3]。しかしながら、これらの従来技術では、環境内の動的な障害物や移動体への無線機の取り付け方などによる、無線通信状況の変動が十分に考慮されていない。この

ため、環境内に動的な障害物が存在する場合や、移動体への無線機の取り付け方が多様である場合に、参照局で計測される状況と移動局で計測される状況との違いが大きくなり、移動局の位置を正しく検知できないことがあった。

そこで我々は、このような無線通信状況の変動がある場合でも、移動局の位置をロバストに正しく検知できる技術の開発に取り組んでいる。

2. 研究の狙い

屋内における無線を用いた位置検知技術については、これまでに多くの方式が提案され、実用化も進みつつある^[4-10]。これらの従来技術を実環境で運用するにあたって特に大きな課題となっているのは、主に以下の二点であると考えられる。

・無線通信状況の変動により性能が安定しない

様々な利用条件（マルチパス、電波雑音、無線機の持ち方・設置方法、障害物など）の変化によって、無線通信状況が変動し、位置検知の性能が安定しない。また、このような複雑な利用条件や無線通信状況を完全にモデル化することは難しい。このため、位置検知を高精度化するためには精密かつ頻繁なキャリブレーションが必要であり、設置・運用コストが増大する。

・基地局の設置位置により性能が制限される

従来の位置検知システムでは、基地局の設置位置によって位置検知の性能が制限されることがあった。例えば、セル ID ベースの位置検知システムでは、基地

局の設置位置によって検出される位置（エリア）が決定されるため、自由なエリア設計が困難である。また、信号の受信強度や伝達時間をベースにした位置検知システムでは、基地局の導入時や設置位置の変更時に精密なキャリブレーションが必要であり、設置・運用コストが高くなってしまふ。

そこで我々は、従来技術におけるこれら二点の課題を鑑みて、特に屋内における無線を用いたエリア単位での位置検知（以下、エリア検知）システムに着目し、位置分解能は数 m 程度とするが、無線通信状況の変動に対してロバストで、かつ、エリア設計の自由度が高い（キャリブレーションの手間が少なく設置・運用のコストを低減できる）システムの開発を目指している（図 1）。

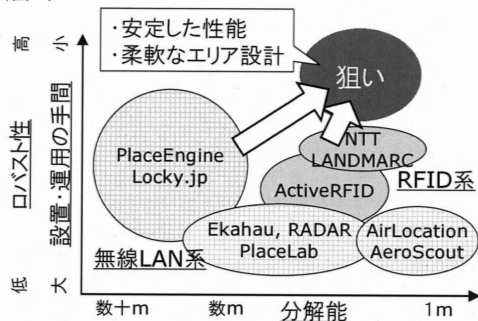


図1 研究の狙い

本稿では、参照用無線機を用いたエリア検知方式について説明し、そのプロトタイプシステムを用いた実環境での評価実験とその結果について報告する。

3. 参照用無線機を用いたエリア検知方式

本方式では、環境にあらかじめ設置した参照局により逐次学習されたエリア毎の無線通信状況と、位置検

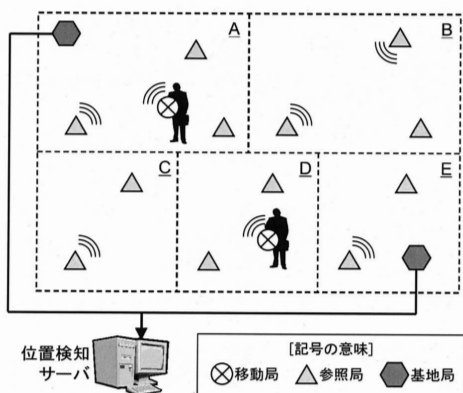


図2 構成 1 の例

知対象に取り付けた移動局により計測された無線通信状況とを比較することにより、位置検知対象の存在エリアを検知する。このような参照局を用いることにより、無線通信状況の変動による検知精度劣化を低減（ロバスト化）し、かつ、システムの構築および変更時のキャリブレーションの手間を少なく（キャリブレーションレス化）することを目指す。

