

# 無線 LAN における周辺端末の通信状況が 位置特定性能に与える影響について

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 における周辺端末の通信状況が自端末の位置特定性能に与える影響について実験による評価を行っている。まず事前実験では、時間帯によりアクセスポイント (AP) 探索結果が変化すること、周辺端末の通信が AP 探索結果に影響を及ぼすことを確認している。事前実験をふまえて、周辺端末の通信状況が異なる場合の無線 LAN を用いた位置特定実験を行っている。これから、無線 LAN 位置特定システムのデータベース (DB) を構築する際は、通信が行われていない状態のデータのみで構成したほうが、通信が行われている状態のデータのみで構成した場合よりも位置特定距離誤差が小さくなることを示す。さらに、通信が行われていない状態のデータのみで構成した DB に対して、通信が行われている状態のデータを数割含ませることで、位置特定誤差距離は更に小さくなることを示している。

キーワード 無線 LAN 位置特定システム, Scene Analysis

## On the Influence of Communication Status of Peripheral Terminal on Wireless LAN on Positioning Performance

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** In this paper, we evaluate the communication of peripheral terminals affects positioning performance in wireless LAN by experiment. In the preliminary experiments, it is confirmed that the scan of the access points(AP) varies depending on the time period, and the communication of peripheral terminals affects the scan of the AP. The based on preliminary experiments, we evaluate positioning performance of wireless LAN in cases where the communication status of peripheral terminals is different. From the positioning experiment, when constructing the database(DB) of the wireless LAN positioning system, it is better the situation only when there is no communication than the case of configuring only the situation in which communication is being conducted. It shows that the distance error decreases. In addition, it is suggested that including a few percent of the data only the situation in which communication is being conducted for the DB composed only of the data not in the situation of communication, the distance error becomes further smaller There.

**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位置に基づくサービス (LBS : Location Based Services) が広まっている (例えば [1]). 質の高い LBS のためには正確かつ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 Global Positioning System(GPS) と無線 LAN による位置特定システムがある。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位置特定結果が得られない、または、大きな誤差が生じることが知られている。人の活動の 7 割は屋内と言われているが、屋

内や地下のような環境では GPS からの電波の受信が困難なため、位置特定が行えない。GPS の電波を受信できたとしても構造物による遮蔽・減衰などの影響により大きな誤差が生じる。例えば文献 [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 79.95 m、最大 812.61 m 生じることが示されている。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、環境内の AP を観測したときの情報を用いて位置特定を行う。無線 LAN は通信機能としてスマートフォンに標準搭載され、AP の設置されている場所は増加している [3]。設置の目的はそれぞれ、通信キャリアによるトラフィック負荷分散、公共サービス、店舗によるサービスなどがあり、人の活動が行われるような場所を中心に設置場所は増加している。このような環境において AP からの電波強度のマップを Database(DB) として作成することで位置特定が可能となる。無線 LAN を用いた位置特定システムは、GPS で正確な位置特定が行えない屋内のような環境でも利用可能であり、GPS に次ぐ第二の位置特定社会基盤となっている。

無線 LAN による位置特定では、環境内の AP から得られる識別情報と電波の受信信号強度を用いる。同じ位置においても、種々の要因で観測できる AP の情報は異なる。状況によって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。現在では、クラウドサービスや動画・音楽のストリーミングサービスなどが多くなり通信トラフィックが増加している。また、スマートフォン以外にもパソコン (PC) を始めとして無線 LAN 経由で情報をやりとりする端末は多様に存在しており、多数の端末が AP に接続することで通信品質が低下することが示されている [4,5]。通信品質に影響を及ぼすのと同じように、AP からの情報を使用している無線 LAN 位置特定システムに対しても影響を及ぼす可能性が考えられる。

本稿ではまず、事前実験を行い、時間帯により自端末の AP 探索結果が変化すること、周辺端末の通信状況が自端末の AP 探索結果に与える影響を確認する。その結果をふまえ、周辺端末の通信状況が位置特定性能に与える影響を実験により確認する。そこから、異なる通信状況においてもロバストな無線 LAN 位置特定システムについて検討を行っている。

