

無線 LAN 位置特定システムの通信を考慮した位置特定性能評価

宮林 竜也<sup>†a)</sup> 間邊 哲也<sup>†b)</sup>

Positioning Performance Evaluation Considering the Influence of Communication State on Wireless LAN Positioning System

Ryuya MIYABAYASHI<sup>†a)</sup> and Tetsuya MANABE<sup>†b)</sup>

あらまし 本論文では、無線 LAN 位置特定システムにおいて通信を考慮した位置特定性能評価を行っている。まず、アクセスポイント (AP) への接続の有無が自端末の位置特定性能に与える影響について、AP への接続状況を変えて収集したデータを用いて位置特定性能評価を行い、未接続時における位置特定性能が高いことを示している。次に、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、周辺端末の通信状況を変えて収集したデータを用いて位置特定性能評価を行い、学習時に通信なしでデータベース (DB) を構築することで、評価時の通信の有無による位置特定性能劣化の影響を小さくすることができることを示している。また、通信状況の異なるデータを DB に 0.3~0.7 程度含ませることで、位置特定性能が向上することを示している。以上のことから、無線 LAN 位置特定システムにおいて、AP への接続状況、周辺端末の通信状況を考慮した DB 構築や位置特定性能評価の必要性を明らかにしている。

キーワード 無線 LAN 位置特定システム, Scene Analysis, 位置特定性能評価

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 (Location-Based Services; LBS) が広まっている (例えば [1])。LBS において質の高いサービスを実現するためにはあらゆる場所で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 は、衛星からの直接波が受信できるオープンスカイの環境であれば正確かつ高精度な位置特定が可能だが、高層ビル街の建物付近、屋内や地下などでは、誤差が生じる、または、位置特定が行えないことが知られている。無線 LAN による位置特定システムでは、アクセスポイント (Access Point; AP) の固有 ID や電波強度などにより位置特定を行う (例えば [2])。無線 LAN の機能はスマートフォンに標準搭

載されている。また、無線 LAN の AP が設置されている環境も増加している [3]。AP が設置される目的は、セルラー回線のトラフィック負荷分散、公共サービス、店舗等におけるサービス付加価値向上などがある。その結果、無線 LAN 位置特定システムの利用できる環境が増え、特に GPS が不得手とする屋内や地下、建物付近などにおいて、GPS の代替手法、または、補完手法として広く利用されている。

無線 LAN 位置特定システムは、前述のように電波強度を主に利用することから、電波の受信環境や受信状況の変化が位置特定に影響を与える。具体的には、什器などのレイアウト変更、人による遮蔽 (例えば [4])、端末ごとの特性 (例えば [5]) などがある。また、無線 LAN の AP は本来、通信を目的として設置されているが、多数の端末が AP を介して通信を行うと通信品質が低下することが知られている (例えば [6])。そのため、無線 LAN 位置特定システムの実環境での性能評価において、自端末及び周辺端末の通信状況を考慮する必要があるが、無線 LAN における通信状況やその変化が無線 LAN 位置特定システムの位置特定性能に与える影響に関する評価はほとんど行われていない。そこで本論文では、無線 LAN の通信が実際に利用さ

<sup>†</sup> 埼玉大学大学院理工学研究科, さいたま市  
Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, 338-8570 Japan

a) E-mail: ryuya@mnb.ees.saitama-u.ac.jp  
b) E-mail: manabe@mnb.ees.saitama-u.ac.jp

表 1 従来研究における位置特定実験に関する記載事項  
Table 1 Experimental conditions on conventional research.

文献番号	参照点配置	環境内で観測できた AP 数	実験環境 実験用に配置した AP の位置	周辺端末の通信の有無	実験データ 取得したデータ数	観測方法 使用デバイス	AP への接続の有無	その他 実験時刻
[2]	●	▲	●		▲	●		
[8]					▲			
[9]	●		●					
[10]	●	●	●		●	●		
[11]	●	●	●		●	●		
[12]	●	●	●		●	●		▲
[13]	●							
[14]	●				●	●		●
[15]	▲	▲			●	●		
[16]	●		●		▲	▲		
[17]					▲	●		
[18]					●			
[19]		●						
[20]	●				▲			
[21]	●	●						
本論文	●	●	●	●	●	●	●	●

●：論文中に明確な記載がある，▲：論文中に一部記載がある

れる環境を考慮して、無線 LAN への接続が位置特定性能に与える影響と周辺端末による通信が自端末の位置特定性能に与える影響について評価を行う。

以降の構成は、2. で無線 LAN 位置特定システムと従来の性能評価方法についてまとめ、3. では無線 LAN への接続が位置特定性能に与える影響について評価を行う。4. では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評価を行い、5. において本論文のまとめを述べる。

## 2. 無線 LAN 位置特定システムと従来の性能評価方法

### 2.1 無線 LAN 位置特定システムのアルゴリズム

無線 LAN 位置特定システムで利用される位置特定アルゴリズムは、Proximity, Lateration, Scene Analysis の三つに大別することができる。Proximity (例えば [7]) では、AP の固有 ID と位置を紐付けてデータベース (Database; DB) にあらかじめ保持しておき、位置特定時は観測した受信信号強度 (Received Signal Strength Indicator; RSSI) をもとに、どの AP の周辺にいるか算出する。Lateration (例えば [8]) では、AP が設置されている位置を DB にあらかじめ保持しておき、位置特定時は観測した各 AP からの RSSI などをもとに各 AP までの距離を割り出した後、三辺測量の原理で位置を算出する。Scene Analysis (例えば [2]) では、位置特定を行う領域中の複数の地点において、観測できる各 AP からの情報を紐付けて DB とする。位置特定時は観測した AP からの情報と DB を比較することで位置を算出する。使用する AP からの情報としては、RSSI が一般的である。また、この Scene