3.1. システムの構成

本方式による位置検知システムは、環境にあらかじめ設置された無線機である「基地局」、設定したエリア毎に設置する無線機である「参照局」、および、位置検知対象に取り付ける無線機である「移動局」の三つの役割を持つ無線機と位置検知サーバで構成される。このとき、これら三つの無線機の役割が、位置検知に利用する信号を送信する機能と受信する機能のどちらで実現されるかは、使用する無線通信システムによって異なり、表 1、および、図 2 と図 3 に示すような構成 1 と構成 2 の二通りのシステム構成が考えられる。

表 1 システム構成

	基地局	移動局	参照局	無線システム例
構成 1	受信機	送信機	送信機	アクティブ RFID など
構成 2	送信機	受信機	受信機	無線 LAN, 携帯電話など

構成 1 で実現される位置検知システムの具体例としては、アクティブ RFID など、検知対象の所持するタグから送信され、環境に設置されたリーダーで受信されるビーコン（移動局＝送信機、基地局＝受信機）の情報に基づいて、検知対象の位置を検知するシステムが挙げられる。構成 1 における基地局は、移動局および参照局が送信する識別情報を受信でき、かつ、受信し

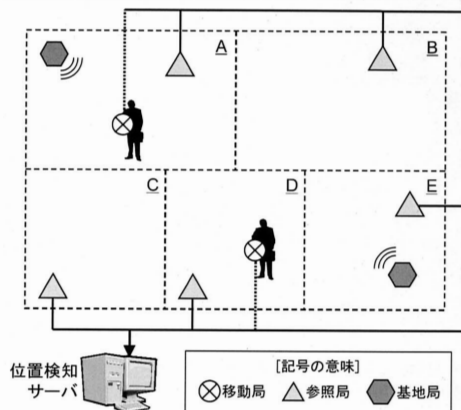


図3 構成 2 の例

実際の電波強度（以下、信号強度）を計測できるものとする。このとき、各基地局は、自身の識別情報、受信した移動局もしくは参照局の識別情報、および、信号強度の組を位置検知サーバへ通知する。

一方、構成2で実現される位置検知システムの具体例としては、無線LANや携帯電話など、環境に設置された基地局から送信され、検知対象の所持する無線機器で受信されるビーコン（基地局＝送信機、移動局＝受信機）の情報に基づいて、検知対象の位置を検出するシステムが挙げられる。構成2における移動局および参照局は、基地局が送信する識別情報を受信でき、かつ、その信号強度を計測できるものとする。このとき、各移動局および参照局は、自身の識別情報、受信した基地局の識別情報、および、信号強度の組を位置検知サーバへ送信する。

このように、構成1と構成2は、それらを構成する無線機それぞれについて、送信と受信の機能を入れ替えた構成となっている。構成1と構成2のいずれの構成においても、位置検知サーバは、基地局の識別情報、移動局もしくは参照局の識別情報、および、信号強度の組（以下、信号特徴量）を受け取ることとなる。

3.2. 処理の流れ

位置検知サーバは、（構成1、構成2のいずれの構成に関わらず、）移動局と参照局に関して得られた信号特徴量を元にしたパターンマッチングにより移動局の存在エリアを推定する。処理の流れを図4に示す。

まず、得られた信号特徴量を、それぞれの参照局および移動局毎にまとめて特徴ベクトルを生成する。ここで、環境内に設置された全 n 台の基地局を $BS_1, BS_2, \dots, BS_n$ 、基地局 BS について得られた信号強度を $RSSI_{BS}$ とおくと、ある参照局もしくは移動局に関する特徴ベクトル $\vec{x}$ は、以下のように表される。

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} RSSI_{BS_1} \\ RSSI_{BS_2} \\ \vdots \\ RSSI_{BS_n} \end{pmatrix}$$