## 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

AP は接続に必要な情報を報知するため、定期的に制御信号を発信している。市販されている AP では 100 ms 程度の周期で発信されている [6]。無線 LAN 端末では、受信する周波数を変えて制御信号を監視するパッシブスキャンと、プローブ要求後の応答フレームを監視するアクティブスキャンを用いて環境内の AP を探索する。本稿では市販されているスマートフォンを使用して AP 探索を行っている。

無線 LAN 位置特定システムで利用される主な情報は、AP 固有の BSSID と、制御信号観測時の受信信号強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) を用いる。AP 探索では一度に複数の AP からの情報を取得でき、これらの情報から位置

特定アルゴリズム (例えば [7]) を用いて位置を算出する。しかし、周辺状況や環境の変化により AP 探索の結果は異なるため、位置特定誤差が生じる要因となる。

無線 LAN はアクセス制御として Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance(CSMA/CA) が採用されており、ビーコンの発信もこれに従う。CSMA/CA では、AP が発信を行う前に受信を行い閾値以上の無線電力を検出しない場合は発信し、検出した場合は一定時間後に再度、発信可能かどうかを確認する方式である。通信品質に影響を与える要因として、干渉と競合がある (例えば [5])。この干渉・競合が要因で通信品質が下がることが実機による実験で示されている [4]。

### 2.2 WLAN を用いた位置特定システム

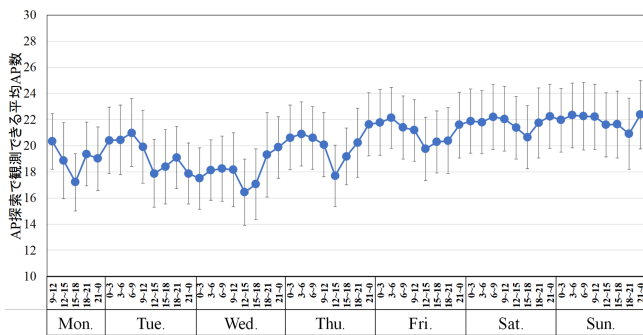
AP のスキャン結果に基づく位置特定アルゴリズムには Proximity(例えば [9])、Trilateration(例えば [10]) と Scene Analysis(例えば [7]) などがある。Proximity は位置が既知である AP を用いて、どの領域周辺に端末が存在するかを特定する手法である。Trilateration は、位置が既知である AP からの相対的な位置関係から三辺測量の原理を用いて位置特定を行う手法である。Scene Analysis では位置特定を行う領域中の各地点における各 AP からの BSSID と RSSI の組を DB として保持し、DB と位置特定時の AP 探索結果を用いて位置特定を行う。文献 [11] は屋内において Trilateration と Scene Analysis の位置特定性能を比較している。その結果、屋内環境では Scene Analysis の方が位置特定性能が高いことが示されている。本稿においても、位置特定アルゴリズムとして Scene Analysis を用いるため、位置特定を行う参照点を配置し、各参照点において DB で用いる学習用データと評価用データを取得している。Scene Analysis を用いた無線 LAN 位置特定システムの検討として文献 [8] 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(以後、一般 AP)に加えて、位置特定専用の AP(以後、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、環境内で観測できる一般 AP の個数に対して約 1 割の専用 AP を追加することで、大幅に位置特定性能が向上することを示している。さらに、屋内外の周囲に見える 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い、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 探索結果が異なる要因としてレイアウトの変更や人による遮蔽などの影響がある。また、文献 [8] 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。文献 [12] では、AP の接続の有無によって AP 探索時に観測できる AP の数が異なり、位置特定性能に影響を与えることを示している。

