

## アクセスポイントへの接続の有無に着目した 無線LAN位置特定システムの性能評価

宮林 竜也<sup>†</sup> 間邊 哲也<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 埼玉大学 大学院理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: †{ryuya,manabe}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では無線LAN位置特定システムにおいて、アクセスポイント(AP)への接続の有無が位置特定性能に与える影響について実験により評価を行っている。Scene Analysisにおける学習用、評価用データ取得時のAPへの接続の有無が位置特定に与える影響、APの属性の違いとAPへの接続の有無が位置特定に与える影響、これらの性能評価の結果から、APへの接続の有無によって位置特定性能に差が生じることを示している。実験結果と実際のLBSなどのシステムの利用を鑑みた改善手法の検討を行っている。以上のことから、LBSなどのシステム利用時にAPに接続している場合でも、未接続と同程度の位置特定性能を得ることのできる可能性を見出している。

キーワード 無線LAN位置特定システム, Scene Analysis

## Performance Evaluation Depends on Availability of Connection to Access Points on Wireless LAN Positioning System

Ryuya MIYABAYASHI<sup>†</sup> and Tetsuya MANABE<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama,  
338-8570 Japan

E-mail: †{ryuya,manabe}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

**Abstract** This paper evaluates smartphone positioning performance using wireless LAN. We particularly focus on connection/unconnection to access points (AP). The experiments performed are as follows: Investigation of the influence on the availability of connection to the AP at survey and estimate data acquisition in Scene Analysis on positioning performance, Investigation of the influence of the difference in attribute of AP and the availability of connection to AP on positioning performance, From the result of these performance evaluations, we show that a difference occurs in the positioning performance because of the availability to connection to AP. We examine the improvement technique in view of the result of performance evaluations and the use of systems such as real LBS(Location Based Services) From the above, even when connecting to an AP when using a system such as LBS, We have found the possibility of obtaining the same position identification performance as unconnected.

**Key words** Wireless LAN Positioning, Scene Analysis

### 1. ま え が き

スマートフォンの普及などによって多種多様な位置に基づくサービス(LBS: Location Based Services)が広がっている(例えば[1]). 質の高いLBSのためには正確で高精度な位置特定が必要である。

スマートフォンで広く使われる既存の位置特定手法としてGPS(Global Positioning System)と無線LANによる位置特定がある。GPSによる位置特定はオープンスカイでは高い位置

特定性能をもつが、オープンスカイでない場所では誤差が生じることが知られている。具体的には高層ビル街や大きな建物付近において、建物による反射や遮蔽などの影響により誤った位置に測位されることがしばしば生じる。文献[2]では新宿駅西口の高層ビル街でGPS内蔵の携帯電話機を用いた位置特定の実験を行っている。調査の結果、測位誤差は平均79.95m, 最大812.61m生じることが示されている。その他にも、屋内や地下では、構造物による遮蔽や減衰などの影響により大きな誤差が生じる、もしくは位置特定を行うことができない。このような

環境においても正確かつ高精度な位置特定を行うために、GPS に依らない他の手法を用いた位置特定に関する研究が行われている (例えば [6]).

無線 LAN のアクセスポイント (AP: Access Point) を使用した位置特定システムでは、AP から受信したときの情報のみで位置特定が行える。無線 LAN の機能はスマートフォンに標準搭載されており、また無線 LAN 接続も行える環境は増えつつある。そのため、前述のような GPS では正確な位置特定が行えない環境でも利用可能である。

無線 LAN による位置特定では Scene Analysis(例えば [3]) が広く用いられている。Scene Analysis では環境内に存在する AP の BSSID (Basic Service Set Identifier) ごとの RSSI (Received Signal Strength Indication) を観測することで位置特定を行う。このとき同じ位置においても、様々な要因で観測できる BSSID や RSSI は異なる。観測結果が異なる要因として、文献 [4] では方向による RSSI の違い、文献 [5] は人の出入り、モバイルルータやテザリング端末の存在、無線 LAN の電波利用状況が挙げられている。これらの要因などによって AP の観測結果が異なると、質の高い LBS を提供することが難しい。