生成された特徴ベクトルのうち、参照局に関するものについては、その分布状況を学習器によって逐次学習し、対応するエリアの代表特徴ベクトルを更新する。学習器としては、入力される特徴ベクトルの分布を学習させることができる自己組織化マップ（SOM）や学習ベクトル量子化（LVQ）などのベクトル量子化手法を用いることができる。

このように逐次更新されるエリア毎の代表特徴ベクトルと、移動局に関して生成された特徴ベクトルとを識別器によって比較することによって、移動局の存在エリアを検知する。識別器は、逐次更新されるエリア毎の代表特徴ベクトルの中から、移動局に関して生

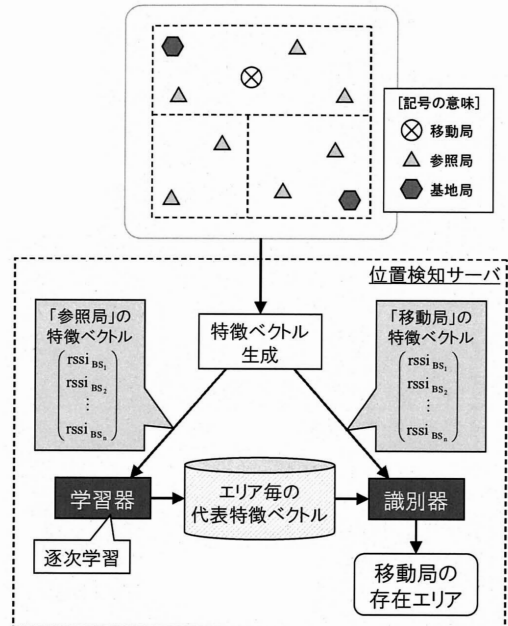


図4 処理の流れ

成された特徴ベクトルとの距離（例えば、特徴ベクトル間のユークリッド距離や角度など）が最も小さくなる代表特徴ベクトルを検索し、該当する代表特徴ベクトルに対応付けられたエリアの識別子を検知結果として出力する。

本方式では、参照局について得られた特徴ベクトルの分布状況を逐次学習させてエリア毎の代表特徴ベクトルをリアルタイムに更新することによって、無線通信状況に含まれるノイズ成分や変動幅を考慮したエリア識別が可能となり、無線通信状況の変化による位置検知精度の劣化を抑えることができる。また、参照局の利用により、システム導入時・運用時の手動によるキャリブレーションを不要とすることができ、かつ、エリア設計の変更が必要な時には、エリア毎に対応付けて設置された参照局を適宜移動させるだけで、新たに定義されたエリアで継続してシステムを運用できる。さらには、相対的に安価で大量に入手可能な無線機を移動局および参照局として利用することにより、システムの導入コストを低く抑えることもできる。

3.3. プロトタイプシステム（方式試作）

提案方式のプロトタイプシステムを実装し、市販アクティブRFIDシステムである「NIRE」へ適用した。

本プロトタイプシステムの学習器では、参照局毎に対応するエリアの代表特徴ベクトル $\vec{x}_i$ を生成し、参照局について得られた特徴ベクトル $\vec{x}$ 、および、平滑化

係数 N を用いて、以下の式に従って逐次更新することとした。

$$\bar{x}_i = \frac{(N-1)\bar{x}_{i-1} + \bar{x}}{N}$$

これにより、エリア毎の代表特徴ベクトルは、参照局に関して得られた特徴ベクトルを時間方向に平滑化したものとして学習される。また、識別器では、移動局の特徴ベクトルとのユークリッド距離が最小となるような代表特徴ベクトルを検索し、対応するエリアの識別子を検知結果として出力することとした。