Analysis は、前述の Proximity や Lateration と異なり、AP の設置位置を DB として保持しておく必要がない。文献 [9] では、Lateration と Scene Analysis の位置特定性能の比較を行い、屋内の環境において Scene Analysis の方が位置特定性能が高いことが示されている。本論文では、市販のスマートフォンなどでも広く利用されている Scene Analysis を位置特定手法に用いる。

### 2.2 無線 LAN 位置特定システムにおける従来の性能評価

本節では、無線 LAN 位置特定システムに関する従来研究 [2], [8]~[21] の実験などで考慮されている事項についてまとめる。ここでは、実験環境に関する項目、実験データに関する項目、観測方法に関する項目の三つの観点について、各文献中での記載事項を整理した。結果を表 1 に示す。本来、無線 LAN は通信が目的であるため、自端末における AP への接続状況、周辺端末の通信状況は、ユーザや端末の設定、環境などにより異なるが、それらが無線 LAN 位置特定システムの位置特定性能に与える影響は明らかになっておらず、それを明示的に示した研究もほとんど存在しない。そこで本論文では、無線 LAN 位置特定システムにおいて通信を考慮した位置特定性能評価を行う。なお、本論文において想定する環境は、ナビゲーションシステムなどの LBS が必要とされる場所 (例えばショッピングモールなど) である。

## 3. AP への接続の有無が位置特定性能に与える影響 [22]

無線 LAN のフリースポットやモバイルルータの普

及により、スマートフォンを AP に接続する機会が増えている。無線 LAN の機能を On にしているユーザ端末は、AP に未接続の場合は AP の探索を積極的に行うのに対して、AP に接続している場合は、接続先の AP との通信が中心となるため、AP の探索回数は少なくなる [23]。本節では、AP への接続の有無が、無線 LAN 位置特定システムで使用する AP の探索結果に与える影響を調査した上で、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評価を行う。

### 3.1 事前実験

AP への接続の有無が AP 探索結果に与える影響を評価する。本論文では、AP を介して常にネットワークに接続するとともに、AP の探索を行っている状態を「接続」、ネットワークに接続せず、AP の探索のみを行っている状態を「未接続」と定義する。実験は、埼玉大学工学部電気電子システム工学科棟及び情報システム工学科棟の 4 階で行った。実験環境を図 1 に示す。本実験において「接続」の状態を作るための AP (以下、接続用 AP) として 2 基 (I-O DATA 製 WHG-AC1750AL, BUFFALO 製 WZR-600DHP2) 選択した。この 2 基はいずれもビームフォーミングには対応していない。なお、この実験環境内において観測された AP は、接続用 AP (2 基) を含み計 196 基であった。

データの取得方法について、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 2 に示す。前述したように無線 LAN 位置特定システムには様々な性能劣化要因が存在する。例えば端末をセルラー回線に接続した場合、無線 LAN の通信状況や CPU などのリソースの利用状況に影響を及ぼす可能性がある。本実験では無線 LAN の AP への接続の有無が位置特定性能に与える影響を明らかにするため、これらの端末には SIM カードを挿入せず、セルラー回線に接続していない状態としている。データ取得時の端末位置の揺らぎを軽減するために、三脚を用いて一定の高さに固定する。端末を固定する高さは床面から 120cm とした。これは人が端末を手にもって操作しているときを想定している。データ収集は、人がスマートフォンの画面から約 50cm 離れた位置に立ち、静止した状態で行った。本実験では AP への接続の有無を比較するため、同一端末 2 台を三脚に固定し、片方が接続用 AP に接続した状態、一方が未接続の状態で行った。なお、筆者らが事前に行った調査において、端末を手でもった場合と三脚に固定した場合で測定データに違いが生じないことを確認している。

無線 LAN 位置特定システムを実環境で利用する場合、事前に収集したデータで DB を構築し、その後、DB 内のデータとは異なる時間に収集したデータで位置特定を行うことから、本実験においても学習用データと評価用データは時間を置いてデータを収集することとした。具体的には、学習用データは各参照点において 1 秒おきに 1 回、計 60 回観測を行う。評価用データは学習用データから 1 時間以上時間を置いた後、各参照点において 1 秒おきに 1 回、計 30 回観測を行う。そして、そこから更に 40 分以上時間を置いた後、再度 30 回の観測を行い、計 60 回分の評価用データを収集した。評価指標として、1 回の観測で取得できた AP 数の平均 (以下、平均 AP 観測数) と標準偏差を用いる。

表 3 に平均 AP 観測数と標準偏差を示す。学習用データ・評価用データとともに、未接続時の方が多くの

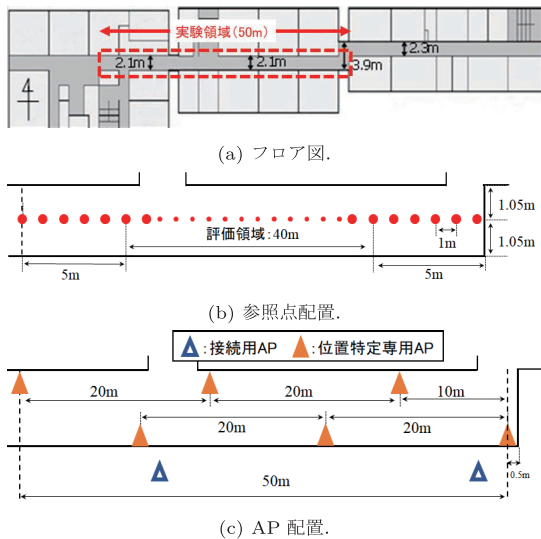


図 1 実験環境

Fig. 1 Experiment environment.

