

## 無線電波強度分布に基づくユーザ存在範囲推定手法について

藤原 謙太郎<sup>†1</sup> 寺 西 裕 一<sup>†1</sup> 秋 山 豊 和<sup>†2</sup>  
春 本 要<sup>†3</sup> 竹 内 亨<sup>†4</sup> 西 尾 章 治 郎<sup>†1</sup>

利用者の位置を利用した情報サービスでは、利用者がある領域(エリア)に居るかどうかを正確に判定できることが重要となる場合が多い。しかし、従来広く利用されている無線基地局の位置と電波強度に基づく位置推定手法は、基本的に端末の位置座標、および、その誤差を計算することを目的としており、指定領域に端末が居るかどうかの判定において誤判定が多く発生する。そこで本研究では、無線基地局の電波強度を元に端末が存在する確率の地理的分布を算出し、これに基づいて端末が指定された領域に存在するかどうかを判定する方法を提案する。提案手法は、座標を求めるために欠落してしまう端末の存在確率が有効活用できるため、座標と誤差に基づく判定よりも高い精度を実現できる。

### A method for estimation of user's existence area based on the distribution of Received Signal Strength

KENTARO FUJIWARA,<sup>†1</sup> YUICHI TERANISHI,<sup>†1</sup>  
TOYOKAZU AKIYAMA,<sup>†2</sup> KANAME HARUMOTO,<sup>†3</sup>  
SUSUMU TAKEUCHI<sup>†4</sup> and SHOJIRO NISHIO <sup>†1</sup>

In the location dependent information services, it is important to judge whether a user exists inside the specified area or not. But existing location detection methods based on signal strength of wireless access points are aimed to calculate the coordinates of the mobile terminal with margin of error. Hence it is not accurate to judge a user existence inside area in many cases. Therefore in this research, we propose a novel existence judgement method that calculates geographical probability distribution according to the signal strengths. Our method can realize high accuracy since it can make use of existence probabilities that is abandoned in existing methods.

### 1. はじめに

近年、位置情報を取得可能な GPS チップの小型化、低価格化にともない、GPS を利用可能な携帯端末やスマートフォンが普及し、位置情報を利用した種々のサービスの提供が盛んに行なわれるようになってきた。

しかし、GPS には測位が安定するまでに時間がかかってしまう点、屋内での測位が不可能である点で問題がある。こうした問題に対処するため、無線通信のための基地局 (Access Point, AP) の位置と、電波強度を基に端末の位置を推定する方法について、さまざまな研究開発が行なわれてきた。例えば、一般的なスマートフォンでも利用されるようになってきたアシスト GPS (AGPS) では、携帯電話公衆網の AP の位置と電波強度を基に端末の位置を推定する方法と GPS とが併用されている。また、PlaceLab<sup>1)</sup>、PlaceEngine<sup>2)</sup>、Locky.jp<sup>3)</sup> などでは、集合知に基づき無線 LAN の AP と端末の位置を推定する手法を提案し、実際に運用を行なっている。

従来の無線 AP の位置と電波強度に基づく位置推定手法は、いずれも、GPS と同様に端末の位置座標を誤差とともに得られるようにすることを目標としてきた。しかし、位置を利用するアプリケーションでは、誤差を含む位置座標を得ることは重要ではなく、むしろ、利用者がある領域(エリア)に居るかどうかを判定する「エリア判定」ができることがより重要となる場合が多い。例えば、利用者が自分が居る町、キャンパス、店舗といったエリアに紐付けられた情報を得たい場合、利用者が居る座標そのものは重要ではなく、利用者が居るエリアを取得できることが重要となる。また、例えば市町村等が、管轄内に居る人に対してメッセージを送信したい場合、管轄するエリアに居る人を判定できる必要がある。

従来の無線 AP の位置と電波強度に基づく位置推定手法は、基本的に、得られる複数の無線 AP の電波強度の分布から、端末が存在し得る領域を導出し、最も確率が高い位置座標、および、存在し得る領域の範囲を誤差として与えるものである。誤差として得られる範

<sup>†1</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

<sup>†2</sup> 京都産業大学 コンピュータ理工学部  
Faculty of Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University

<sup>†3</sup> 大阪大学 大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Osaka University

