

# 無線 LAN における通信範囲外の AP リストを使用した屋内位置推定手法 LECOCA

鈴木 瑛識<sup>1,a)</sup> 進藤 博子<sup>1</sup> 重野 寛<sup>1</sup>

**概要:** 本稿では全 AP リストと通信範囲内の AP リストの比較により作成した通信範囲外の AP リストによる位置推定手法 LECOCA (Location Estimation Considering Outside of a Coverage Area) を提案する。LECOCA では通信範囲外の AP リストを用いて推定位置の絞込みを行うことで、既存の通信範囲内の AP リストのみを使用する手法と比較した推定精度の向上を図る。また、実機実装による評価を行い、本提案の有効性を示す。

**キーワード:** 無線 LAN, 位置推定, アクセスポイント

## LECOCA: Location Estimation Considering Outside of a Coverage Area

**Abstract:** We propose LECOCA (Location Estimation Considering Outside of a Coverage Area) where we estimate the position with a list of undetectable APs and a list of detectable APs to improve the estimation accuracy. The list of undetectable APs can be obtained by comparing a list of all APs with the list of detectable APs. We implement and evaluate a prototype system, and show its effectiveness.

**Keywords:** wireless LAN, location estimation, access point

### 1. はじめに

近年、無線 LAN 機器の低価格化に伴い、さまざまな場所において多くの機器で無線 LAN が使われるようになってきた。無線 LAN の普及と同時に、アクセスポイント (AP) を用いた位置推定システムや、それらを用いた位置情報サービスの提案が多く行われている。

AP を用いた位置推定手法として、TOA (Time of Arrival) ベース, TDOA (Time Differential of Arrival) ベース [1], AOA (Angle of Arrival) ベース [2] の推定手法が挙げられる。しかし、それらは AP に専用のハードウェアを追加する必要がある。

既存の AP を使用した位置推定手法として RSSI (Received Signal Strength Indicator) ベースの手法である Fingerprint が挙げられる [3], [4], [5], [6]。Fingerprint では事前に周囲の AP の RSSI をデータベースに登録し、位置推定時にデータベースと照合することで位置を推定する。し

かし、RSSI は小さな環境の変化でも大きく変動してしまうため、Fingerprint には環境の変化が推定精度に影響する問題点がある。

この問題に対し、AP の通信範囲を使用した位置推定手法が挙げられる [7]。本手法は Fingerprint と同様に事前に通信範囲内の AP リストをデータベースに登録し、位置推定時にデータベースと照合することで位置を推定する。Fingerprint では通信範囲内の AP とその RSSI、位置情報をデータベースに登録するのにに対し、AP の通信範囲を使用した位置推定手法では通信範囲内の AP リストと位置情報をデータベースに登録する。そして、データベースに登録された位置と通信範囲内の AP リストの情報を基に、各 AP の通信範囲内である確率を各位置において算出する。位置推定時にはまず AP リストを取得する。そしてデータベース内の AP の通信範囲内である確率を基に、各位置でその AP リストを取得する確率を求め、その確率が最大になる位置を推定位置とする。このように、AP の通信範囲を使用した位置推定手法では RSSI を位置推定に使用しないことで環境の変化による推定精度への影響を軽減している。

<sup>1</sup> 慶應義塾大学理工学研究所  
Graduate School of Science and Technology, Keio University  
<sup>a)</sup> akinori@mos.ics.keio.ac.jp

また、代表的な手法である最近傍法を用いた Fingerprint の推定精度と同程度の推定精度を達成している。

しかし、この手法では通信範囲外にある AP の情報に基づいた位置の絞込みを行わない問題がある。従来の手法では、ある MN が位置推定をする際、MN は観測できる AP のリストを基に、観測できる各 AP の通信範囲内に MN が存在することを基に位置推定を行う。しかし、観測できる AP のリストのみを用いているため、観測できない AP は位置推定に使用していない。そこで観測できない AP の情報も利用し、観測できない AP の通信範囲内に MN は存在しないと考える位置をさらに絞り込むことで推定精度の向上が期待できる。