本稿では、AP への接続の有無が位置特定性能に与える影響について実験により評価を行う。

## 2. WLAN とそれを用いた位置特定システム

### 2.1 WLAN 端末における AP 探索 [7]

AP は通信の時刻同期のために制御信号 (ビーコン) を常に発信している。制御信号は通信に必要な情報を報知するために使用され、市販されている AP では 100ms 程度の周期で送信される。無線 LAN の位置特定においては、この制御信号に含まれる BSSID とそのときの RSSI を用いて位置特定を行う。端末が AP を探索するとき、一定時間おきにチャンネルを変えて制御信号を監視することで AP を探索する。この方法をパッシブスキャンという。一方、端末がプローブ要求を行い、AP からの応答フレームを交換することで周辺の AP を探索する方法をアクティブスキャンという。このとき、応答フレームには BSSID の情報を含んでいる。一定時間応答フレームを受け取れなかった場合は別のチャンネルに対してプローブ要求を行い、AP 探索をする。

### 2.2 WLAN を用いた位置特定システム

AP のスキャン結果に基づく位置特定手法には Proximity (例えば [8]), Trilateration(例えば [9]) と Scene Analysis (例えば [3]) などがある。Proximity は端末がどの AP の近くに存在するかを特定する手法である。位置が既知である AP の中で、RSSI が最も大きい AP の位置に端末の位置を代表させる。Trilateration は、位置が既知である AP からの相対的な位置関係を用いて位置特定を行う手法である。取得した各 AP の RSSI から、電波の自由空間損失の関係などを用いて各 AP と端末間の距離を求め、三辺測量によって位置特定をする。Scene Analysis では位置特定を行う領域中の各地点における各 AP からの BSSID と RSSI の組をデータベースとして保持し、このデータベースと位置特定時のスキャン結果を用いて位置特定を

する。本稿では位置特定手法として文献 [3] で用いられている Scene Analysis のアルゴリズムを使用する。説明のためにスキャン結果を以下の式で定義する。

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\} \quad (1)$$

$$o_j = \{(\alpha_1, \beta_1), (\alpha_2, \beta_2), \dots, (\alpha_n, \beta_n)\} \quad (2)$$

このとき、 $m$  は観測回数、 $\alpha$  は RSSI、 $\beta$  は BSSID、 $n$  はアクセスポイントの数である。地点数  $l$  のある地点  $c_j$  において  $\beta$  から得られる  $\alpha$  の確率分布は以下の式で定義される。

$$P(\alpha|\beta, c_j) = \frac{\text{状態 } c_j \text{ で } \beta \text{ から } \alpha \text{ が観測された回数}}{\text{状態 } c_j \text{ で } \beta \text{ が観測された回数}} \quad (3)$$

上記の式を用いて、 $m$  個のスキャン結果から各地点での存在確率  $P(c_j|o_1, o_2, \dots, o_m)$  を以下の式で求め、存在確率が最大になる地点を現在地として使用する。

$$P(c_j|o_1, o_2, \dots, o_m) = \frac{P(o_1, o_2, \dots, o_m|c_j) \cdot P(c_j)}{\sum_{t=1}^l P(o_1, o_2, \dots, o_m|c_t) \cdot P(c_t)} \\ = \frac{\prod_{k=1}^m P(o_k|c_j)}{\sum_{t=1}^l \prod_{k=1}^m P(o_k|c_t)} \quad (4)$$

文献 [10] ではこれらの AP 探索の結果を用いた位置特定手法を複数の観点から分類を行っている。例えば、位置特定の方法は決定的な手法と確率的な手法に分類される。前述の 3 つの位置特定手法は文献 [10] によって分類すると Proximity と Trilateration は決定的な手法であり、Scene Analysis は確率的な手法と分類される。文献 [11] は屋内において決定的な手法である Trilateration と確率的な手法である Scene Analysis の位置特定性能を比較している。その結果、Trilateration よりも Scene Analysis の方が位置特定性能が高いことが示されている。文献 [12] では、屋内廊下において通常の使用目的で設置されている AP (一般 AP) に加えて、位置特定専用の AP (専用 AP) を追加した環境での性能評価を行っている。その結果、一般 AP に対して約 1 割の専用 AP を追加するだけで大幅に性能が向上することを示している。さらに、文献 [13] では屋内外で周囲に見える AP 数の異なる環境において、専用 AP の設置効果の検証を行っている。この検証において、体育館は屋内で周辺の AP の数が少ない環境、グラウンドは屋外で周辺の AP の数が少ない環境、中庭は屋外で周辺の AP の数がある程度観測できる環境として実験を行っている。結果は、どの環境においても少数の専用 AP を追加するだけで、位置特定性能が大きく向上することを示している。