<sup>†4</sup> 独立行政法人 情報通信研究機構  
National Institute of Information and Communications Technology

図には、実際には端末が存在する確率が高い部分と低い部分があり、ある領域に端末が存在するかどうかを判定する上で有効となるが、アプリケーションにおいて得られる情報としては欠落してしまう。

そこで本研究では、無線電波強度を元に、端末が存在する確率の地理的分布を求め、これに基づき端末が指定された領域に存在するかどうかを判定可能とする方法を提案する。本手法は、座標を求めるために欠落してしまう端末の存在確率が有効活用できるため、座標と誤差に基づく判定よりも高い精度を実現できる。本稿では、既知の位置情報を持つ無線 AP からの電波を基に位置推定を行なうモバイルノードのシミュレーションを行ない、提案手法の有効性を確認している。

## 2. 従来の無線による端末位置推定手法

無線による位置推定技術は、Range-Free と Range-Based の二つに大別される。Range-Free は、基本的に端末同士の接続情報を利用して推定を行うため、専用の機器を搭載する必要はなく簡易な機器での測定が可能であるが、高い精度を得ることは難しい。<sup>4)</sup> 一方、Range-Based は、無線電波強度や赤外線などを用いて距離や角度を計算し、それらを元に推定を行うものであり、一般的に高い精度を得ることができる。<sup>5)6)</sup> 近年、Range-Based に分類される方法として、無線 LAN のアクセスポイントの位置からの距離を電波強度を元に推定することで端末の位置を推定する方法が広く用いられるようになってきた。

従来の無線 LAN アクセスポイントの位置と電波強度に基づく位置推定手法としては、無線 LAN アクセスポイントの位置と端末位置を集合知に基づき推定する文献<sup>2)</sup>の方法が代表的である。文献<sup>2)</sup>では、無線 LAN アクセスポイントが定期的に発信するビーコンパケットを端末が受信し、その際に得られるアクセスポイント ID (MAC アドレス) と受信電波強度値 (RSSI) を位置推定に用いている。この方法では、端末の位置推定を行う際には、アクセスポイントの位置データベースを利用し、重み付き平均値推定を計算している。ある端末が周囲に存在するアクセスポイントからのビーコンパケットを受信した結果が  $[(AP_1, RSSI_1), \dots, (AP_n, RSSI_n)]$  であった時 (AP はアクセスポイントの ID, RSSI は電波強度)、端末の位置を観測したアクセスポイントの位置から、

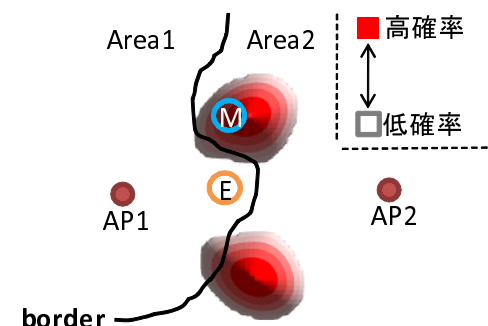


図 1 点推定と分布推定

Fig. 1 Estimation of coordination and distribution.

$$pos(AP_i) = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^n \frac{1}{dist(RSSI_i)} pos(AP_i) \quad (1)$$

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{1}{dist(RSSI_i)} \quad (2)$$

として推定される。すなわち、複数のアクセスポイントの中で電波強度が高いものに近い位置座標が推定結果として得られる。図 1 において、座標 E は、実際には座標 M に存在する端末を位置推定した時、AP1 と AP2 の位置の重み付き平均により、AP1 と AP2 の中間付近が推定された例である。

アクセスポイントが密に存在しており、端末の位置をある程度正確に推定できる場合は、座標による位置推定の正確性が高くなり、端末のエリア判定に問題は生じない。しかし、アクセスポイントの配置が疎であり、さらにエリアの境界付近に端末が存在する場合、エリア判定に失敗する可能性が高い。

例えば、アクセスポイントからの距離と受信電波強度には相関があるため、複数のアクセスポイントからの電波を受信している場合、図 1 における、濃 (高確率) ~ 薄 (低確率) のように、端末が存在する確率が高い領域と低い領域が生じる。よって、図に示すようにエリア 1 とエリア 2 が区別されている場合には、座標による位置推定ではエリア 1 と推定されるが、実際には、端末がエリア 2 に存在している可能性の方が高いことになる。