表 2 3. における実験使用端末

Table 2 Devices used in experiment of Section 3.

メーカー	モデル	型番	数
SONY	Xperia Z	C6603	2
LG Electronics	Nexus 5	LG-D821	2
Samsung	Galaxy Nexus	GT-I9250	2
SHARP	AQUOS PHONE ZETA	SH-02E	2

表 3 平均 AP 観測数と標準偏差  
Table 3 Average and S.D. of number of observed AP.

(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	17.74	3.77	接続	17.31	4.72
未接続	22.98	6.61	未接続	21.66	5.25

AP を観測できることを確認した。なお、文献 [25] では実環境において同時に観測された AP 数が示されており、大学 (香港科技大学) が平均 24 基、ショッピングモール (香港サイバーポート) が平均 28 基であった。本実験環境での平均 AP 観測数は文献 [25] の大学やショッピングモールと同程度であり、ナビゲーションシステムなどの LBS が必要とされる場所の一つであるショッピングモールに近い環境での実験であったと言える。次節では AP への接続の有無が位置特定性能に与える影響の評価を行う。

### 3.2 AP への接続の有無による位置特定性能の評価

3.1 で取得したデータを使用して位置特定性能の評価を行う。位置特定アルゴリズムには、Scene Analysis を用いる。評価指標には、誤差の平均  $\bar{e}$ 、誤差の標準偏差  $\sigma$ 、距離誤差の平均  $\bar{e}_d$  を用いる。ここで、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  $\bar{x}_j$  は、全ての地点において  $M$  回測定しているため次式で表される。

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

ある地点  $j$  における評価データを取得した位置 (真値) を  $X_j$  としたとき、評価地点数  $L$  の評価領域全体に対する誤差の平均  $\bar{e}$ 、誤差の標準偏差  $\sigma$ 、距離誤差の平均  $\bar{e}_d$  を以下の式から求める。

$$\bar{e} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L (\bar{x}_j - X_j) \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{L \cdot M} \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^M (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (3)$$

$$\bar{e}_d = \frac{1}{L \cdot M} \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^M |x_{ij} - X_j| \quad (4)$$

なお、接続用 AP (2 基) は一般 AP として計上している。文献 [11] では、位置特定専用の AP (専用 AP)

表 4 接続と未接続による位置特定性能の比較  
Table 4 Evaluation results on connection and non-connection.

(a) $\bar{e}[m]$ (専用 AP あり)				(b) $\bar{e}[m]$ (専用 AP なし)			
評価用 \ 学習用	接続	未接続		評価用 \ 学習用	接続	未接続	
接続	-0.11	0.11		接続	-0.18	0.10	
未接続	-0.10	-0.19		未接続	-0.13	-0.18	
(c) $\sigma[m]$ (専用 AP あり)				(d) $\sigma[m]$ (専用 AP なし)			
評価用 \ 学習用	接続	未接続		評価用 \ 学習用	接続	未接続	
接続	2.91	2.84		接続	3.17	3.04	
未接続	2.73	2.38		未接続	2.85	2.64	
(e) $\bar{e}_d[m]$ (専用 AP あり)				(f) $\bar{e}_d[m]$ (専用 AP なし)			
評価用 \ 学習用	接続	未接続		評価用 \ 学習用	接続	未接続	
接続	1.88	1.76		接続	2.03	1.93	
未接続	1.75	1.53		未接続	1.92	1.73	

を設置することで、通常の用途で設置されている AP (一般 AP) のみの場合よりも位置特定性能が向上すると示されていることから、本評価では一般 AP (190 基) のみの場合と専用 AP (BUFFALO 製 WHR-300 (ビームフォーミング非対応) 6 基) を含む計 196 基の場合のそれぞれで評価を行った。なお、接続用 AP (3.1 で用いた 2 基) は一般 AP として計上している。評価用データは接続・未接続でいずれも 4920 回<sup>(注1)</sup>の AP 探索結果を用いた。

学習用と評価用それぞれのデータ取得時における、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の評価結果を表 4 に示す。これらの結果について検定を行ったところ、 $\sigma$  及び  $\bar{e}_d$  において有意水準 0.5% で有意な差が認められた。つまり、学習用・評価用ともに未接続の状態データ取得を行った方が位置特定性能が高いことが分かった。この理由として、3.1 の結果から、未接続時は平均 AP 観測数が多いため、位置特定により多くの情報が利用できる、つまり、各参照点の特徴 (位置指紋) が明確になったからと考えられる。

このことを確認するために、AP 接続時の評価用データの数と位置特定性能の関係について考察を行った。具体的には、ここまでの実験では 1 秒間に得られたデータを用いて位置特定を行っていたが、ここでは  $t$  秒間のデータを用いて位置特定を行うことを考える。学習用データは AP 未接続時に収集した 6120 回<sup>(注2)</sup>を用いた。評価用データは前述の実験と同じも

(注1) : 評価点数  $41 \times$  観測方向  $2 \times$  データ取得回数 60.