そこで本稿では、通信範囲外の AP リストを使用した位置推定手法 LECOCA (Location Estimation Considering Outside of a Coverage Area) を提案する。LECOCA では通信範囲内の AP リストだけでなく、通信範囲外の AP リストも使用して位置を推定することで、通信範囲内にある AP 及び通信範囲外にある AP の情報に基づいた位置の絞込みを行う。通信範囲外の AP リストは、MN で取得した通信範囲内の AP リストと管理サーバに登録されている全 AP リストを比較することで作成する。そして、これらのリストを取得する確率を各位置について算出し、この確率が最大となる位置を推定位置とする。このように、通信範囲内の AP リストだけでなく通信範囲外の AP リストを用いた推定位置の絞込みを行うことで推定精度の向上を図る。

以下、2 章では代表的な屋内位置推定手法を述べ、3 章では LECOCA について説明する。そして 4 章で LECOCA を用いた歩行者ナビゲーションシステムの実装、評価について述べ、5 章に結論を示す。

## 2. 関連研究

### 2.1 電波到来時間、到来方向を用いた位置推定

無線 LAN を用いた位置推定手法として TOA や TDOA, AOA が挙げられる。TOA では電波到来時間を AP からの距離に置き換え、TDOA では電波到来時間差を AP からの距離に置き換える。そしてそれぞれ三点測量により位置を推定する [1]。AOA を利用した位置推定 [2] では、MN (Mobile Node) の信号を AP 側で受信し、電波がどの方向から発信されたかを測定することで位置を推定する。

TOA・TDOA を使用したアプリケーションである Air-Location [8] では 1~3m の誤差で位置推定が可能である。また、AOA では指向性マイクやアレーアンテナを使用することで高い推定精度を実現できる。

しかし、これらの手法はそれぞれ専用のハードウェアを AP に設置する必要があるため、設置コストの点で問題がある。

### 2.2 RSSI を用いた位置推定

RSSI による位置推定手法は既存のインフラで位置推定が可能であり、コスト面で 2.1 節の位置推定手法より優れている。RSSI ベースの位置推定手法は大きくレンジベースとレンジフリーに分けられる。レンジベースの手法では距離減衰モデルを用いて RSSI を AP からの距離に変換し、三点測量により位置推定を行う。しかし、AP ごとの電波の実効値を求めることが難しく、壁や物などの障害物が原因で RSSI と距離の関係が環境ごとに異なるため、定式化が困難である。レンジフリーの手法では事前に MN の位置情報と周囲の AP の RSSI をデータベースに登録し、後に測定した各 AP の RSSI をデータベースと照合することで位置推定を行う Fingerprint が挙げられる [3], [4], [5], [6]。本稿ではレンジフリーの位置推定手法に着目し、AP に専用のハードウェアを設置することなく位置推定精度の向上を目的とする。

しかし、RSSI はドアの開閉や人の往来など環境の小さな変化で大きく変動してしまい、推定精度に影響を与える [9]。また、無線 LAN のチップセットベンダーごとに RSSI の定義が異なるため、データベースに登録を行った MN とは異なる端末を使用して位置推定を行う際、MN ごとの RSSI を補正することが困難である。

### 2.3 AP の通信範囲を使用した位置推定

AP の通信範囲を使用した位置推定手法 [7] では通信範囲内の AP リストをデータベースに登録し、位置推定時に MN で取得した検知可能な AP リストをデータベースと照合することで位置推定を行う。以下ではデータベース登録と位置登録について説明する。

#### (a) データベース登録

MN は検知可能な AP リストを取得後、位置情報と共に管理サーバに送信する。データベースには各位置における各 AP を確認する確率が格納されている。管理サーバで取得した位置情報および検知可能な AP リストを基に各確率を算出し、更新する。

#### (b) 位置推定

位置推定時では、まず MN が検知可能な AP リストを取得し、次にこのリストをデータベースと照合する。MN が検知可能な AP リストを取得する確率を各位置でそれぞれ計算し、この確率が最大となる位置を推定位置とする。

位置  $x$  において取得した検知可能な AP リストを  $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$  とすると、推定位置  $\hat{x}$  は

$$\hat{x} = \operatorname{argmax}_x p(x|c) \quad (1)$$

で示される。ここで  $p(x|c)$  は検知可能な AP リスト  $c$  を取得した際に、その位置が  $x$  である確率である。式 (1) は、ベイズの定理により

$$p(x|c) = \frac{p(c|x)p(x)}{p(c)} \quad (2)$$

と変形できる．このとき， $p(c)$  は位置 $x$ に関わらず一定であり， $p(x)$  は事前確率のため一定である．そのため

$$p(x|c) \propto p(c|x) \quad (3)$$

となる．また，各事象が独立であることを考慮すると，

$$\begin{aligned} p(c) &= p(c_1 \in c)p(c_2 \in c)\dots p(c_n \in c) \\ &= \prod_{i=1}^n p(c_i \in c) \end{aligned} \quad (4)$$