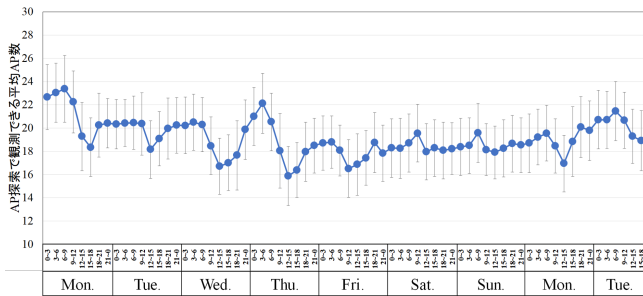
## 3. 事前実験

### 3.1 時間帯による自端末の AP 探索結果の変化

時間帯によって無線 LAN を使用した通信量が変わると考え



(a) 2017/10/23~2017/10/29



(b) 2017/10/30~2017/11/7

図1 3時間ごとのAP探索で観測できる平均AP数

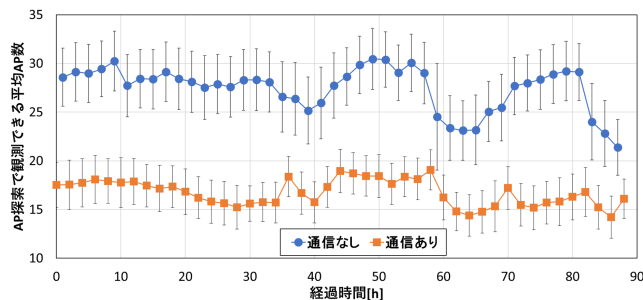


図2 1時間ごとのAP探索で観測できる平均AP数

られ、それがAP探索に与える影響を調査する。

デスク上にスマートフォンを固定し、2017/10/23(月)から2017/11/7(火)の16日間、1秒間おきにAP探索を行った。実験に使用した端末はLGエレクトロニクスのNexus 5Xである。1秒おきにAP探索を行った結果を、3時間ごとに1回の探索で観測できる平均AP数を算出して比較を行う。図1にその結果を示す。プロットはAP探索で観測できる平均AP数を表し、エラーバーはその平均AP数の標準偏差を表す。比較のために、時間帯と曜日を表記している。結果から、時間帯によってAP探索で観測できる平均AP数が変化すること、多くの人の活動が活発な時間帯は得られるデータ数が減少していることがわかる。土曜日と日曜日に注目すると時間帯によるAP探索で観測できる平均AP数の変化が小さい。実験を通してある時間帯しか観測できないモバイルルータなども存在した。これらから、時間帯によって無線LANの通信状況が異なりAP探索に影響を与えていると考えられる。

表1 使用端末

メーカー	商品名	型番	個数
SONY	Xperia Z	C6603	1
LG エレクトロニクス	Nexus 5X	LG-H791	1
HTC	Desire 626	D626	1
ASUS	ZenFone Selfie	ZD551KL	1