(注2) : 学習地点数  $51 \times$  観測方向  $2 \times$  データ取得回数 60.



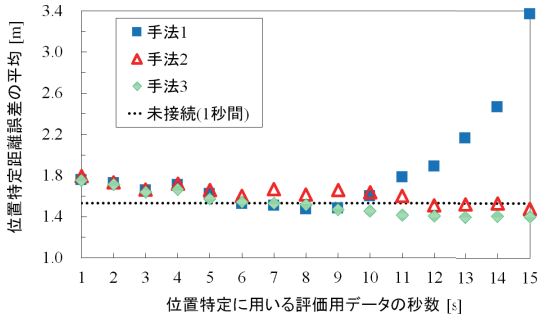


図 2 位置特定に用いる評価用データの秒数に対する位置特定距離誤差の平均

Fig. 2 Number of data for evaluation vs. average distance error.

ので、AP 接続時に収集した 4920 回分である。ここでは、評価用データをまとめる方法として以下の三つの方法を考えた。

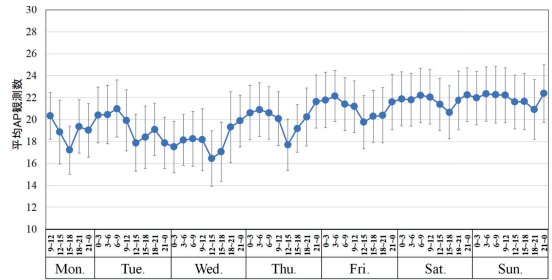
- 手法 1:  $t$  秒間のデータをそのまま位置特定に利用する。
- 手法 2:  $t$  秒間のデータから各 AP の RSSI の平均を算出して位置特定に利用する。
- 手法 3: 1 秒ごとに位置特定を行い、得られた位置座標の  $t$  秒間の平均値を位置特定結果とする。

位置特定に用いるデータの秒数  $t$  に対する  $\bar{e}_d$  の結果を図 2 に示す。いずれの手法においても  $t = 6$  程度で、AP 未接続時の 1 秒間の位置特定距離誤差の平均と同程度になることが分かった。このことから、位置特定に用いる評価用データをまとめることで、位置特定に使える情報が増え、その結果位置特定性能が向上することを確認した。

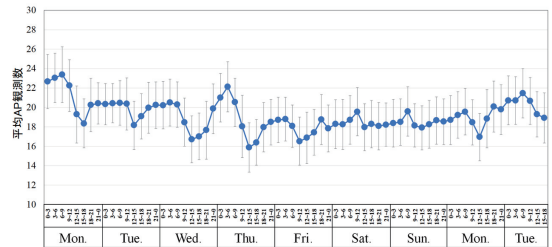
3.1 及び 3.2 から、未接続時は平均 AP 観測数が多いため、各参照点の特徴 (位置指紋) を表す情報も多くなり、その結果として位置の識別が容易になった (位置特定性能が向上した) と言える。AP 接続時に AP 探索回数が少なくなるのは無線 LAN を用いた全端末に共通していることから環境や端末が変わっても同じことが言える。

#### 4. 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 [24]

人が多く集まる環境ではセルラー回線のトラフィック負荷分散を目的とした AP が設置されている。スマートフォン以外にも PC をはじめとして無線 LAN 経由で通信する端末が様々存在する。文献 [6] では、多数



(a) 2017/10/23(月)～2017/10/29(日)



(b) 2017/10/30(月)～2017/11/7(火)

図 3 曜日・時間帯による平均 AP 観測数の時間変化  
Fig. 3 Time variation of number of observed AP by date and time range.

の端末が AP を介して通信を行うことで通信品質が低下することが報告されている。本節では、無線 LAN 位置特定システムにおいて、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評価を行う。まず、事前実験として、曜日や時間帯、及び、周辺端末の通信状況が自端末における AP 探索結果に与える影響について調査を行う。次に、周辺端末の通信状況が無線 LAN 位置特定システムにおける位置特定性能に与える影響について評価を行う。

#### 4.1 事前実験

##### 4.1.1 曜日・時間帯が自端末の AP 探索結果に与える影響

研究室内のデスク上にスマートフォンを固定した状態で、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 Electronics の Nexus 5X (LG-H791) である。文献 [6] において多数の端末が通信を行うことで通信品質が劣化することが報告されていることから本実験で用いる端末数は 1 台とした。取得した AP 探索データに対して平均 AP 観測数 (時間窓 3 時間、オーバーラップなし) と標準偏差を算出した。

図 3 に実験結果を示す。図中のプロットは平均 AP 観測数、エラーバーは標準偏差を表している。これら

の結果から、曜日・時間帯によって平均 AP 観測数が変化し、特に人の活動が活発な平日日中の平均 AP 観測数が少ない。また、土曜日と日曜日は時間帯による平均 AP 観測数の変化が少ない。観測された AP には、研究室などには設置されている AP のように常時観測できるものの他、ある時間帯 (例えば平日日中) しか観測できないモバイルルータなどの存在も確認できた。以上のことから、曜日・時間帯によって無線 LAN の通信状況が異なるため、AP 探索結果にも影響が生じている。そのため、無線 LAN 位置特定システムの位置特定性能評価においても、無線 LAN を使用する通信機器をもった人の活動による影響を考慮する必要があると言える。