となるため，式 (1)，式 (3)，式 (4) より，

$$\begin{aligned} \hat{x} &= \operatorname{argmax}_x p(c|x) \\ &= \operatorname{argmax}_x \prod_{i=1}^n p(c_i \in c|x) \end{aligned} \quad (5)$$

となる．式 (5) と各位置において各 AP が通信範囲内である確率  $p(c_i \in c|x)$  から位置推定を行う．

このように，RSSI を用いずに AP の通信範囲を用いた位置推定を行うことによって，環境の変化による推定精度に対する影響を軽減する．また，AP の通信範囲を用いた位置推定では，最尤法を用いた位置推定により，代表的な手法である最近傍法によるパターンマッチングを用いた Fingerprint と同程度の推定精度を達成している．

しかし AP の通信範囲を用いた位置推定では，AP の通信範囲外にいることを有効活用していない問題点が挙げられる．図 1 に 2.3 節で述べた AP の通信範囲を使用した推定位置の例を示す．位置推定時に MN が AP-A，AP-C の通信範囲内であり，AP-B の通信範囲外であることを想定する．この際 MN が取得する AP のリストは AP-A，AP-C である．既存手法で推定位置を算出する際は各位置において AP-A，AP-C を取得する確率をデータベースから読み取り， $p(AP-A \in c|x)p(AP-C \in c|x)$  が最大となる位置  $x$  を推定位置とする．しかし，この場合では AP-B の通信範囲外であることが反映されていない．つまり AP-B に関する式が考慮されていないため，エリア 1 には存在しないことを考慮した位置推定ができない．

### 3. LECOCA (Location Estimation Considering Outside of a Coverage Area)

本章では，MN が AP の通信範囲外に存在することを考慮するために，通信範囲外の AP リストを用いた屋内位置推定手法 LECOCA (Location Estimation Considering Outside of a Coverage Area) を提案する．

#### 3.1 概要

LECOCA による位置推定はデータベース構築と位置推定に大別される．データベース構築時では MN の位置は既

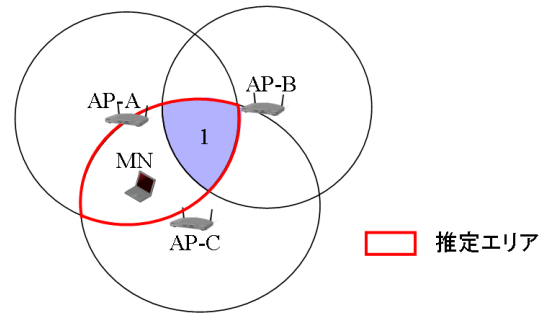


図 1 AP の通信範囲を使用した推定位置の例

知であるとし，MN の位置情報と通信範囲内の AP リストをデータベースに登録する．ここで，通信範囲内の AP リストとは MN がその位置において検知できる AP の MAC アドレスのリストである．位置推定時では MN が取得した通信範囲内の AP リストをデータベースと照合することで位置を推定する．この際，データベース構築時に登録した場所の中で最も尤もらしい位置を推定位置とする．

図 2 に LECOCA の処理手順を示す．データベース構築時では MN が通信範囲内の AP リストを作成し，MN の位置情報と通信範囲内の AP リストを管理サーバに送信する．MN の位置情報と通信範囲内の AP リストを取得した管理サーバは全 AP リストの更新を行う．また，MN の位置を登録し，登録した位置における各 AP の存在確率の算出及び更新を行う．ここで存在確率とは，データベースに登録された各位置において，ある AP の通信範囲内である確率を示す．位置推定時では MN は通信範囲内の AP リストを作成し，管理サーバに送信する．管理サーバ側では受け取った通信範囲内の AP リストを基に通信範囲外の AP リストを作成する．次に各位置において通信範囲内の AP リストと通信範囲外の AP リストを取得する確率を計算し，その確率が最大となる位置を推定位置として MN に送信する．

図 3 に LECOCA による推定位置の例を示す．2.3 節で述べた AP の通信範囲を使用した位置推定手法では通信範囲内の AP である AP-A，AP-C のみで位置を推定するのに対し，LECOCA では通信範囲外の AP である AP-B を使用することで AP の通信範囲外にいることを考慮した位置の絞込みを行う．このように，通信範囲外の AP を使用することで図 1 と比較して推定位置の絞込みが可能となる．