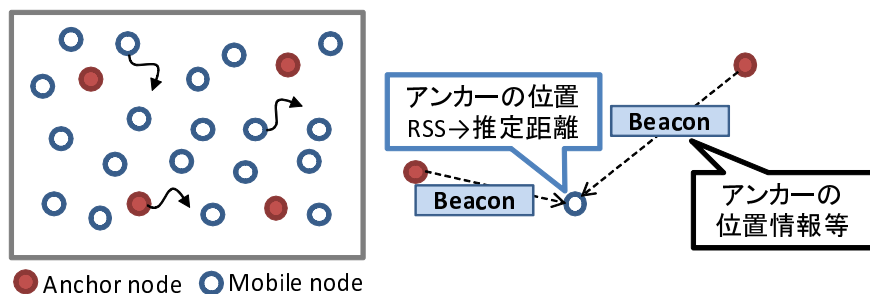


図 2 位置推定イメージ  
 Fig. 2 An image of localization.

### 3. 提案手法

本章では、本研究で提案する、アクセスポイントの電波強度に基き端末の存在確率分布を求めることにより、端末が存在する範囲をより正確に推定する手法について述べる。

#### 3.1 想定環境と用語定義

まず推定対象となる自身の絶対位置を取得できない端末をモバイルノードと呼び、例えば GPS 等によって自身の絶対位置を取得可能な端末をアンカーノードと呼ぶ。想定する環境下には、少数のアンカーノードと多数のモバイルノードが存在しており、いずれも移動する可能性がある。例えば、街中にあるお店にアンカーノードが設置され（この場合アンカーノードは動かない）、街ゆく多くの人々が持つ携帯端末がモバイルノードとなることや、広大なフィールドのセンシングにおいて、一部のセンサ端末が GPS 等を搭載しアンカーノードとなり、その他多数のセンサ端末がモバイルノードとなる例が考えられる。このモバイルノード及びアンカーノードは、共に無線通信機能を有しており、信号受信時の電波強度 (RSS) を取得することが可能である。アンカーノードは、ビーコンと呼ばれる自身の位置情報を含んだパケットを一定の間隔で周囲に向けて発行する。ビーコンには、アンカーノードの位置座標・アンカーノード ID・ビーコン発行時刻等の情報が含まれており、モバイルノードは 1 つ以上のアンカーノードから発行されたビーコンを受け取り、その情報を元に自身の位置を推定する。(図 2)

#### 3.2 電波強度に基づく存在確率の算出

以下では、モバイルノードがビーコンを受け取った際に取得する受信電波強度情報から

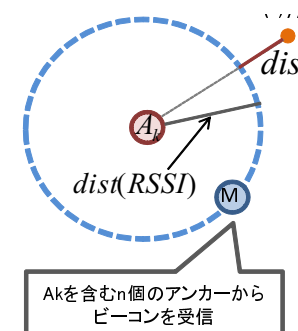


図 3 各端末及び点 C の関係  
 Fig. 3 The relation of nodes and point C.

ノード間の距離を推定し、それに基づいたモバイルノードの存在確率の算出手法について述べる。

提案手法では、まず推定対象となるモバイルノードと受け取ったビーコンを発行したアンカーノードとの距離を推定し、その情報を元に確率密度関数を用いてフィールド上の各点におけるモバイルノードの存在確率を算出する。このモバイルノード受け取ったビーコンを発行した全てのアンカーノードに対して同様の処理を行い、それらの結果を合わせて最終的な存在確率分布を推定する。推定手段を図 3 に従って述べる。なお、図 3 は推定対象となるモバイルノード M が、アンカー ID=k の  $A_k$  を含む  $n$  個のアンカーからビーコンを受信し、点  $C(x,y)$  における M の存在確率を算出する場合の例となっている。