#### 4.1.2 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

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に、4.1.1 と同様、研究室内のデスク上にスマートフォンを固定した状態で、2017/12/2 (土) から 2017/12/6 (水) の連続 88 時間、1 秒おきに AP 探索を行った。実験に使用したスマートフォンは 4.1.1 と同じ Nexus 5X である。端末数は 4.1.1 と同じ理由から 1 台とした。無線 LAN による通信を行うための AP (以下、通信用 AP) を 1 基 (BUFFALO 製 WHR-300 (ビームフォーミング非対応)) 設置し、通信チャンネルは実験環境内で干渉が最も少なくなるものを選択した。通信トラフィック発生させるための PC を 3 台、スマートフォンとは異なるデスクに固定し、通信用 AP に接続した。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た。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。本実験において、PC で FTP 通信が行われている状況を「通信あり」、PC で FTP 通信が行われていない状況を「通信なし」と定義する。なお、通信なしの状況においても通信用 AP は稼働させたままとした。本実験では、1 時間おきに通信ありと通信なしの状況を繰り返した。1 秒おきに取得した AP 探索データに対して平均 AP 観測数 (時間窓 1 時間、オーバーラップなし) と標準偏差を算出した。

実験結果を図 4 に示す。平均 AP 観測数は、いずれの時間帯においても「通信なし」に対して「通信あり」の方が 10 基程度少ないことが分かる。無線 LAN で用いられている CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) の基本原理から、「通信あり」ではデータ通信中の AP と同じチャンネルを使う

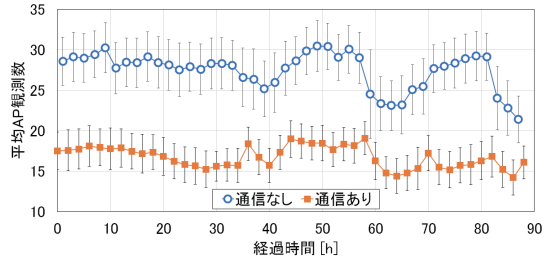


図 4 通信の有無による平均 AP 観測数の時間変化  
Fig. 4 Time variation of number of observed AP by communication state.

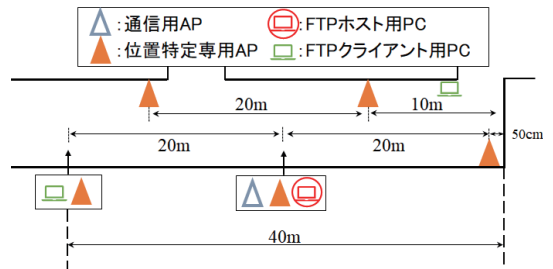


図 5 4.2 における実験機器配置  
Fig. 5 Arrangement of experiment equipments on Section 4.2.

他の AP がパケットを送信することができないため、端末で観測される AP 数が減少している。つまり、通信の有無による平均 AP 観測数の変化は CSMA/CA の基本原理に依るため、本実験で用いた Nexus 5X 以外の端末でも同様に「通信あり」では平均 AP 観測数が減少すると考えられ、周辺端末の通信状況が自端末の AP 探索結果に影響を及ぼしていると言える。

#### 4.2 周辺端末の通信状況による位置特定性能の評価

4.1 の結果を踏まえて、周辺端末の通信状況が無線 LAN 位置特定システムにおける位置特定性能に与える影響について評価を行う。実験場所は 3. と同じである。実験機器は図 5 のように配置した。FTP 通信用 PC は 4.1.2 と同様である。データ取得は実験環境内の参照点 (計 41 点) で行った。評価については、実験領域端での片方向のみへの誤差の影響を低減するため、領域内の中央 30m 区間の評価点 (計 31 点) で行った。位置特定に用いる AP は、一般 AP (222 基)、位置特定専用 AP (5 基)、通信用 AP (1 基) の計 228 基である。位置特定専用 AP と通信用 AP には BUFFALO 製 WHR-300 (ビームフォーミング非対応) を用いた。データ取得に用いる端末は表 5 のとおりである。これ

表 5 4.2 における実験使用端末  
Table 5 Devices used in experiment of Section 4.2.

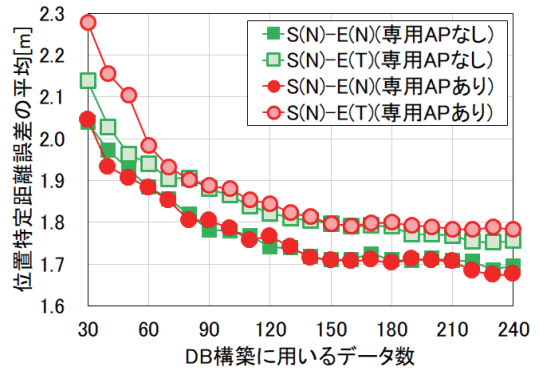
メーカー	モデル	型番	数
SONY	Xperia Z	C6603	1
LG Electronics	Nexus 5X	LG-H791	1
HTC	Desire 626	D626	1
ASUS	ZenFone Selfie	ZD551KL	1

らの端末は 3. と同様の理由から SIM カードを挿入せず、セルラー回線に接続していない。また、3. で述べた AP への接続の有無による位置特定性能への影響を考慮して、未接続の状態で行った。4.1.1 の結果から、平均 AP 観測数が比較的安定している 22 時から翌 6 時に実験を行った。