### 3.2 周辺端末の通信状況が自端末のAP探索結果に及ぼす影響

周辺端末の通信状況がAP探索結果に与える影響を調査するため以下の実験を行った。

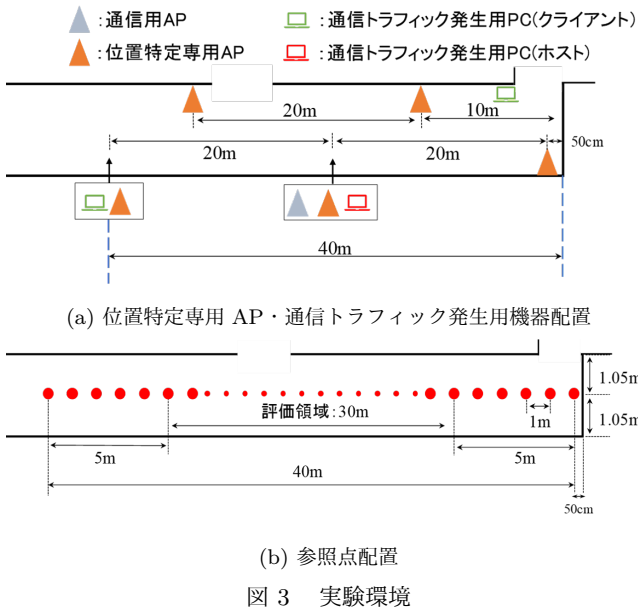
デスク上にスマートフォンを固定し、2017/12/2(土)から2017/12/6(水)中の連続88時間、1秒おきにAP探索を行った。実験に使用した端末はLGエレクトロニクスのNexus 5Xである。無線LANによる通信を行うためのAP(以後、通信用AP)を1基設置し、チャンネルは環境内でなるべく干渉が起らないように設定した。通信トラフィック発生用PC3台を実験端末とは異なるデスクに固定し、通信用APに接続後、PC3台を用いて通信トラフィックが発生している状況にする。通信時はFTPにより常にファイルのアップロード/ダウンロードを繰り返し行う。PCの内訳は、FTPホスト用が1台、FTPクライアント用が2台である。この通信トラフィック発生用PCによる通信が行われている状況を「通信あり」、通信ありの状況に対してPCによる通信を除いた状況を「通信なし」と定義する。通信なしの状況においても通信用APは電源を入れて稼働させたままにしている。今回の実験では、1時間おきに通信ありと通信なしの状況を繰り返す。その際の、1時間ごとに1回のAP探索で観測できる平均AP数をプロットした結果を図2に示す。比較のため、通信ありと通信なしの状況で分けて表記している。通信ありの状況では時間帯による影響に関わらず、1回のAP探索で観測できるAPの数が減少していることがわかる。このことから、周辺端末の通信状況によって自端末のAP探索結果に影響を及ぼすと考えられる。

## 4. 周辺端末の通信状況による位置特定性能の比較

事前実験の結果をふまえ本節では、通信が無線LAN位置特定システムの位置特定性能に与える影響を調査するため、DBのデータ量を増加させた場合と、DBの構成を変えたときの位置特定性能をそれぞれ評価した。

### 4.1 実験方法

実験環境を図3に示す。実験は埼玉大学工学部電気電子システム工学科棟4階および、情報システム工学科棟4階で行った。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222基)と、位置特定専用で設置したAP(計5基)、通信用AP(1基)を加えた計228基であった。図3(b)に示すように、評価は領域端での片方向のみの誤差を低減するために中央30mの領域内の、計31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、スタンドを用いて端末を一定の高さに固定してAP探



索を行う。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 120 cm の高さに固定する。また、文献 [8] で述べられている人による遮蔽を考慮するため、西向きと東向きの二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。また、文献 [12] で述べられている AP への接続の有無を考慮して、どの AP にも接続していない状態で実験を行う。

3.2 節で行った事前実験と同様に実験環境内に PC を 3 台設置し、通信あり、もしくは通信なしの状況にする。また、3.1 節の事前実験の結果から、AP 探索の結果が安定している時間帯で位置特定実験を行う必要がある。そこで、実験は無線 LAN による通信利用者が少ないと考えられる 22 時から翌日の 6 時の間に行う。

データの取得回数について、専用 AP のある環境と専用 AP のない環境において、それぞれ通信あり・通信なしの状況で次のように AP 探索を行った。学習用データと評価用データともに、各参照点において 1 秒おきに 30 回の AP 探索を二方向分を行った後、データの偏りを低減するため 24 時間以上間隔をあげ、同様の観測をもう 1 度行った (計 60 回)。これを専用 AP がある環境とない環境、それぞれの環境において通信ありと通信なしの状況の 4 通りで AP 探索を行った。これによってそれぞれの条件で、学習用データは 1 参照点につき AP 探索 480 回分<sup>(注1)</sup>のデータを取得した。評価用データも 1 参照点につき AP 探索 480 回分のデータを取得した。取得したデータを用いてオフラインで評価を行った。