#### 3.2 データベース構築

##### 3.2.1 位置登録及び全 AP リストの更新

位置推定時に通信範囲外の AP リストを利用するには，一箇所でも検知した AP をデータベースに登録する必要がある．MN は通信範囲内の AP リストを MN の位置情報

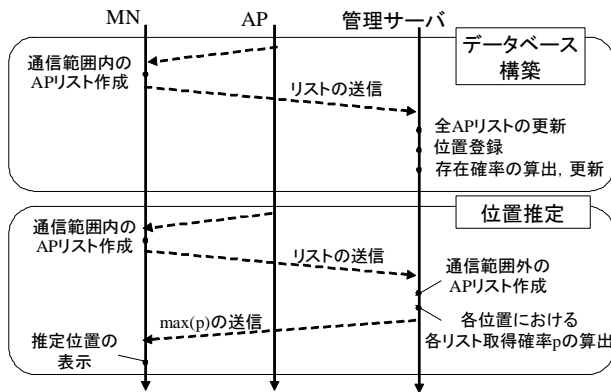


図 2 LECOCA の処理手順

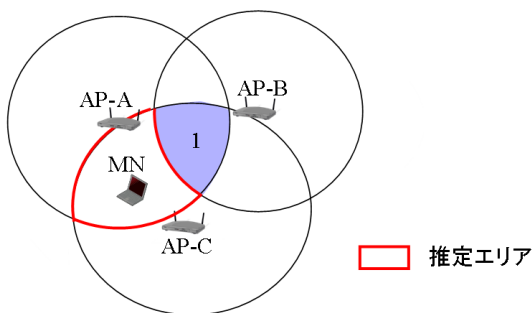


図 3 LECOCA による推定位置の例

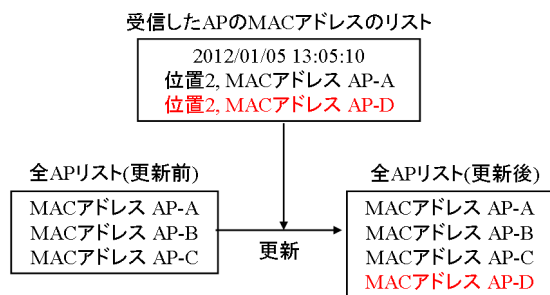


図 4 全 AP リストの更新

と共に管理サーバに送信し、MN の位置情報の登録及び全 AP リストに登録されていない AP の登録を行う。

図 4 に全 AP リスト更新の様子を示す。MN が通信範囲内の AP リスト AP-A, AP-D を取得し、位置情報と共に管理サーバに送信する。管理サーバは受信した情報を基に全 AP リストに登録されていない AP-D を全 AP リストに追加する。

### 3.2.2 存在確率の算出及び更新

LECOCA では、位置推定時に取得した通信範囲内の AP リストと通信範囲外の AP リストを使用し、MN で通信範囲内の AP リスト及び通信範囲外の AP リストを取得する確率が最も高い位置を推定位置とする。

データベースに登録された各位置がある AP の通信範囲内である確率はデータベースに登録を行う際に算出する。

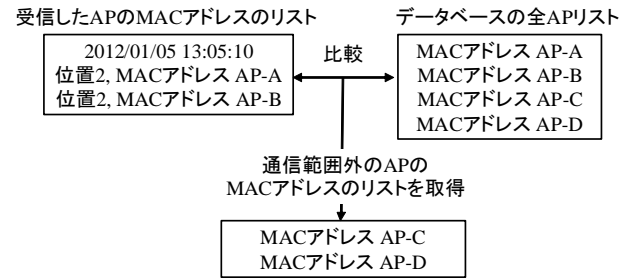


図 5 通信範囲外の AP リストの作成

通信範囲内の AP リストを  $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ 、通信範囲外の AP リストを  $d = (d_1, d_2, \dots, d_m)$  とする。また、位置  $x$  において  $AP_1$  の通信範囲内である確率を  $p(AP_1 \in c|x)$  とすると、 $p(AP_1 \in c|x)$  は

$$p(AP_1 \in c|x) = \frac{d_{1,x}}{r_x} \quad (6)$$

で示される。ここで  $d_{1,x}$  は位置  $x$  における  $AP_1$  の取得回数、 $r_x$  は位置  $x$  におけるデータベースへの登録回数である。また、通信範囲外である確率を  $p(AP_1 \in d|x)$  とすると、 $p(AP_1 \in d|x)$  は

$$\begin{aligned} p(AP_1 \in d|x) &= \frac{r_x - d_{1,x}}{r_x} \\ &= 1 - p(AP_1 \in c|x) \end{aligned} \quad (7)$$