これまで述べてきたように、一般的に受信電波強度とノード間の距離には相関があり位置推定に用いることが可能ではあるが、障害物の存在など、様々な環境要因によって受信電波強度が不安定になり得る。ここでは、文献<sup>2)</sup> で用いられている下記の距離関数 (dist) をノード間距離推定に用いることを想定する。

$$dist(RSSI) = 10^{\frac{C_1 - RSSI}{C_2}} \quad (3)$$

この式の RSSI は受信電波強度を表しており、A 及び B は定数である。

次に、図 3 中に  $dis_k$  で示されている距離を算出する。この  $dis_k$  は下記の式で与えられるように、 $A_k$  を中心とし、推定されたアンカーノードとモバイルノード間の距離 (dist(RSSI)) を半径とした円と点  $C(x,y)$  の距離であり、この値が大きいほど、点 C における M の存在

確率は低くなる。

$$dis_k = \left| |C - A_k| - dist(RSSI) \right| \quad (4)$$

点 C における存在確率を求めるために、確率密度関数を適用する。ここでは、正規分布を想定したモデルを示す。

正規分布の確率密度関数は、平均を  $\mu$ 、分散を  $\sigma^2$  とした時、

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

で、表わされる。

この関数は  $x = \mu$  の時に最大値を取り、 $x$  が  $\mu$  から離れていく毎に値が小さくなっていく。そこで、この確率密度関数の  $x$  に  $dis_k$  を代入し、 $\mu = 0$  とした下記の式を用いて、点 C における存在確率を与える。

$$f(dis_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{dis_k^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

この式によって、 $A_k$  が発行したビーコンによるモバイルノード M の存在確率がわかり、 $n$  個全てのアンカーノードからの存在確率をかけ合わせることで、最終的な点 C におけるモバイルノード M の存在確率  $P_c$  は、

$$P_c = \prod_{k=1}^n f(dis_k) \quad (7)$$

と表すことができる。

### 3.3 確率分布と多段推定

確率の地理的分布を導出するために、対象となるフィールドを細かい粒度（例えば 1m 間隔）でメッシュ化する。このメッシュの各点において存在確率を計算することで、フィールド上の存在確率分布を得ることができる。

この様にして、モバイルノードが周囲（1 ホップ以内）のアンカーノードからビーコンを受けて自身の存在確率分布を推定することを 1 段推定と呼ぶ。さらに、ビーコンを受け取ったモバイルノードが、そのビーコン情報を周囲のモバイルノードに中継することにより、存在確率分布を推定することを多段推定と呼ぶ。多段推定の一例として、図 4 に 2 段推定の様

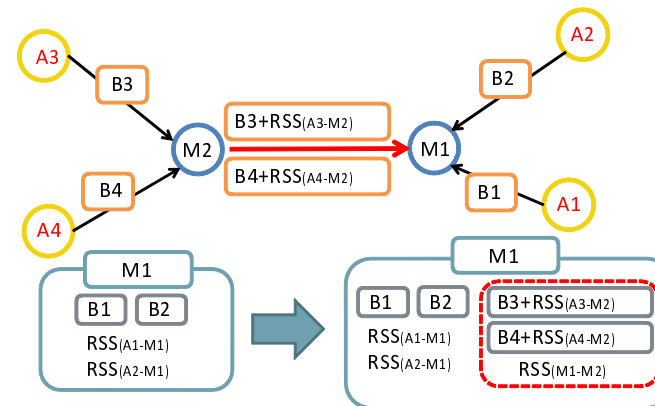


図 4 2 段推定のイメージ

Fig. 4 An image of two-stage estimation.

子を示す。このビーコン情報を中継するノードのことをリレーモバイルノードと呼び、ビーコンが中継されることでより多くの情報が利用可能となり、推定精度の向上が期待できる。

多段推定においても、基本的な推定の方法は前述の 1 段推定の場合と同じである。2 段推定の例である図 4 では、推定対象ノードが M1 で、M2 がリレーモバイルノードとなりビーコンを中継している。図に示すように、1 段推定において M1 が得る情報はアンカーノード A1, A2 からのビーコンと、受信時の電波強度  $RSS_{(A1-M1)}$ ,  $RSS_{(A2-M1)}$  であるのに対し、2 段推定では、M2 によって中継されたビーコン及び受信電波強度（図中点線で囲まれた部分の情報）を得ることができ、利用可能な情報が増えていることが分かる。