AP の探索結果が異なる要因として AP 本体の変更と、周辺環境の変化、人による電波の遮蔽などの影響がある。具体的な例として AP の本体の変更では、環境内の AP の交換などがある。周辺環境は変化では、AP の設置されている周囲の家具などの変更によって電波伝搬の様子が変わることが知られている。また、文献 [4] では、人による電波の遮蔽などによって、人の向きによって受け取る RSSI が変わること示している。また、ユーザが端末を保持している状態で観測する方向を変えた場合、RSSI の平均値が異なることを示している。この他にも、

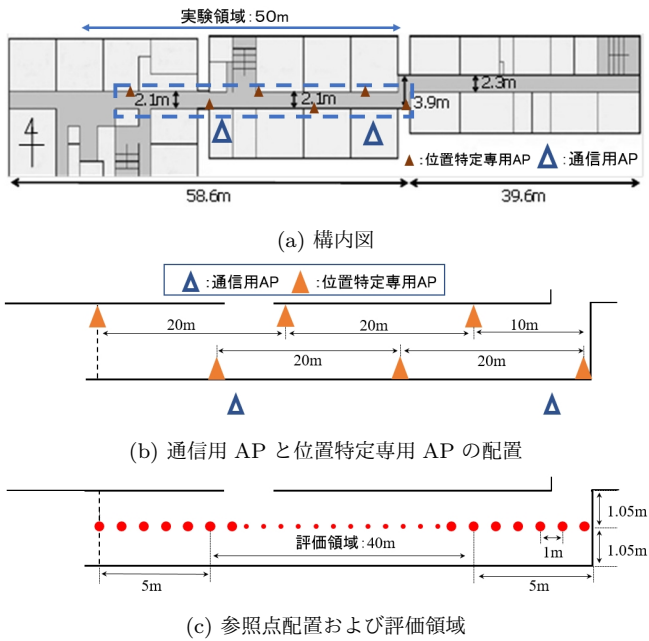


図 1 実験環境

表 1 使用端末

メーカー	商品名	型番	個数
SONY	Xperia Z	C6603	2
LG エレクトロニクス	Nexus 5	LG-D821	2
Samsung	Galaxy Nexus	GT-I9250	2
SHARP	AQUOS PHONE ZETA	SH-02E	2

文献 [5] では、イベント会場において性能評価を行い、人の出入り・モバイルルータやテザリング端末の存在・無線 LAN の電波の利用状況によって、学習用データ収集時と評価用データ収集時の電波環境が大きく異なり、位置特定誤差が大きくなることを明らかにしている。

### 3. AP への接続の有無による位置特定性能の比較

#### 3.1 実験概要

AP の探索時において AP への接続の有無が位置特定性能に与える影響について、以下に示す 3 種の実験により性能評価を行う。

- 学習用データ取得時における AP への接続と未接続の比較
- 学習用と評価用データ取得時における AP への接続と未接続の比較
- 専用 AP と一般 AP それぞれの観点における AP への接続と未接続の比較

実験環境を図 1 に示す。位置特定に用いる AP は通信など通常の使用目的で設置されている AP、計 190 基と、位置特定専用で設置した AP、計 6 基を加えた計 196 基で行った。本稿では文献 [12] にならい、通常の使用目的で設置されている AP を「一般 AP」、位置特定専用の AP を「専用 AP」と定義する。また、一般 AP には、通信用に用いる 2 台の AP(以下通信用 AP)

を含んでいる。観測を行う参照点は図 1(c) に示すように、1m 間隔で 50m に渡って計 51 点設けた。領域端での片方向のみの誤差を低減するために中央 40m の領域内の、計 41 点の評価点で評価を行う。