で示される。 $p(AP_1 \in c|x)$  と  $p(AP_1 \in d|x)$  はデータベース登録時に随時更新し、位置推定時にこの確率を用いる。このようにデータベース登録時では登録した位置における各 AP の通信範囲内の存在確率を更新する。

## 3.3 位置推定

### 3.3.1 通信範囲内 AP リスト及び通信範囲外 AP リストの作成

図 5 に通信範囲外の AP リスト作成の様子を示す。LECOCA を用いて位置推定を行う際、MN では通信範囲内の AP リストを取得し、管理サーバに送信する。管理サーバでは MN から受信した通信範囲内の AP リストをデータベースの全 AP リストと比較する。この際、全 AP リストに含まれて通信範囲内の AP リストに含まれない AP-C, AP-D を通信範囲外の AP リストに登録する。このように、データベースに登録された全 AP リストと通信範囲内の AP リストを比較することで通信範囲外の AP のリストを作成する。

### 3.3.2 存在確率を用いた位置推定

2.3 節で述べた AP の通信範囲を用いた位置推定手法では通信範囲内の AP リストのみを使用していたのに対し、LECOCA では通信範囲内の AP リストと通信範囲外の AP リストを使用して位置推定を行う。通信範囲内の AP リストを  $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ 、通信範囲外の AP リストを  $d = (d_1, d_2, \dots, d_m)$  とすると、推定位置  $\hat{x}$  は

$$\hat{x} = \operatorname{argmax}_{\mathbf{x}} p(\mathbf{x}|\mathbf{c} \cap \mathbf{d}) \quad (8)$$

で示される．式 (8) は，ベイズの定理を用いて

$$p(\mathbf{x}|\mathbf{c} \cap \mathbf{d}) = \frac{p(\mathbf{c} \cap \mathbf{d}|\mathbf{x})p(\mathbf{x})}{p(\mathbf{c} \cap \mathbf{d})} \quad (9)$$

と変形できる．このとき， $p(\mathbf{c} \cap \mathbf{d})$  は位置  $\mathbf{x}$  に関わらず一定であり， $p(\mathbf{x})$  は事前確率のため一定である．そのため

$$p(\mathbf{x}|\mathbf{c} \cap \mathbf{d}) \propto p(\mathbf{c} \cap \mathbf{d}|\mathbf{x}) \quad (10)$$

となる．また，各事象が独立であることを考慮すると，

$$\begin{aligned} p(\mathbf{c}) &= p(c_1 \in \mathbf{c})p(c_2 \in \mathbf{c}) \dots p(c_n \in \mathbf{c}) \\ &= \prod_{i=1}^n p(c_i \in \mathbf{c}) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} p(\mathbf{d}) &= p(d_1 \in \mathbf{d})p(d_2 \in \mathbf{d}) \dots p(d_m \in \mathbf{d}) \\ &= \prod_{j=1}^m p(d_j \in \mathbf{d}) \end{aligned} \quad (12)$$

となり，

$$p(\mathbf{c} \cap \mathbf{d}) = \left( \prod_{i=1}^n p(c_i \in \mathbf{c}) \right) \left( \prod_{j=1}^m p(d_j \in \mathbf{d}) \right) \quad (13)$$

と変形できるため，式 (8)，式 (10)，式 (13) より，

$$\begin{aligned} \hat{x} &= \operatorname{argmax}_{\mathbf{x}} p(\mathbf{c} \cap \mathbf{d}|\mathbf{x}) \\ &= \operatorname{argmax}_{\mathbf{x}} \left( \prod_{i=1}^n p(c_i \in \mathbf{c}|\mathbf{x}) \right) \left( \prod_{j=1}^m p(d_j \in \mathbf{d}|\mathbf{x}) \right) \end{aligned} \quad (14)$$