M1 の推定を行う場合は、まず M1 が中継された情報を利用し、リレーモバイルノード M2 の存在確率分布の算出を行う。次に、フィールド上のメッシュ各交点に重みづけされたアンカーが存在していると考え、その重みは各交点における M2 の存在確率とする。この各交点に存在するアンカーから M1 にビーコンが届いたと考え、M1 から 1 ホップ以内に存在する A2, A3 からのビーコンを合わせて、最終的な M1 の存在確率分布を算出する。（図 5）

3 段以上の推定をする時も、2 段推定の例と同様に存在確率を算出することができる。例えば 2 段推定の例（図 4）で、M1 の右側に M0 があり推定対象となっている場合、上記の手順に従い M1 の存在確率分布を求め、その確率分布を元にしてメッシュ各交点に重み付けされたアンカーが存在するとし、M0 の存在確率分布を求めるといった流れとなる。

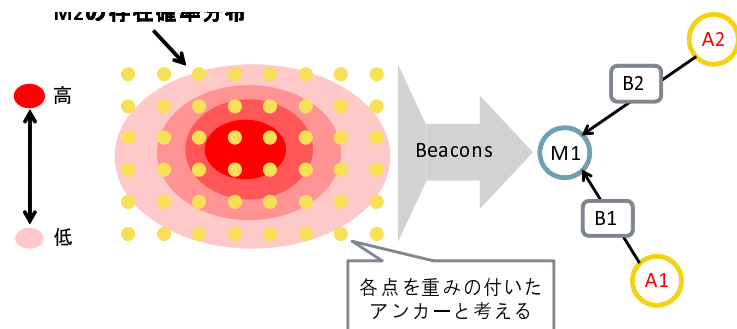


図5 リレーモバイルノードの推定結果を利用した位置推定  
Fig.5 Localization by using estimation result of relay mobile node.

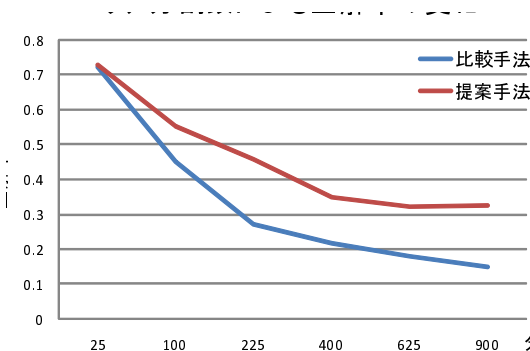


図6 エリア分割数による正解率の変化  
Fig.6 Changes of the accuracy rate based on the number of areas.

#### 4. 評価

本章では、提案手法の有効性を確認するために行ったシミュレーション評価について述べる。

##### 4.1 比較手法

本シミュレーションでは、従来の座標で推定を行うモデルとの比較を行っている。

##### 4.2 評価手法とその環境

提案手法（1段推定）による、エリア推定の評価を行った。エリア推定とは、シミュレーションフィールドを複数のエリアに分割し、対象のモバイルノードがどのエリアに存在するかを推定するものである。提案手法においては、各エリアに含まれるメッシュ交点の確率を足し合わせることで期待値を算出し、期待値が最も高いエリアを推定エリアとする。比較手法においては、推定された座標が含まれるエリアを推定エリアとする。それぞれの手法で推定したエリアと実在するエリアが合致する割合を正解率とし、比較を行う。なお、各エリアは、シミュレーションフィールドを正方形が並ぶように矩形分割されたものとする。主なパラメータを下記のように設定し、エリア分割数及びアンカーノード数の変化による影響を調べた。

- シミュレーションフィールド：100\*100
- 電波到達距離：10
- モバイルノード数：100

- エリア分割数：可変
- アンカーノード数：可変

また、提案手法における1段推定と2段推定を比較するために、エリア分割数を100で固定し、その他は上記と同様の設定でシミュレーションを行った。

##### 4.3 評価結果とその考察

まず、エリア分割数を変化させた際の結果を図6に示す。この時、アンカーノード数は40で固定している。

この図に示すように、エリア分割数が少なく、各エリアの1辺が電波到達距離に比べて大きいような場合には、両手法間で差は見られないが、分割数がある程度多くなると差が生まれ、提案手法の方が高い正解率を達成していることが分かる。推定対象のモバイルノードがエリアの境界付近に存在する場合、点で推定を行うと、少しの誤差で推定エリアが変わってしまい、不正解となってしまうケースが考えられる。一方、提案手法では、確率分布を用いることで各エリアにおける存在確率を、より多くの情報から推測することが可能なため、点で推定する場合よりもより正確な結果を期待できる。エリアの分割数が増える毎にエリア境界付近に存在するモバイルノード数も増加し、その結果、分割数が多い部分において提案手法が有効に働いたと考えられる。次に、アンカーノード数を変化させた際の結果を図7に示す。この時、エリア分割数は100に固定している。