データの取得方法について、データ取得時の端末の位置を一定にするために、スタンドを用いて一定の高さに固定してデータ取得を行う。固定する高さは人が手に端末を所持している事を想定して床面から 120cm の高さに固定する。また、文献 [4] で述べられている人による遮蔽を考慮するため、西向きと東向きの 2 方向の学習用データと評価用データを取得する。データ取得に用いる端末を表 1 に示す。これらの端末は SIM カードを挿入せず 3G、4G の通信回線に接続していない状態で実験を行う。データ取得時には同一端末を 2 台同時に持ち、片方が通信用 AP に接続した状態、一方が未接続の状態で行う。本稿においては、通信用アクセスポイントを通じて常にネットワークに接続するとともに、現在地周辺のアクセスポイントのスキャンを行っている状態を「接続」、ネットワークに接続せず、現在地周辺のアクセスポイントのスキャンのみを行っている状態を「未接続」と定義する。

データ取得回数について、学習用データは各参照点において 1 秒おきに 1 回、60 回観測を行った。評価用データは各参照点において 1 秒おきに 1 回、30 回観測を一度行った後、データの偏りを低減するため 40 分以上間隔あけた後、同様の観測を行い、計 60 回分の観測を行った。評価は取得したデータを用いてオフラインで行った。

評価に使用した指標について説明する。ある地点  $j$  における、 $i$  番目の位置特定結果(測定値)を  $x_{ij}$  とする。ある地点  $j$  における算出された位置の平均値  $\bar{x}_j$  は次式で表される。

$$\bar{x}_j = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_{ij} \quad (5)$$

ここで  $M$  は評価回数である。ある地点  $j$  における評価データを取得した位置(真値)を  $X_j$  とし、評価地点数  $L$  の評価領域全体の結果を評価するために誤差の平均値  $\bar{e}$ 、誤差の標準偏差  $\sigma$ 、距離誤差の平均  $\bar{e}_d$  の 3 つの指標を次式として求める。

$$\bar{e} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L (\bar{x}_j - X_j) \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{L \cdot M} \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^M (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (7)$$

$$\bar{e}_d = \frac{1}{L \cdot M} \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^M |x_{ij} - X_j| \quad (8)$$

#### 3.2 実験 (1) : 学習用データ取得時における接続と未接続の比較

学習用データ取得時に AP への接続の有無によって位置特定性能に差が生じるのか性能評価を行う。ここでは、取得したデータのうち学習用データは接続と未接続で分けデータベース

表 2 実験 (1) におけるの位置特定性能の比較

[m]	$\bar{e}$	$\sigma$	$\bar{e}_d$
接続	-0.10	2.84	1.82
未接続	0.04	2.66	1.65

表 3 学習時における AP 観測数の平均と標準偏差

	平均	標準偏差
接続	17.74	3.77
未接続	22.98	6.61

構築する。データベースに含まれるスキャン結果はいずれも計 6120 回<sup>(注1)</sup>である。評価用データは接続と未接続の全ての評価用データを用いて比較した。評価領域内の参照点で、接続と未接続のスキャン回数は等しく 4920 回<sup>(注2)</sup>のスキャン結果を合わせた計 9840 を用いた評価を行った。

表 2 に、学習用データ取得時における接続と未接続の比較結果を示す。この結果について有意差の検定を行う。 $\sigma$  について等分散の検定を行うと有意な差が認められた ( $F(9388) = 1.147, p < 0.005$ )。そして、Welch's の  $t$  検定より、AP への接続の有無によって位置特定結果に有意な差が認められた ( $t(11793) = -1.637, p < 0.05$ )。 $\bar{e}_d$  については等分散であることがわかったため、Student's の  $t$  検定を行った。その結果から、 $\bar{e}_d$  においても有意な差が認められた ( $t(18778) = -5.569, p < 0.005$ )。以上により、データベースを構成する学習用データ取得時に、AP への接続の有無が位置特定性能に影響を与えることがわかった。この影響が生じた理由として、接続の有無によって 1 回のスキャンで得られる BSSID の数が異なることが考えられる。そこで、実験 (1) で使用したデータについて AP の観測数の平均を求めた。その結果を表 3 に示す。未接続状態の方が、AP 観測数が多いことがわかった。この結果を踏まえると、実験 (1) の結果は接続の有無によって多数の AP の情報がデータベースに含まれることに依るものと考えられる。