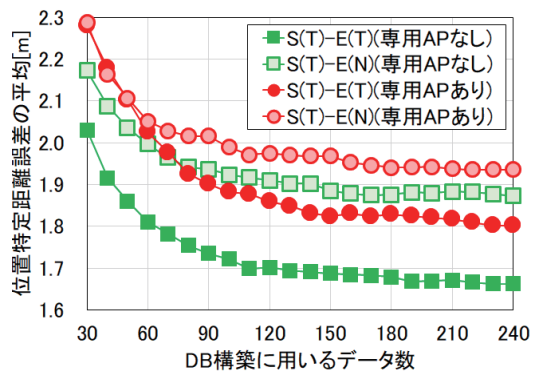
データ取得は、学習時における通信の有無、評価時における通信の有無、専用 AP の有無の計 8 パターンで行った。学習用データ・評価用データともに、各参照点において 1 秒おきに 30 回の AP 探索を 2 方向(西向き, 東向き)で行った後、データの偏りを低減するため 24 時間以上あけた後、再度 30 回の観測を行った(計 60 回)。つまり、学習用データ・評価用データともに、1 参照点につき AP 探索 480 回分<sup>(注3)</sup>である。評価指標として式 (4) の  $\bar{e}_d$  を用いる。

DB 構築に用いるデータ数を変化させたときの位置特定性能を評価するため、DB 内のデータ数を AP 探索 30 回分から 240 回分まで 10 回ずつ増加させた。DB 構築に用いるデータによる位置特定性能の偏りを排除するため、ここでは乱数を用いて 30 種類の DB を生成し、それらの平均を取ったものを実験結果とした。評価用データは、通信ありの状況で取得したデータと、通信なしの状況で取得したデータ、それぞれ 14880 回分<sup>(注4)</sup>を用いた。

DB 構築に用いるデータ数の変化に対する位置特定距離誤差の平均の変化を図 6 に示す。ここで、学習用データにおける通信の有無、評価用データにおける通信の有無の組み合わせの違いによる位置特定性能を比較するため、凡例として、学習時通信なし、評価時通信ありとして、S(N)-E(T) と表記している。これらの結果から、DB に含まれるデータ数を増加させることで位置特定性能は高くなること分かる。また、学習時と評価時で通信状況が同じ場合は、学習時と評価時で通信状況が異なる場合よりも位置特定距離誤差の平均が小さいことも読み取れる。これらの傾向は、専



(a) 学習時通信なし



(b) 学習時通信あり

図 6 通信の有無・DB 内のデータ数の違いによる位置特定性能の変化

Fig. 6 Positioning performance comparison on communication and number of data.

用 AP の有無に依らないことも分かる。更に、学習時通信ありで構築した DB では、評価時の通信の有無により性能が大きく異なるのに対して、学習時通信なしで構築した DB では、その差が小さいことも分かる。以上のことから、学習時に通信なしで DB を構築することで、Scene Analysis の Survey Phase で作成する DB (事前確率の分布) に様々な AP や RSSI が含まれることになるため、評価時の通信の有無による位置特定性能劣化の影響を小さくすることができると言える。通信あり/通信なしで観測できる AP や RSSI が変わることは無線 LAN の仕組みに依るものであり、環境や端末が変わっても同様となる。

次に、DB 内の通信あり/なしのデータの割合を変化させたときの位置特定性能評価を行った。DB 内のデータ数を 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

(注3) : AP 探索回数 60 × 観測方向 2 × 使用端末数 4.

(注4) : 1 参照点の AP 探索回数 480 × 評価点数 31.

変化させた。先ほどの実験と同様、DB構築に用いるデータによる位置特定性能の偏りを排除するため、乱数を用いて30種類のDBを生成し、それらの平均を取ったものを実験結果とした。

DB内の通信ありのデータの割合を変化させたときの $\bar{e}_d$ を図7に示す。評価時の通信の有無、専用APの有無によらず、DB内の通信ありのデータの割合の変化に対して、 $\bar{e}_d$ は単調変化するのではなく、0.3~0.7付近で極小値を取った。これらの結果から、同じ通信状況のみでDBを構築するよりも、異なる通信状況を含んだDBを構築することで位置特定性能が向上すると言える。

図7の結果について考察を行う。本論文で用いているScene Analysisによる無線LAN位置特定システム[2]において、位置特定性能に影響を与える項目として、ここではデータ数、BSSID<sup>(注5)</sup>観測数、RSSI

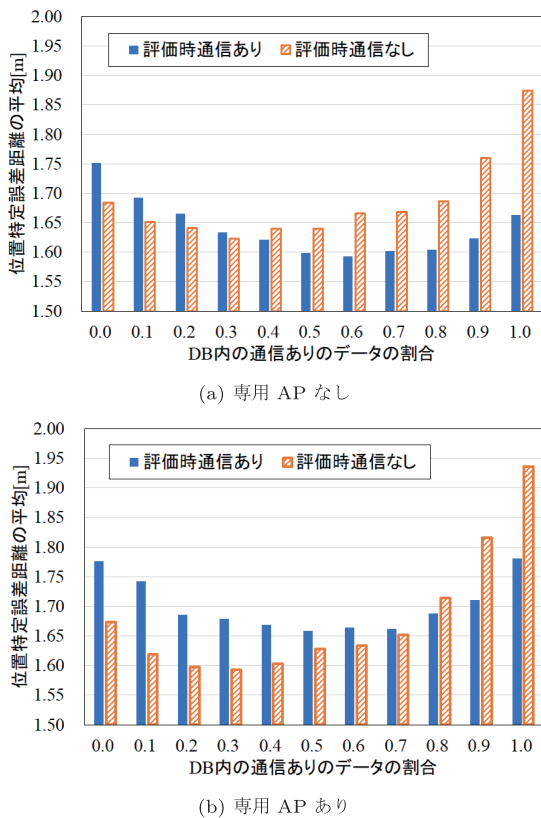


図7 DB内の通信ありのデータの割合を変化させたとき位置特定性能の変化

Fig. 7 Positioning performance comparison on communication data ratio.