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。

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

(注1) : AP 探索回数 60 × 観測方向 2 × 使用端末数 4

表 2 図 4 の凡例の説明

凡例		位置特定 (評価) 時	
		通信あり	通信なし
学習時	通信あり	S(T)-E(T)	S(T)-E(N)
	通信なし	S(N)-E(T)	S(N)-E(N)

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位置特定距離誤差の平均  $\bar{e}_d$  の指標を次式として求める。

$$\bar{e}_d = \frac{1}{L \cdot M} \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^M |x_{ij} - X_j| \quad (2)$$

#### 4.2 DB のデータ量を増加させた場合の位置特定性能

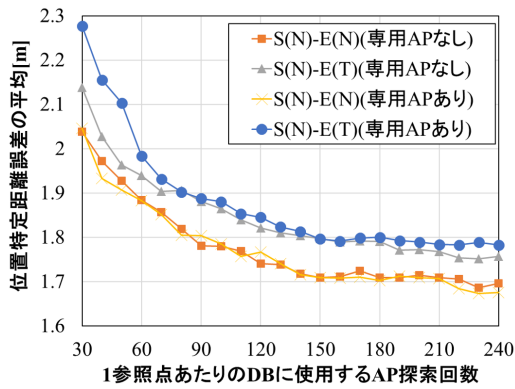
実験データから、DB のデータ量を増加させた場合の位置特定性能を評価するために、DB 内のデータ数を AP 探索 30 回分から AP 探索 240 回分まで 10 回分おきに観測時の方向が均等になるように増加させる。ここでは、同じデータ量の DB における位置特定性能のばらつきを排除した結果を得るため、乱数を用いて 30 種類の DB を生成し、平均をとったものを結果とした。評価データは通信ありの状況で取得したデータ、通信なしの状況で取得したデータそれぞれ 14880 回分<sup>(注2)</sup>で評価を行う。異なる乱数で生成した DB に対して同様の評価を 30 回行い平均を取ったものを結果とする。評価において、学習時 (Survey Phase) と評価時 (Estimate Phase) それぞれの場合で通信あり (T) と通信なし (N) の状況をそれぞれ比較する。例えば学習時は通信なしの状況、評価時は通信ありの状況の場合は S(N)-E(T) と表記する。

図 4 にそれぞれの状況で DB を構築したときの位置特定距離誤差の平均の値をプロットしたグラフを示す。また、図 4 中で用いている凡例の説明について表 2 に示す。結果から、まず DB に含まれるデータ量を増加させることで位置特定性能は高くなるのがわかる。このとき各データ量のときの結果について、学習時と評価時での状況が同じ場合は、学習時と評価時での状況が異なる場合より、位置特定距離誤差の平均が減少していることが示されている。この傾向は、専用 AP の有無に関わらず同様の結果が得られている。また、図 6(a) と図 6(b) の学習時と評価時の状況が同じものと、異なるものの比較から、通信なしの状況で作成した DB の方が学習時と評価時の通信の状況が異なっても、位置特定距離誤差の平均の差が小さいことが明らかになった。異なる状況に対しても位置特定誤差距離の平均の差が小さいことから、学習時は通信なしの状況で DB を構築すると位置特定性能が高くなる可能性が示されている。

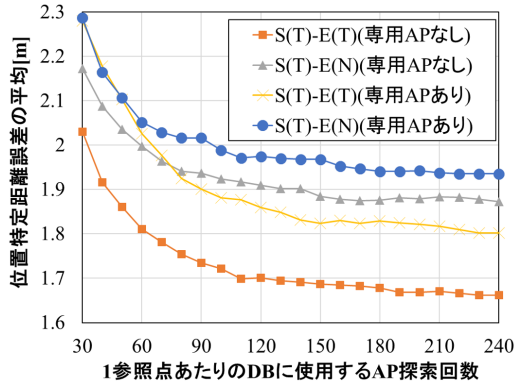
#### 4.3 DB の構成を変えたときの位置特定性能

実験データから、DB の構成を変えたときの位置特定性能を評価するために、観測時の方向が均等になるように DB 内のデータ量を AP 探索 240 回分に固定し、その中に含まれる通信ありの状況で観測した AP 探索結果の割合を変化させる。ここでは、同じ比率の DB における位置特定性能のばらつきを排除