使用したアクティブ RFID システム「NIRE」の外観を図 5 に、概要仕様を表 2 に示す。

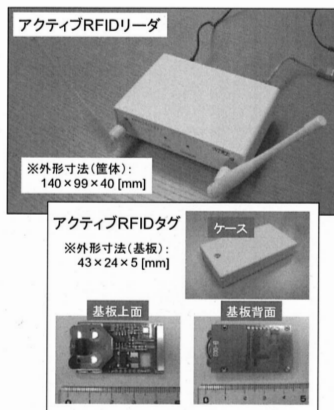


図5 アクティブ RFID システム「NIRE」の外観

表2 アクティブ RFID システム「NIRE」の仕様

アクティブ RFID リーダ (NTT-AT 社「NIRE」: TR-313)	
受信電波周波数	312MHz (OOK 復調)
最大同時読取数	40 個 / 秒
通信距離	～50m (オープンスペース)
出力データ	タグ ID, 電界強度など
外部インターフェース	IPv4
サイズ／重量	140×99×40[mm]／400g
アクティブ RFID タグ (NTT-AT 社「NIRE」: TG-313)	
送信電波周波数	312MHz (OOK 変調)
送信出力	微弱電波
タグ ID 長	24bit
電源	CR2032×1 個
送信間隔／電池寿命	3 秒／約 3 年
サイズ／重量	43×24×5[mm]／10g

本アクティブ RFID システムにおけるリーダーは、受信したタグ固有の識別子と共に、それらを受信した際の電波強度を出力することができる。そこで本プロト

タイプシステムでは、リーダーの識別子 (IP アドレス)、タグの識別子、および、受信時の電波強度の組を、提案方式における信号特徴量として利用する。また、提案方式を本アクティブ RFID システムへ適用した際のシステム構成は、図 2 に示した構成 1 に相当するものであり、移動局としてユーザに携帯させるタグ、参照局として環境に設置したタグ、基地局として環境に設置したリーダーをそれぞれ利用する。リーダーから位置検知サーバへ計測データ (受信したタグ ID と、受信時の電波強度) を送信する必要があるため、リーダーと位置検知サーバの間は有線 LAN のネットワークで接続する。位置検知サーバに収集した計測データから、提案方式を用いて、各ユーザに携帯させたタグそれぞれの存在エリアを検知する。

4. 評価

東京急行電鉄株式会社と共同で実施した情報大航海プロジェクト^[11]の平成 19 年度実証実験で、実装したプロトタイプシステムおよびアクティブ RFID システムを用い、店舗内におけるユーザの位置を検知する評価実験を実施した。本実証実験においては、得られたユーザの位置情報を、店舗内のユーザ行動を追跡する目的で使用した。

4.1. 評価実験の方法

評価実験を行った店舗の平面図を図 6 に、アクティブ RFID システムの設置状況を図 7 に、それぞれ示す。

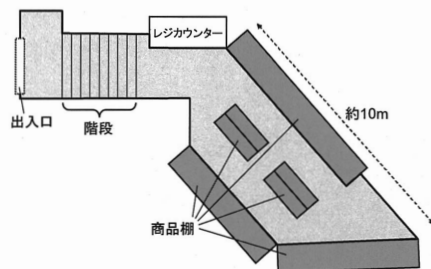


図6 店舗平面図

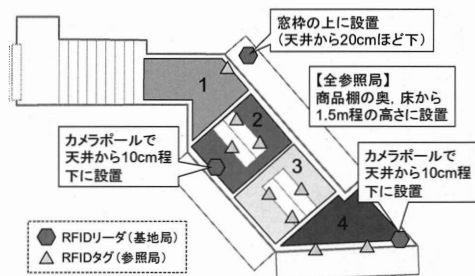


図7 アクティブ RFID システムの設置状況

図 7 に示したとおり、店舗内には 3 台のリーダー（基地局）を天井近くに、9 個の参照局用タグを商品棚の奥（床から 1.5m 程の高さ）に、それぞれ設置した。これら 3 台の基地局と 9 個の参照局を用いて、店舗内を 4 つのエリアに分割し、ユーザが携帯する移動局用タグ（発信間隔＝3 秒）の存在エリアを 3 秒毎に検知する。ここで、これら 4 つのエリアの大きさおよび形状は、使用するアクティブ RFID システムによって実現できるエリア分解能、および、店舗内での売場単位の行動把握に必要な最低限のエリア分解能を考慮し、それぞれ数 m 四方程度のサイズとなるように設計した。以降では、これら 4 つのエリアを「エリア 1」～「エリア 4」と呼ぶ。