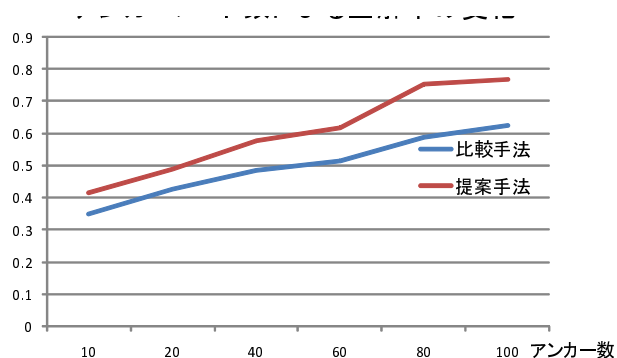


図 7 アンカーノード数による正解率の変化  
Fig. 7 Changes of the accuracy rate based on the number of anchor nodes.

	1段	2段
アンカー数: 5	10.5%	20%
アンカー数: 15	38%	56%

図 8 推定可能端末数の変化  
Fig. 8 Changes of the number of mobile nodes which can be estimated.

この図に示すように、アンカーノード数 10 から 100 までの間では常に提案手法の方が高い正解率を達成しているが、両手法とも同様の上昇傾向をたどり、大きな特徴は見られなかった。

最後に、提案手法における 1 段推定と 2 段推定との差を図 8 に示す。現段階では、2 段推定を行った際の正解率の優位性を確認できていないが、図に示すように、2 段推定を行うことによって、アンカーノード数が比較的少ない場合において、推定可能端末数が増えていることが分かる。モバイルノードはビーコンを受け取ることができない場合は推定不可能となる。正解率そのものは同程度であっても、推定不可能な場合を不正解と考えれば、推定可能端末数が増える場合、正解数は増えることになり、2 段推定が有効に働いていると言える。

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、位置推定の様々な応用アプリケーションの中でも、ノードがどの範囲に存在するかが重要となるようなアプリケーションに注目し、モバイルノードの存在する範囲をより正確に推定する手法を提案し、シミュレーションにより評価を行った。提案手法では、無線通信における受信電波強度に基づいてノード間の距離を推定し、その情報を元にモバイルノードの存在確率の地理的分布を算出することで推定エリアを決定する。また、提案手法の有効性を確認するためのシミュレーションを行い、エリア面積が通信可能範囲の数分の一以下となるような場合、比較手法に比べてエリア推定の正解率が概ね 50%程度向上することを確認した。

また現在の実装では、計算量が膨大であり、多段推定を行う際には非常に長い時間がかかっているため、今後はアルゴリズムを工夫し、計算量を減少させることを考えている。

## 参考文献

- 1) Anthony LaMarca, Yatin Chawathe, Sunny Consolvo, Jeffery Hightower, Ian Smith, James Scott, Timothy Shon, James Howard, Jeff Hughes, Fred Potter, Jason Tabert, Puline Powledge, Gaetano Borriello and Bill Shilit: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, Pervasive 05, LNCS 3468, Springer, pp.87-104(2005).
- 2) 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).
- 3) 伊藤誠悟, 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 モバイルコンピューティングとユビキタス通信, No.2005-MBL-34(4), pp.25-31(2005).
- 4) 岩谷晶子, 西尾信彦, 村瀬正名, 徳田英幸: ごましお: アドホックセンサネットワークにおけるノード位置決定方式, 情報処理学会, モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会, Vol.2001(208), pp.22-30(2001).
- 5) Niculescu, D. and Nath, B.: Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA, INFOCOM '03, vol.22, no.1, pp.1734-1743(2003).
- 6) Priyantha, N.B., Miu, A.K.L., Balakrishnan, H. and Teller, S.: The Cricket Compass for Context aware Mobile Applications, Mobicom '01, pp.1-14(2001).