(注2) : 1 参照点の AP 探索回数 480 × 評価点数 31

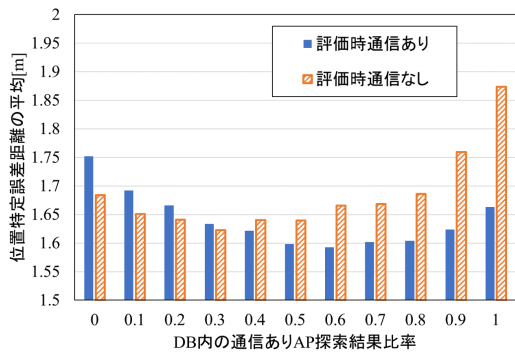


(a) DB を通信なしの状況で取得したデータのみで構築

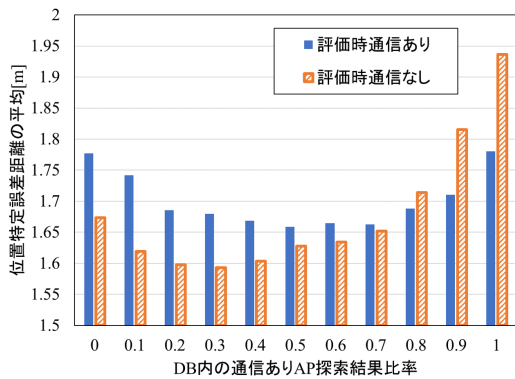


(b) DB を通信ありの状況で取得したデータのみで構築

図 4 それぞれの状況で DB を構築したときの位置特定性能



(a) 専用 AP なし



(b) 専用 AP あり

図 5 DB 内の通信あり AP 探索結果比率ごとの位置特定性能

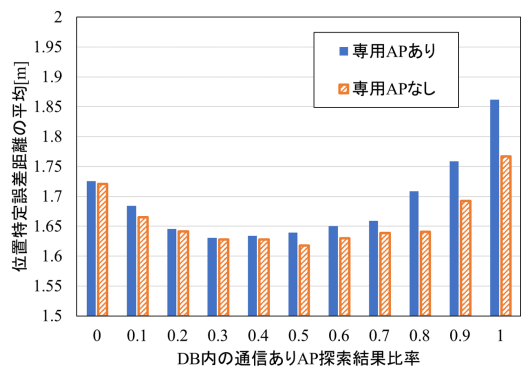


図 6 図 5 において通信あり・なしの評価データを用いて評価した場合

した結果を得るため、乱数を用いて 30 種類の DB を生成し、平均をとったものを結果とした。使用するデータは実験データから観測時の方向が均等になるようにランダムに取り出していく。例えば、表 2 の表記を用いて言えば S(N) の状態から S(T) の状態へと変化させる。評価データは通信ありの状況で取得した AP 探索結果、通信なしの状況で取得した AP 探索結果それぞれ 14880 回分それぞれで評価する。この二つの評価を図中では評価時通信あり、評価時通信なしと呼称している。異なる乱数で生成した DB に対して同様の評価を 30 回行い平均を取ったものを結果とする。

図 5 に DB 内の通信あり AP 探索結果比率ごとの位置特定距離誤差の平均を算出した専用 AP あり・なしの環境それぞれの結果を示す。DB を構成するデータの比率を変化すると位置特定性能が変化する。評価時通信ありの位置特定誤差距離の平均に注目し、DB 内の通信ありの状況における AP 探索結果比率を増加させると、単調減少するのではなく比率 0.6~0.7 で極小値をとり、そこから増加することがわかった。これは、環境内に専用 AP の有無に関わらず、また、評価時通信なしの場合も単調増加するのではなく比率 0.3 で極小値をとり、そこから増加していく結果が得られた。