このような店舗内において、移動局用タグを首からストラップで吊り下げた合計 83 人のユーザに、通常の買物を想定して自由に行動してもらった。

このとき、ユーザの位置の正解データは、店舗内に設置したカメラの録画映像から生成した。店舗内を約 1m のグリッドに分割したどのグリッドにユーザが存在するかを録画映像から目視で判別し、ユーザの位置の正解データとした。定義したグリッドを図 8 に示す。

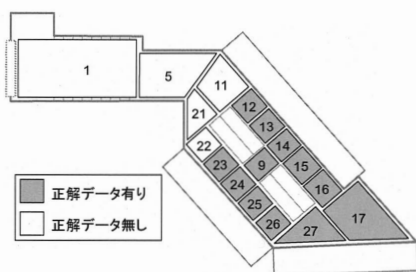


図8 正解データのためのグリッド分割

以降、これらのグリッドを「グリッド 1」～「グリッド 27」と呼ぶものとする。ここで、設置されたカメラの画角の制約から、図 8 に白いグリッドで示したグリッド 1, 5, 11, 21 および 22 の 5 つのグリッド以外のグリッドについて、録画映像から正解データを作成した。以降の評価では、これらの 5 つのグリッド以外の部分で作成した正解データを用いて、提案方式によるエリア検知結果について評価を行った。

4.2. 評価実験の結果

4.2.1. エリア設計の精度

まず、期待するエリアの設計どおりに検知エリアが形成されたかどうかを評価した。

ユーザ 83 人分の位置検知結果について、正解データのグリッド毎にエリア 1～エリア 4 の検知回数を集計し、それぞれのグリッドで検知された回数が最も多

かった RFID エリアをそのグリッドで形成された検知エリアとする。

従来方式（あらかじめ各エリアで取得した電波状況をエリア毎の特徴ベクトルとする＝キャリブレーションあり）で形成された検知エリアを図 9 に、提案方式（各エリアに設置した参照局の電波状況を逐次学習し、エリア毎の特徴ベクトルとする＝キャリブレーションなし）で形成された検知エリアを図 10 に示す。

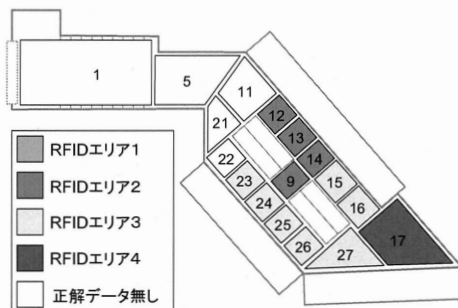


図9 従来方式で形成された検知エリア

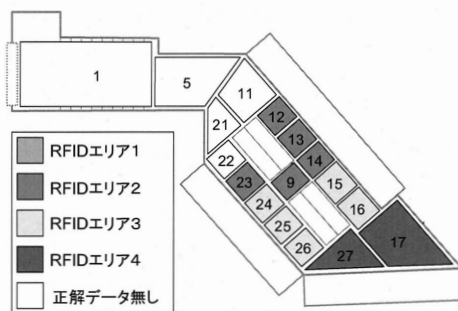


図10 提案方式で形成された検知エリア

図 7 に示した検知エリアの設計と、図 9 および図 10 に示した実際に形成された検知エリアとを比較し、グリッド 23 および 27 に着目すると、従来方式に比べて、提案方式の方がより設計に近い検知エリアを形成できていることが確認できる。これは、システム運用中の人や物の移動などによる無線通信状況の変動に対して、参照局の利用が有効であることを示している。

4.2.2. 位置検知の正解率

次に、ユーザ 83 人分の位置検知結果について、正解率の集計結果を表 3 に示す。ただし、正解率は、正解データがある（ユーザの位置の正解がグリッド 1, 5, 11, 21 および 22 以外である）全検知回数に対する正解した検知回数の割合として算出する。また、ユーザの位置の正解が、エリア 2 とエリア 3 の境界にまたがったグリッド 9, グリッド 14 およびグリッド 16 の 3