となる．

式 (14)，式 (6)，式 (7) より位置推定を行う．

## 4. 実装，評価

### 4.1 実装

本稿では各部署，あるいは各研究室ごとのネットワークが存在する大学のキャンパスやオフィスなどの無線 LAN を想定している．各 AP の位置は把握できず，ある MN からは数個～数十個の AP を検知されるような比較的高密度に AP が配置されている環境を想定する．既知でない AP を位置推定に使用するために iwlist コマンドを使用し，プロトタイプの実装を行った．iwlist コマンドによって取得した AP の MAC アドレスのリストを通信範囲内の AP リストとして扱う．

また，今回の実装ではユーザによるデータベース登録を GUI により MN の画面上で実現する歩行者ナビゲーションシステムを実装した．図 6 にデータベース登録時の実行例を示す．データベース登録時，ユーザは自分の現在位置を選択する．図 6 のようにユーザが位置を選択後，MN は iwlist により通信範囲内の AP リストを取得する．そして，選択した位置情報と共に管理サーバへ送信し，データ

表 1 データベース登録

使用ノード	Fedora 13
使用言語	Java
登録場所	部屋 A(5ヶ所) 部屋 B(5ヶ所) 部屋 A 前廊下(3ヶ所) 部屋 B 前廊下(3ヶ所)
登録回数	各ヶ所 5回
使用 AP	iwlist で確認可能な AP
測定方法	iwlist

ベースへの位置登録を行う．このように GUI による操作によって，ユーザによる位置情報の登録を実現した．

図 7 に LECOCA による位置推定の実行結果の例を示す．位置推定時，MN は iwlist により通信範囲内の AP リストを管理サーバに送信し，管理サーバ側で位置推定を行う．管理サーバで推定された位置情報は MN に返され，推定結果を表示する．今回の実装では屋内における歩行者ナビゲーションシステムの構築を目的としているため，現在位置がどの領域に属しているかが重要となる．そのため，推定結果として図 6 のように登録した領域を示すのではなく，図 7 のように推定結果がどの領域にいるかを示すように実装した．

### 4.2 評価

屋内における歩行者ナビゲーションシステムでは，現在位置がどの領域に属しているかを評価する必要がある．現在位置からの平均誤差が小さい場合でも，現在位置と異なる部屋にいることを示すのはアプリケーションとして望ましくないからである．以上のことから，今回の実験では実装したシステムを用いた LECOCA による領域推定精度を検証する．

評価項目は位置推定時の正答率であり，比較対象は 2.3 節で述べた既存手法である．位置推定の正答率は，測定回数に対して推定位置が測定位置の領域内にいた割合を示す．評価環境を表 1，表 2 に示し，図 8 に登録場所及び測定場所を示す．データベースへの登録は 1 回で十数秒かかり，計 16 箇所において各箇所 5 回ずつ登録を行った．使用する AP は iwlist で確認可能な AP とし，2.4GHz 帯，5GHz 帯の区別はせず位置を推定する．

また，LECOCA と既存手法の推定精度を正確に比較するために，既存手法と提案手法 LECOCA による測定は同アプリケーション内で同時に行った．

図 9 に LECOCA と既存手法の正答率を示す．LECOCA では AP の通信範囲外にいることを考慮して位置の絞込みを行うことで，正答率が約 44% から約 66% に改善した．

図 10 に LECOCA と既存の AP の通信範囲を用いた位置推定手法の各領域における正答率を示す．既存手法と提案手法 LECOCA による正答率を比較すると，部屋 A にお