次に、図 6 に図 5 で評価時通信ありと、評価時通信なしそれぞれ二つの状況で分けていた評価を、ともに行ったときの位置特定距離誤差の平均を示す。この図では、通信あり・なしのそれぞれの状況で取得した評価データを用いて、異なる環境における位置特定誤差距離の平均の傾向をみている。まず、比率 0 と 1 を比べると、通信なしの状況の方が評価時の状況によらず、位置特定誤差距離の平均が減少する。また、DB 内の通信ありの比率を変えた場合、0.3~0.5 で位置特定誤差距離の平均が極小値をとった。

#### 4.4 考 察

図 5,6 の結果に関する DB の位置特定性能に影響を与える項目に基づく検討を行う。文献 [7] の Scene Analysis の手法を実装した位置特定システムにおける、DB の位置特定性能に影響を与える項目として以下の 3 点に注目し考察を行った。

- データ数
- BSSID 観測数
- RSSI 出現数

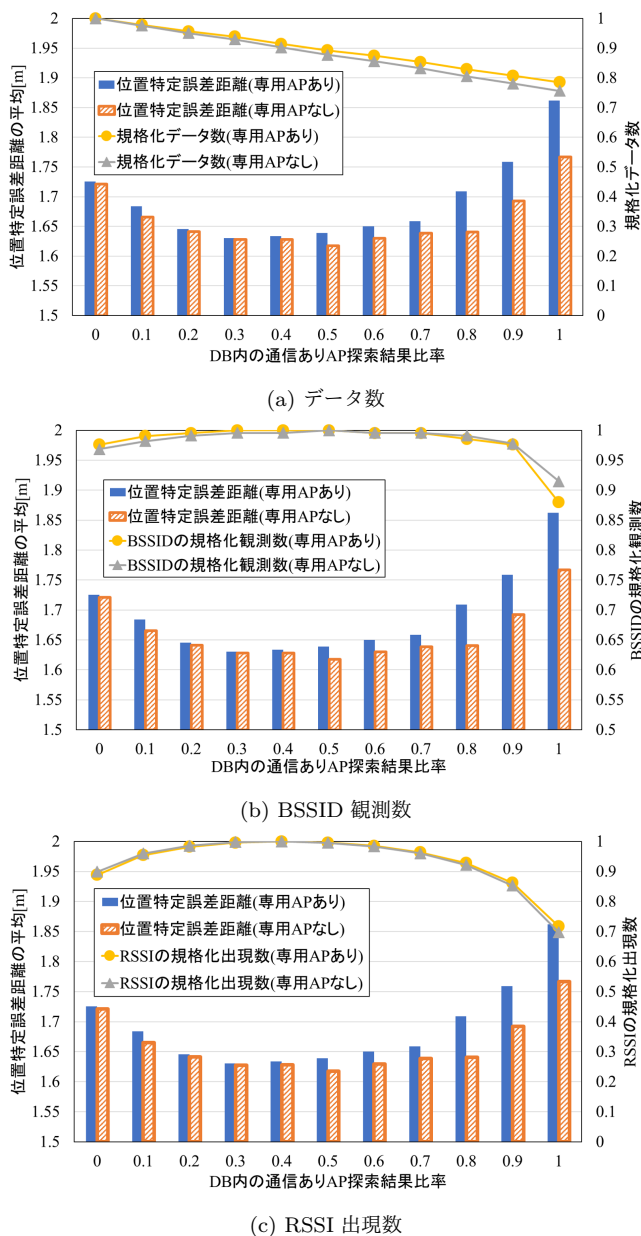


図7 DBの位置特定性能に影響を与える3点の検討

データ数は、AP探索で観測したBSSIDとRSSIの組の数を表す。BSSID観測数は、AP探索で観測したAPの種類を表す。RSSI出現数は、AP探索で観測したAPごとに何種類のRSSIを観測したのかを表している。図6の各結果において、DB内のデータ数・BSSID観測数・RSSI出現数の最大値を用いて規格化したものを図6に重畳して比較を行う。重畳した結果を図7に示す。結果に極小値が生じる現象は、RSSI出現数とBSSID観測数より説明できる。また、通信ありのデータが100%のときの専用APありと専用APなしの、位置特定距離誤差の平均の差は、BSSID観測数より説明できると考えられる。規格化データ数は通信ありAP探索結果比率の増加に比例して減少しており、これは事前実験での通信がAP探索に与える影響と同じく、通信によってAP探索で観測できるAP数が減少していることを表している。これらより、異なる状況でのAP探索結果を加えることによって、データ数は少なくなるがRSSI出現数とBSSID観測数は多くなり位置特定性能に優位に

働くと考えられる。

以上のことから、DBを構築する際は通信なしのみのデータ、通信ありのみのデータだけではなく、数割異なる環境におけるAP探索結果を含ませることで位置特定距離は更に小さくなるのが期待できる。

## 5. むすび

本稿では、無線LAN位置特定システムにおいて、周辺端末の通信が自端末の位置特定性能に与える影響について実験により性能評価を行った。事前実験では、時間帯によってAP探索で観測できるAPの数が異なること、周辺端末の通信が自端末のAP探索に影響を与えることを示した。位置特定実験では、周辺端末の通信が無線LAN位置特定システムに及ぼす影響を示した。DBの構成を変えたときの位置特定性能を示し、位置特定性能の差は周辺端末の通信状況によってRSSI出現数とBSSID観測数が異なり、それらによって差が生じていることを明らかにした。周辺端末の通信環境の変化がある場合でもロバスタなDB構築方法の可能性を示した。これらから、無線LAN位置特定システムの性能向上に資する知見を得ている。過去では通信トラフィックがさほど多くなかったが、現代では状況が異なるため、それらに対応したシステムづくりが大切であると考えられる。今後は、通信と専用APの関係を調査するために、広い環境や異なる環境での調査。また、これらの結果を考慮した改善手法の検討、データベース更新手法の検討などが考えられる。