### 3.3 実験 (2) : 学習用と評価用データ取得時における接続と未接続の比較

実験 (1) では、学習時のみ比較を行った。ここでは、評価用データ取得時においても、AP への接続の有無によって位置特定性能に差が生じるのか検証を行う。データベースは実験 (1) と同じものを用いる。評価用データは接続・未接続でいずれも 4920 回<sup>(注3)</sup>のスキャン結果を用いて評価を行う。実験結果を表 4 に示す。 $\bar{e}_d$  において、接続の有無に関してそれぞれ検証を行うと、いずれも有意な差が認められた ( $p < 0.01$ )。また、実験 (1),(2) の結果を踏まえると  $\sigma$  と  $\bar{e}_d$  の学習用と評価用データ取得において、AP の接続の有無によって位置特定性能に差が生じることがわかった。表 3,5 の AP 観測数の結果から、未接続の状態では評価用データの 1 つのスキャン結果が含む AP の数が多く、より多くの情報を使って位置特定するため位置特定性能に差が生じたと考えられる。

(注1) : 学習地点数 51 × 観測方向 2 × データ取得回数 60

(注2) : 評価点数 41 × 観測方向 2 × データ取得回数 60

(注3) : 評価点数 41 × 観測方向 2 × データ取得回数 60

表 4 実験 (2) における位置特定性能の比較

(a) 誤差の平均値

$\bar{e}$ [m]	学習用データ		
	接続	未接続	
評価用データ	接続	-0.11	0.11
	未接続	-0.10	-0.19

(b) 誤差の標準偏差

$\sigma$ [m]	学習用データ		
	接続	未接続	
評価用データ	接続	2.91	2.84
	未接続	2.73	2.38

(c) 距離誤差の平均

$\bar{e}_d$ [m]	学習用データ		
	接続	未接続	
評価用データ	接続	1.88	1.76
	未接続	1.75	1.53

表 5 位置特定時における AP 観測数の平均と標準偏差

	平均	標準偏差
接続	17.31	4.72
未接続	21.66	5.25

表 6 実験 (3) における専用 AP のみの位置特定性能の比較

(a) 誤差の平均値

$\bar{e}$ [m]	学習用データ		
	接続	未接続	
評価用データ	接続	-0.01	0.22
	未接続	-0.03	-0.03

(b) 誤差の標準偏差

$\sigma$ [m]	学習用データ		
	接続	未接続	
評価用データ	接続	5.06	5.60
	未接続	4.98	4.39

(c) 距離誤差の平均

$\bar{e}_d$ [m]	学習用データ		
	接続	未接続	
評価用データ	接続	3.43	3.10
	未接続	3.37	3.07

能に差が生じたと考えられる。

### 3.4 実験 (3) : 専用 AP と一般 AP それぞれの観点における接続と未接続の比較

3.2, 3.3 までは実験環境内の全ての AP を用いて性能評価を行ってきた。ここでは、専用 AP と一般 AP をそれぞれ分けて使用する。それぞれの観点からでも実験 (2) と同様の傾向が得られるのか検証を行う。実験 (2) のデータ取得において専用 AP のみ、一般 AP のみのそれぞれの位置特定性能の評価を行った。実験結果を表 6,7 に示す。表 6,7 の  $\bar{e}_d$  について、実験 (1),(2) と同様の傾向となった。表 8,9 より実験 (1),(2) と同様に AP 観測数でも同様の傾向となった。

## 4. AP 接続時における位置特定性能改善手法の検討

本節では、実際の LBS のアプリケーションの利用を考慮した位置特定性能の改善手法の検討を行う。3 節の結果から、データ取得時は AP に未接続の状態で行った方が位置特定性能が良いという傾向が見られることがわかった。実際の LBS のアプリケーションの学習用データ取得時では、文献 [14] で述べられているように調査員がデータ収集を行う。このとき、調査員が

表 7 実験 (3) における一般 AP のみの位置特定性能の比較

(a) 誤差の平均値				(b) 誤差の標準偏差					
$\bar{e}$ [m]		学習用データ		$\sigma$ [m]		学習用データ			
		接続	未接続			接続	未接続		
評価用データ	接続	-0.18	0.10	3.17	3.04	評価用データ	接続	3.17	3.04
	未接続	-0.13	-0.18	2.85	2.64		未接続	2.85	2.64