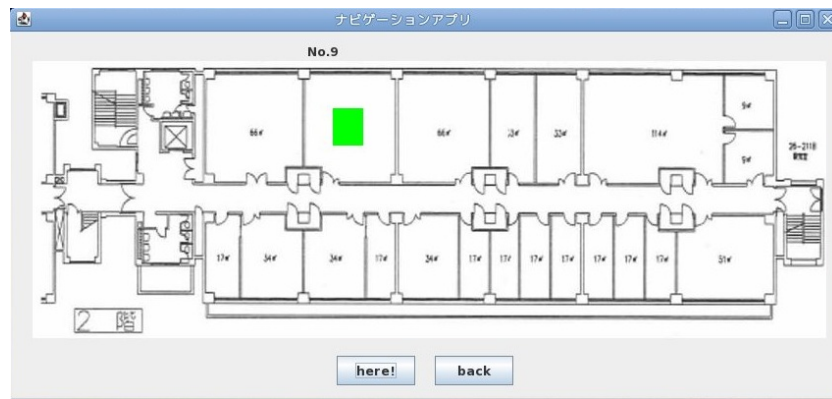


図 6 データベース登録時の実行例

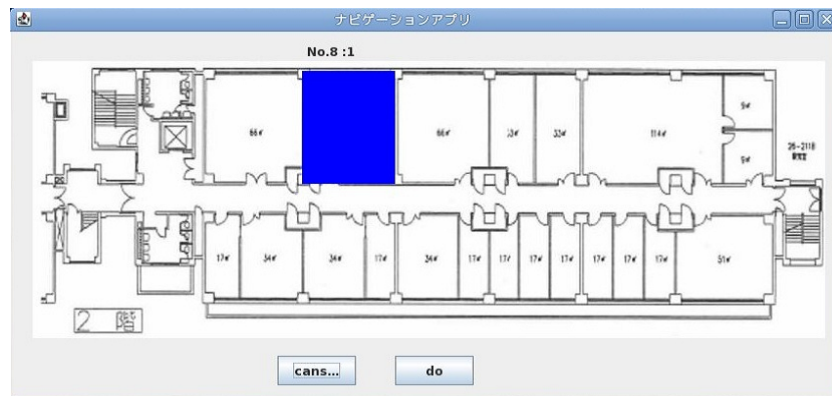


図 7 LECOCA による位置推定の実行結果の例

表 2 位置推定

使用ノード	Fedora 13
使用言語	Java
登録場所	部屋 A(9ヶ所) 部屋 B(9ヶ所) 部屋 A 前廊下(3ヶ所) 部屋 B 前廊下(3ヶ所)
登録回数	各ヶ所 5回
使用 AP	iwlist で確認可能な AP
測定方法	iwlist

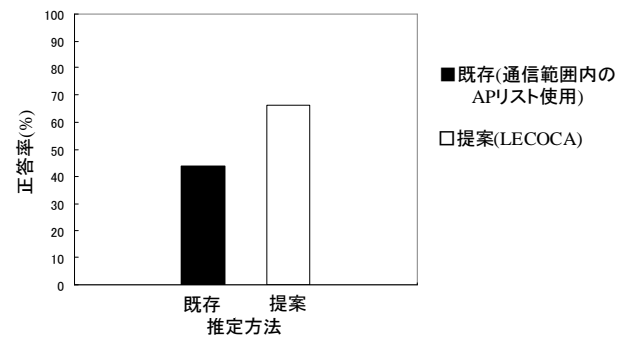


図 9 正答率

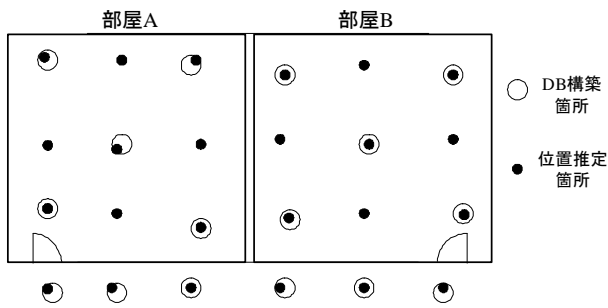


図 8 データベース登録, 位置推定箇所

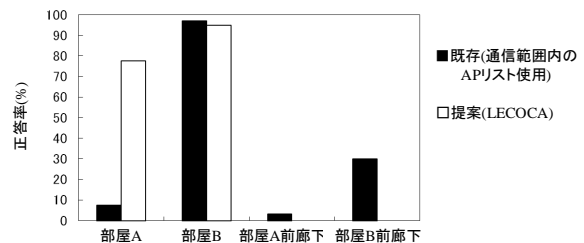


図 10 各領域における正答率

いて既存手法では約 7%, LECOCA では約 78%と正答率を改善し, 部屋 B において既存手法では約 97%, LECOCA では約 95%と同程度の正答率であることを確認した. しかし各部屋前の廊下では正答率が低下している. この結果が

得られた原因について以下に考察する.