(注5) : Basic Service Set Identifier.

出現数の3点に注目する。データ数はAP探索で観測したBSSIDとRSSIの組の数、BSSID観測数はAP探索で観測したBSSIDの数、RSSI出現数はAP探索で観測したAPのそれぞれで得られたRSSIの数をそれぞれ表している。図7の結果において評価時の通信状況を分けずに作成したグラフに、DB内のデータ数・BSSID観測数・RSSI出現数のそれぞれの最大値で規格化した規格化データ数・規格化BSSID観測数・規格化RSSI出現数を重畳した結果を図8に示す。規格化データ数については、DB内の通信ありのデー

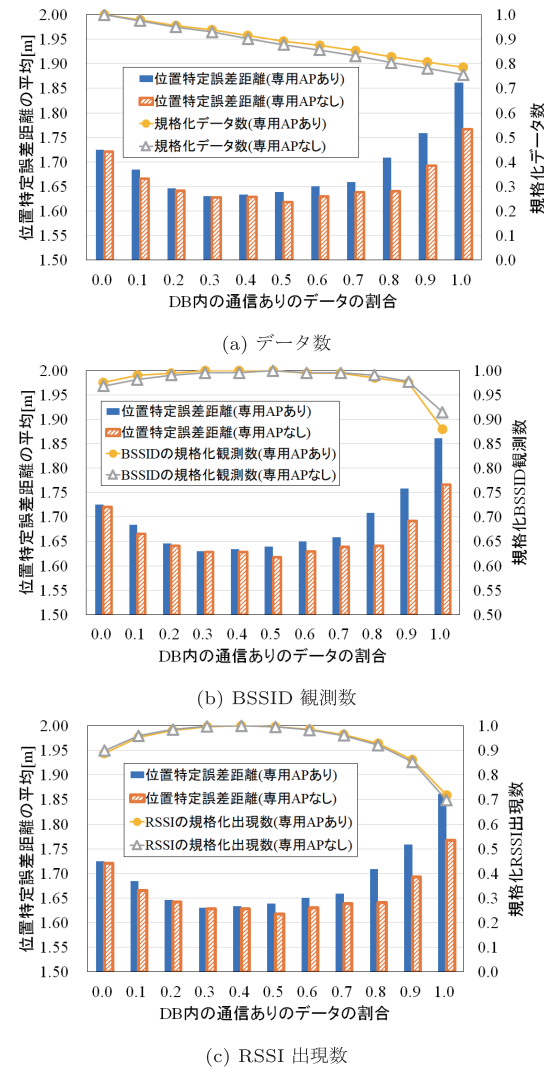


図8 DB内の通信ありのデータの割合を変化させたとき位置特定性能と3項目の関係

Fig. 8 Relationship between positioning performance and three items.



タの割合の増加によって単調に減少している。これは 4.1.2 で示したとおり、周辺端末の通信によって観測できる AP の数が減少しているためである。一方、規格化 BSSID 観測数と規格化 RSSI 出現数は 0.3~0.7 付近で極大値を取った。この極大値を取った範囲は  $e_d$  が極小値を取る範囲と一致している。つまり、通信状況の異なるデータを DB に含ませることで、データ数は少なくなるが、BSSID 観測数と RSSI 出現数が多くなるため、通信ありのみ、または、通信なしのみでは観測することができなかった AP や RSSI が観測されるようになり、位置特定において優位に働いていると言える。先に述べたとおり、通信あり/通信なしで観測できる AP や RSSI が変わることは無線 LAN の仕組みに依るものであるため、環境や端末には依らない結論である。

## 5. む す び

本論文では、無線 LAN 位置特定システムにおいて通信を考慮した位置特定性能評価を行った。まず、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評価を行った。事前実験では、学習用データ・評価用データともに、未接続時の方が多くの AP を観測できることを確認した。このことを踏まえて、屋内廊下において AP への接続状況の異なるスマートフォンで収集したデータを用いて位置特定性能評価を行った。その結果、未接続時における位置特定性能が高いことを示した。次に、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評価を行った。事前実験では、曜日・時間帯、及び、周辺端末の通信状況が自端末の AP 探索結果に影響を与えることを確認した。このことを踏まえて、屋内廊下において周辺端末の通信状況を変えて収集したデータを用いて位置特定性能評価を行った。その結果、学習時に通信なしで DB を構築することで、評価時の通信の有無による位置特定性能劣化の影響を小さくすることができることを示した。また、DB 内の通信ありのデータの割合を変化させたときの性能評価と考察から、通信状況の異なるデータを DB に 0.3~0.7 程度含ませることで、位置特定性能が向上することを示した。以上のことから、無線 LAN 位置特定システムにおいて、AP への接続状況、周辺端末の通信状況を考慮した DB 構築や位置特定性能評価の必要性を明らかにした。これらの結論は、無線 LAN 位置特定システムの構築や性能評価において、通信を考慮することの必要性を示唆している。