(c) 距離誤差の平均

$\bar{e}_d$ [m]		学習用データ	
		接続	未接続
評価用データ	接続	2.03	1.93
	未接続	1.92	1.73

明示的に未接続の状態に固定してデータ取得を行うことができる。一方、一般ユーザの LBS のアプリケーション利用のための位置特定時 (評価時) は、接続状態を固定することができない。これはユーザによって、キャリアが提供する無線 LAN 環境や、自身のモバイルルータなどの接続が考えられるためである。そのため、AP へ接続していた場合に位置特定性能に悪影響を及ぼしてしまう可能性が考えられる。そこで、LBS のアプリケーション利用時に AP に接続しているユーザの端末で、未接続の端末と同程度の位置特定性能を得る方法について検討を行った。接続の状態では未接続のときと比べて AP 観測数が少ないため、スキャン結果を蓄積したものを位置特定に使用することを考える。検討した改善手法は以下の通りである。

- 改善手法 1: 蓄積データの全てをそのまま位置特定に利用
- 改善手法 2: 蓄積した AP ごとの RSSI の平均を計算したものを位置特定に利用
- 改善手法 3: 蓄積したデータでそれぞれ位置特定結果を算出し、その平均値を位置特定結果とする

評価方法として、学習用データ取得時は未接続の状態データ取得を行っている。これは、調査員が未接続の状態を選択することを想定している。データベースは計 6120 回<sup>(注4)</sup>のスキャン結果を用いた。評価用データ取得時は接続で 4920 回<sup>(注5)</sup>のスキャン結果を用いて改善手法 1~3 それぞれによる評価を行う。

蓄積回数ごとの距離誤差の平均をプロットした結果を図 2 に示す。結果から、接続時にスキャン結果を 6 回程度の蓄積によって、未接続のスキャン 1 回分と同程度の性能になることがわかった。しかし、蓄積回数が 10 回を越えると改善手法 1 の場合は、 $\bar{e}_d$  が増加した。一方、改善手法 2,3 では蓄積回数が多くなると  $\bar{e}_d$  は減少減少していく。今回の検討によって、スキャン結果の蓄積によって AP に接続した場合でも、未接続のときと同程度の位置特定性能を得られる可能性を見出した。

## 5. むすび

本稿では、無線 LAN 位置特定システムにおいて、AP への接続の有無が位置特定に与える影響について実験により性能評

表 8 専用 AP のみの AP 観測数の平均と標準偏差

(a) 学習用データ			(b) 評価用データ		
	平均	標準偏差		平均	標準偏差
接続	3.59	0.97	接続	3.70	1.01
未接続	4.40	0.99	未接続	4.44	1.00

表 9 一般 AP のみの AP 観測数の平均と標準偏差

(a) 学習用データ			(b) 評価用データ		
	平均	標準偏差		平均	標準偏差
接続	14.17	3.60	接続	13.75	4.05
未接続	18.58	6.26	未接続	17.23	4.85