部屋内, つまり壁で囲まれた領域では, 提案手法 LECOCA による正答率は改善されている. この原因として考えられ

るのが、壁による RSSI の減衰である。

実環境における壁の材質はコンクリートを含む外壁であり、2.4GHz 帯、5GHz 帯では外壁を境に RSSI が約 10dB の減衰を示すことが報告されている [10]。そのため壁が AP の通信範囲内外の境になりやすく、通信範囲外に存在することを考慮した位置の絞込みの効果があり、正答率を改善したと考えられる。

部屋外、つまり領域の境界線が壁で囲まれていない領域では、壁がないために通信範囲の境界線が不安定となる。そのため各位置において通信範囲内外の確率を正確に求める必要がある。通信範囲内である確率  $p(c_i \in c|x)$  と通信範囲外である確率  $p(d_j \in d|x)$  は式 (6)、式 (7) から求められる。この確率の精度は同位置におけるデータベースへの登録回数に依存する。今回の実験ではデータベースへの登録回数が少なく、通信範囲内外の正確な確率を求めることができなかった。そのため推定結果を誤ったと考えられる。

正答率を改善させるためには、データベースへの登録回数を増やすことによって AP の通信範囲内外である確率をより正確にすることが求められる。

## 5. おわりに

本稿では AP の通信範囲を用いた屋内位置推定手法の推定精度を改善するために LECOCA (Location Estimation Considering Outside of a Coverage Area) を提案し、実装した。LECOCA では既存手法と同様に、位置推定時にデータベースと照合することで位置推定を行う。LECOCA はデータベース登録と位置推定に大別できる。データベース登録時は一度確認した AP の MAC アドレスを全 AP リストに登録する。また、取得したリストを基に登録位置における各 AP の通信範囲内外に存在する確率を求め、データベース内の各確率を更新する。位置推定時は、推定時に取得した AP のリストを全 AP リストと照合することで通信範囲外のリストを作成する。推定時に取得した AP のリストと通信範囲外のリストを基に通信範囲内外の存在確率を掛け合わせる。各位置で推定時にその AP の MAC アドレスのリストを取得する確率を求め、確率が最大となる位置を推定位置として決定する。このように通信範囲内の AP リストだけでなく、通信範囲外の AP リストを用いて推定位置の絞込みを行うことで、推定精度の改善が可能となる。そして LECOCA の実装を行い、既存手法と LECOCA の推定精度の比較を行うために実機実験を行った。その結果、実装環境では部屋内において既存手法より推定精度が改善されたことを確認し、推定位置の正答率の平均が既存手法より改善されたことを確認した。

## 参考文献

- [1] Jun Liu, Qimei Cui, Xiaofeng Tao, and Ping Zhang. A method to enhance the accuracy of location systems based on toa-location algorithms. In *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on*, pp. 979–982, June 2006.
- [2] Zhilong Shan and T.-S.P. Yum. Precise localization with smart antennas in ad-hoc networks. In *Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07. IEEE*, pp. 1053–1057, Nov. 2007.
- [3] M. Youssef and A. Agrawala. The horus location determination system. *Wireless Networks*, Vol. 14, No. 3, pp. 357–374, 2008.
- [4] M. Cypriani, F. Lassabe, P. Canalda, and F. Spies. Open wireless positioning system: A wi-fi-based indoor positioning system. In *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), 2009 IEEE 70th*, pp. 1–5. IEEE, 2009.
- [5] H. Leppakoski, S. Tikkinen, and J. Takala. Optimizing radio map for wlan fingerprinting. In *Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service (UPINLBS), 2010*, pp. 1–8, Oct. 2010.
- [6] K.C.Y. Shum, Quan Jia Cheng, J.K.Y. Ng, and D. Ng. A signal strength based location estimation algorithm within a wireless network. In *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2011 IEEE International Conference on*, pp. 509–516, March 2011.
- [7] L. Koski, T. Pera andla and, and R. Piche and. Indoor positioning using wlan coverage area estimates. In *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2010 International Conference on*, pp. 1–7, Sept. 2010.
- [8] 萩野敦. 無線 lan 統合アクセスシステム-位置検出方式の検討. *DICOMO2003*, pp. 569–572, 2003.
- [9] Chun-Yu Shih, Lyu-Han Chen, Gen-Huey Chen, Wu, E.H.-K., Ming-Hui Jin. Intelligent radio map management for future WLAN indoor location fingerprinting. In *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2012 IEEE*, pp.2769–2773, April 2012.
- [10] 小野仁, 小林幸, 中川正雄, 有田武美, 宇田川智之, 梶原昭博. 無線ホームリンクにおける住宅壁材の電波伝搬特性測定. 電子情報通信学会技術研究報告. A・P, アンテナ・伝播, Vol. 99, No. 354, pp. 7–13, 1999.