今後の課題として、空港や大型商業施設など広い環境での性能評価、無線 LAN 位置特定システムの通信を考慮した位置特定性能の改善手法や DB 構築手法の検討などが挙げられる。

## 文 献

- [1] A. Kupper, *Location-based Services*, Wiley, 2005.
- [2] 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 ハイブリッド位置推定手法とその応用,” 電学論 (C), vol.126, no.10, pp.1212–1220, 2006.
- [3] 総務省, “情報通信白書,” 2017.
- [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, 2006.
- [5] 小南貴基, 相河 聡, “Finger Print による位置推定における無線 LAN 端末个体差の校正法,” 信学論 (B), vol.J99-B, no.2, pp.53–59, Feb. 2016.
- [6] 早川 愛, 山口実靖, 小口正人, “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,” データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, no.C2-2, 2015.
- [7] J. Krumm and K. Hinckley, “The NearMe wireless proximity server,” Proc. 6th Int’l Conf. Ubiquitous Comput., pp.283–300, Nottingham, UK, 2004.
- [8] 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’l Conf. Pervasive Comput., pp.301–306, Munich, Germany, 2005.
- [9] B. Li, J. Salter, A.G. Dempster, and C. Rizos, “Indoor positioning techniques based on wireless LAN,” Proc. 1st IEEE Int’l Conf. Wireless Broadband & Ultra Wideband Commun., pp.13–16, Sydney, Australia, 2006.
- [10] 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, 2013.
- [11] 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, 2013.
- [12] 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, 2014.
- [13] J. Tang, Y. Chen, L. Chen, J. Liu, J. Hyyppä, A. Kukko, H. Kaartinen, H. Hyyppä, and R. Chen, “Fast fingerprint database maintenance for indoor positioning based on UGV SLAM,” Sensors, vol.15, no.3, pp.5311–5330, 2015.
- [14] L. Chen, B. Li, K. Zhao, C. Rizos, and Z. Zheng, “An improved algorithm to generate a Wi-Fi fingerprint database for indoor positioning,” Sensors, vol.13, no.8, pp.11085–11096, 2013.

- [15] Y. Huang, L.-T. Hsu, Y. Gu, H. Wang, and S. Kamijo, "Database Calibration for Outdoor Wi-Fi Positioning System," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E99-A, no.9, pp.1683-1690, Sept. 2016.
- [16] C. Luo, L. Cheng, M.C. Chan, Y. Gu, J. Li, and Z. Ming, "Pallas: Self-bootstrapping fine-grained passive indoor localization using WiFi monitors," IEEE Trans. Mobile Comput., vol.16, no.2, pp.466-481, 2017.
- [17] S.H. Jung, B.-C. Moon, and D. Han, "Performance evaluation of radio map construction methods for Wi-Fi positioning systems," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol.18, no.4, pp.880-889, 2017.
- [18] L. Kanaris, A. Kokkinis, G. Fortino, A. Liotta, and S. Stavrouc, "Sample size determination algorithm for fingerprint-based indoor localization systems," Comput. Netw., vol.101, no.4, pp.169-177, 2016.
- [19] H. Shin, Y. Chon, Y. Kim, and H. Cha, "MRI: Model-based radio interpolation for indoor war-walking," IEEE Trans. Mobile Comput., vol.14, no.6, pp.1231-1244, 2015.
- [20] S. Eisa, J. Peixoto, F. Meneses, and A. Moreira, "Removing useless APs and fingerprints from WiFi indoor positioning radio maps," Proc. 4th Int'l Conf. Indoor Positioning & Indoor Navigation, pp.1-7, Montbeliard-Belfort, France, 2013.
- [21] N. Hernández, M. Ocaña, J.M. Alonso, and E. Kim, "Continuous space estimation: Increasing WiFi-based indoor localization resolution without increasing the site-survey effort," Sensors, vol.17, no.1, pp.147-171, 2017.
- [22] 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, 2017.
- [23] 守倉正博, 久保田周次, 802.11 高速無線 LAN 教科書, インプレス R&D, 2005.
- [24] 宮林竜也, 間邊哲也, "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," 信学技報, ITS2017-86, 2018.
- [25] S. He and S.-H.G. Chan, "INTRI: Contour-based trilateration for indoor fingerprint-based localization," IEEE Trans. Mobile Comput., vol.16, no.6, pp.1676-1690, 2017.

(2019 年 5 月 6 日受付, 9 月 12 日再受付)



間邊 哲也 (正員: シニア会員)

平 18 埼玉大・工・電気電子システム工卒。平 20 同大大学院博士前期課程修了。平 24 同大博士後期課程修了。博士 (工学)。同大・非常勤研究員を経て、平 25 より同助教。人の移動環境を高度化する IT ベースのシステムの創成に関する研究、特にシームレス測位を含む歩行者ナビゲーションシステム、超小型低速車両 (SV) プローブデータに基づくナビゲーションシステムなど、リアルワールドにおける情報社会基盤の実現に従事。ITS 研究専門委員会幹事。IEEE, 情報処理学会, 土木学会, 交通工学研究会各会員。



宮林 竜也

平 28 埼玉大・工・電気電子システム工卒。平 30 同大大学院博士前期課程修了。在学中、無線 LAN を使用したシームレス測位に関する研究に従事。