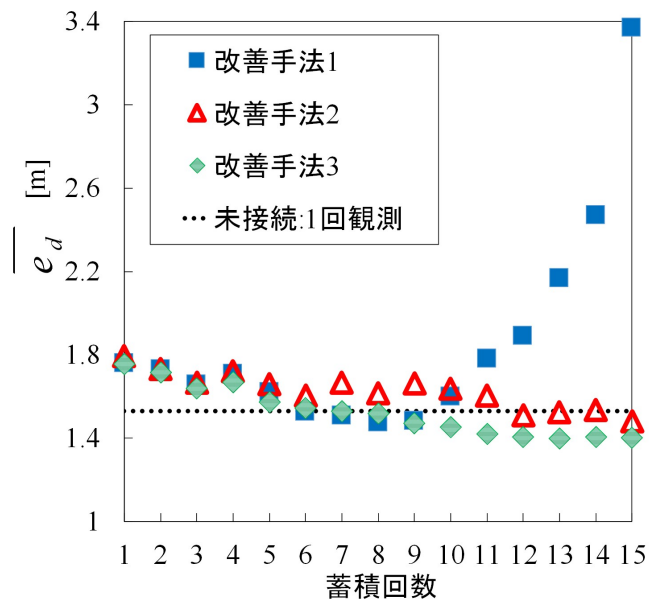


図 2 各改善手法の位置特定性能の比較

価を行った。学習用、評価用データ取得時における AP への接続の有無が位置特定に与える影響の評価、専用 AP と一般 AP それぞれの観点における AP への接続の有無が位置特定に与える影響の評価、それぞれの性能評価の結果から、AP への接続の有無によって位置特定性能に差が生じることを示した。この要因の一つに AP 観測数の違いがあり、接続の有無によって差が生じることを示した。このことを踏まえ、LBS などシステムの利用を想定した改善手法の検討を行った。位置特定時に AP に接続している場合、スキャン結果を蓄積することで未接続の場合と同程度の性能を得ることができることを示した。これによって、LBS などのシステム利用時に AP に接続している場合でも、未接続と同程度の位置特定性能を得ることのできる可能性を見出した。今後は、無線 LAN 位置特定システムにおいて、接続している AP との距離、自端末や同じ AP を利用する端末の通信の有無などを考慮した性能評価や、これらの結果を考慮した更なる改善手法の検討、データベース更新手法の検討を行う予定である。

## 文 献

- [1] A. Kupper Location-based Services Wiley 2005.

(注4): 学習地点数 51 × 観測方向 2 × データ取得回数 60

(注5): 評価点数 41 × 観測方向 2 × データ取得回数 60

- [2] 児島伴幸, 柳澤政生, 大附辰夫, 戸川望, “歩行者の現在地認識に基づく道路標識とランドマークを用いた位置特定システムの改良とシミュレーション評価,” 信学技報, ITS2009-64, pp.153-158, Nov.2003.
- [3] 伊藤誠吾, 河口信夫, “アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリット位置推定手法とその応用,” 電学論 C, Vol.126, No.10, pp.1212-1220, 2006.
- [4] 伊藤誠吾, 佐藤弘和, 河口信夫, “無線 LAN の受信電波強度分布間類似度による方向推定手法,” 情処学論, Vol. 47, NO. 1, pp.51-62, Jan. 2006
- [5] 間邊哲也, 長谷川孝明, 永長知孝, 相原弘一, “位置特定社会基盤のシステム創成学論的考察~Wi-Fi によるスマートフォン位置特定性能~, ” 信学技報, ITS2014-7, pp.42-46, June 2014.
- [6] 星尚志, 藤井雅弘, 羽多野裕之, 伊藤篤, 渡辺裕, “スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニングのための進行方向推定に関する研究,” 情処学論, Vol.57, No.1, p.p. 25-33, Jan2016.
- [7] 森倉 正博, 久保田 周次, “802.11 高速無線 LAN 教科書,” 株式会社インプレス R&D, January 2005.
- [8] J.Krumm and K.Hinckley, “The NearMe Wireless Proximity Server,” Proc. 6th Int. Conf. on Ubiquitous Comput.(UbiComp'04), pp.283-300, Nottingham, UK, Sept. 2004.
- [9] A. LaMarca, Y. Chawathe, S. Consolvo, J. Hightower, I. Smith, J.Scott, T. Sohn, J. Howard, J. Hughes, F. Potter, J. Tabert, P. Powledge, G. Borriello, and B. Schilit, “Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild,” Proc. 3rd Int. Conf. on Pervasive Comput.(Pervasive' 05), pp.301-306, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Munich, Germany, May 2005.
- [10] Mikkel Baun Kjaergaard, “A Taxonomy for Radio Location Fingerprinting,” Location- and Context-Awareness, Vol. 4718 , pp. 139-156, 2007.
- [11] B. Li, J. Salter, A.G. Dempster, and C. Rizos, “Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN,” Proc. 1stIEEE Int. Conf. on Wireless Broadband and Ultra Wideband Commun. (AusWireless'06), pp.13-16, Sydney, Australia, Mar 2006.
- [12] 野田真吾, 間邊哲也, 長谷川孝明, “屋内廊下における無線 LAN による位置特定に関する一検討,” 信学技報, ITS2012-41, pp.239-244. Feb 2013.
- [13] 野田真吾, 間邊哲也, 長谷川孝明, “屋内外無線 LAN 位置特定における専用アクセスポイントの設置効果について,” 信学技報, ITS2012-59, pp.7-12. Mar. 2013.
- [14] Tetsuya MANABE, Takaaki Hasegawa, “A Design Methodology for Positioning Sub-Platform on Smartphone Based LBS,” IEICE TRANS. , FUNDAMENTALS, Vol.E99-A, NO.1 ,pp.297-309an.2016.