つのグリッドだった場合は、位置検知結果がエリア 2 でもエリア 3 でも正解であるとして集計した。

表3 エリア検知の正解率

	検知回数	正解数	正解率
従来方式	19390	16222	83.7%
提案方式	19390	15962	82.3%

提案方式により、キャリブレーションの必要無く、キャリブレーションを必要とする従来方式とほぼ同等の正解率を達成できることが分かった。

また、正解率をユーザ毎に算出して集計した結果、正解率の最高値は 96.6%，最低値は 63.8%，平均値は 81.0%，標準偏差は 10.9%となり、その度数分布は図 11 に示す通りとなった。

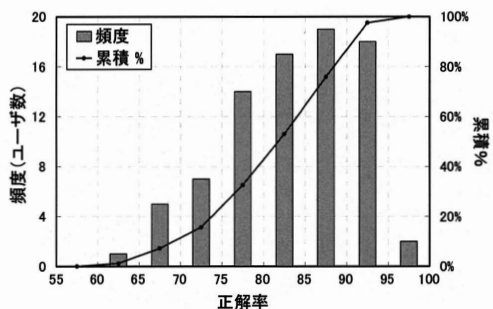


図 11 ユーザ毎の正解率の度数分布

図 11 から、ユーザ毎に正解率の分散が大きいものの、ほぼ半数のユーザで正解率が 85% 以上となっていることが分かる。また、正解率の悪いユーザについて個別に状況を調べたところ、子供を抱っこしながら行動していて首から吊り下げた移動局用タグが隠されていた、など、移動局タグの持ち方が特殊なケースで正解率が特に悪くなっていたことが分かった。

5. おわりに

本稿では、無線通信状況の変動に対してロバストで、かつ、キャリブレーションの手間が少ない屋内における無線通信システムによるエリア検知技術を実現するために、環境に設置する参照用の無線機を用いて移動体に取り付けた無線機の存在エリアを検知する方式を検討し、そのプロトタイプシステムと市販のアクティブ RFID システム「NIRE」を用いた実環境での評価実験について報告した。本評価実験での複数のユーザによる使用を通じて、提案方式により、参照用の無線機を用いてほぼ設計したとおりのエリアが実際に形成され、ユーザの存在エリアを約 82% の精度で検知できることを確認した。

今後、よりロバストかつ高精度なエリア検知システムの実現を目指し、参照用の無線機で得られる特徴量の学習方式を改良していく。また、アクティブ RFID だけでなく、無線 LAN や Bluetooth など、多種多様な無線通信システムへの適用を試み、実環境での評価を進めていく。

謝辞

本研究の一部は、2007 年度経済産業省情報大航海プロジェクトの支援を受けて実施したものである。

文 献

- [1] Chen G. and Kotz D., A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research, Technical Report 381, Department of Computer Science, Dartmouth College, 2000
- [2] Lionel M. Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau and Abhishek P. Patil, LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID, PerCom2003, pp.407-415, 2003
- [3] 小川智明, 吉野修一, 清水雅史, 屋内における無線タグを用いた学習型位置推定法, 情報処理学会研究報告, 2004-UBI-5, Vol.2004, No.66, pp.31-38, 2004
- [4] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, IEEE INFOCOM 2000, Vol. 2, pp775-784, 2000
- [5] A. LaMarca, et al, Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, Pervasive 2005, LNCS 3468, pp.116-133, 2005
- [6] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇, PlaceEngine:実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤, インターネットコンファレンス 2006, pp.95-104, 2006
- [7] 伊藤誠悟, 吉田廣志, 河口信夫, locky.jp:無線 LAN を用いた位置情報・測位ポータル, 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 90, pp. 25-31, 2005
- [8] AirLocation: <http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/>
- [9] AeroScout: <http://www.aeroscout.com/>
- [10] Ekahau: <http://www.ekahau.com/>
- [11] 情報大航海プロジェクト: <http://www.igvpj.jp/>