## 文献

- [1] A. Kupper "Location-based Services" Wiley 2005.
- [2] 児島 伴幸, et al., "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] 厚生労働省, "情報通信白書", 2017
- [4] 早川 愛, et al., "無線LAN-APにおけるTCP ACKパケット蓄積回避のための協調的輻輳制御手法の提案と実装," DEIM, C2-2, Mar. 2015.
- [5] 熊谷 菜津美, et al., "無線LANアクセスポイントのチャンネル内競合とチャンネル間干渉を同時に考慮したチャンネル割当手法," 信学技報, CQ2012-68, pp.59-64, Nov. 2012.
- [6] 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, Jan. 2005.
- [7] 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イズ推定による無線LANハイブリッド位置推定手法とその応用," 電学論 (C), Vol.126, No.10, pp.1212-1220, Oct. 2006.
- [8] T. Manabe, T. Hasegawa, "A Design Methodology for Positioning Sub-Platform on Smartphone Based LBS," IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E99-A, No.1, pp.297-309, Jan. 2016.
- [9] J.Krumm and K.Hinckley, "The NearMe Wireless Proximity Server," Proc. 6th Int. Conf. on UbiComp2004, pp.283-300, 2004.
- [10] L. Anthony, et al. "Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild," Proc. 3rd Int. Conf. on Pervasive Comput.(Pervasive' 05), pp.301-306, May 2005.
- [11] Binghao Li, et al., "Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN," Proc. 1stIEEE Int. Conf. on Wireless Broadband and Ultra Wideband Commun., pp.13-16, Mar. 2006.
- [12] 宮林 竜也, 間邊 哲也, "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," 信学技報, ITS2016-72, pp.393-398, Feb. 2017.