

# スマートフォンにおける無線LAN屋内位置特定システムの 動的性能について

飯塚 将樹<sup>†</sup> 間邊 哲也<sup>†</sup> 長谷川孝明<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: †{masaki,manabe,takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

**あらまし** 本稿では、屋内においてスマートフォンを用いた無線LANによる位置特定の動的な性能評価を行っている。学習用データの収集は、三脚に固定したスマートフォンを用いて準静的に、評価用データの収集は、三脚を固定した台車を押すことで移動する測定者を模擬して動的に行っている。実験の結果、移動速度の増加に伴って、ロングチュージナル方向の誤差がマイナス方向（進行方向に対して後方）に増加している。また、アクセスポイントの入れ替わり率  $R$ 、不変率  $\bar{R}$  をそれぞれ定義し、時間換算遅延時間（誤差を移動速度で除した時間）と不変率  $\bar{R}$  を乗じた修正換算遅延時間を求めると、しきい値-60dBmでの修正換算遅延時間はほぼ一定となっている。このことから、アクセスポイントの入れ替わりが位置特定に大きな影響を与えると仮定した場合、その影響をほぼ一定値とする修正換算遅延時間の値が存在することを示唆している。

**キーワード** 動的性能, 位置特定, 無線LAN, スマートフォン

## On the Dynamic Performance of Indoor Positioning System using Wireless LAN on Smartphone

Masaki IIDUKA<sup>†</sup>, Tetsuya MANABE<sup>†</sup>, and Takaaki HASEGAWA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan

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

**Abstract** This paper describes the dynamic performance evaluation of an indoor positioning system using the wireless LAN on smartphones. As a result, positioning errors of the longitudinal direction are increased in a negative direction along with an increase of the moving velocity. We define the access point variance rate  $R$  and the access point invariance rate  $\bar{R}$  respectively, and find the adjusted delay which multiply the delay time and the access point invariance rate. Then, the adjusted delay is roughly constant when the threshold is -60dBm. Consequently, this paper suggests the existence of the value of the adjusted time to make the effects of the variance of the access points.

**Key words** Dynamic performance, Positioning, Wireless LAN, Smartphone

### 1. ま え が き

スマートフォンの普及などに伴って、位置情報にもとづくサービス (Location-Based Services; LBS) の多様化や普及が進んでいる (例えば [1])。また、人間の活動の約 7 割は屋内で行われているとも言われており、屋外だけでなく、屋内や地下街などでも LBS に対する需要が高まっている。LBS の実効性やサービスの質は、それらが利用する位置特定サブシステムの性能に大きく影響される。また、質の高いサービスを提供するためには、あらゆる場所で正確かつ高精度な位置特定を行う必要がある。

現在、スマートフォンなどのモバイル機器で一般的に利用さ

れている位置特定手法として、GPS (Global Positioning System)、携帯電話基地局による方法、WLAN (Wireless LAN) のアクセスポイントによる方法などが挙げられる。GPS は、第一の位置特定基盤として、広く利用されている。オープンスカイであれば正確かつ高精度な位置特定が行えるが、高層ビル街の屋外や建物内、地下などでは、電波の反射や遮蔽、減衰などにより、位置特定が行えない、または、大きな誤差を生じることがしばしばある (例えば [2], [3])。携帯電話基地局による方法は、大まかな位置特定は可能だが、セル半径が大きく、マルチパスフェージングなどの影響により高精度な位置特定は期待できない (例えば [4])。WLAN のアクセスポイントによる方法は、GPS に次ぐ第二の位置特定基盤になりつつあり、スマートフォ

ンを用いた LBS でも広く利用されている。

一方、位置特定システムの位置特定性能の評価方法に注目すると、準静的な位置特定と動的な位置特定に大別できる。準静的な位置特定は、ある時刻  $t$  に位置特定を行ったときの位置を  $(x, y)$  として評価を行うのに対して、動的な位置特定では、 $(x(t), y(t))$  として評価を行う。既存の位置特定に関する研究の多くは、時間情報を含まない準静的な位置特定を行っているが、質の高い LBS を提供するためには、時間情報を含む動的な位置特定性能を明らかにしておく必要がある。

そこで、本稿では、屋内廊下においてスマートフォンを用いた WLAN による位置特定性能の動的な性能評価を行う。

## 2. 既存の位置特定システムと評価方法

ここでは、第一の位置特定社会基盤である GPS、第二の位置特定社会基盤である WLAN による位置特定について述べる。

GPS は、4 つ以上の衛星からの擬似距離をもとに位置特定を行う。GPS が使いやすい場所は、文献 [5] でも述べられているように、衛星からの電波が届き、かつ、正確な位置特定が可能な場所で、海、山、平原、空港、住宅街などである。

WLAN のアクセスポイントを用いた位置特定手法は、Proximity [6]、Trilateration (Triangulation) [7]、Scene analysis [8] の 3 種類に大別される。Proximity は、位置が既知である基準点 (WLAN アクセスポイント) から得られる情報を用いて、位置特定対象 (ユーザ) がどの基準点の近くに存在するか特定する。各 WLAN アクセスポイントの固有 ID (BSSID; Basic Service Set Identifier) と位置を紐付け、予めデータベースに登録しておく。測定時に受信信号強度 (RSSI; Received Signal Strength Indicator) が最も強い WLAN アクセスポイントの BSSID に紐付けられた位置をユーザの位置として特定する。Trilateration は、位置が既知である複数の基準点からの相対的な位置関係を用いて位置特定を行う。Proximity 同様、BSSID と位置のデータベースを用意しておくが、測定時は、3 つ以上の WLAN アクセスポイントの RSSI と電波伝搬距離からユーザの位置として特定する。Scene analysis は、位置特定を行う領域中の複数の特定の位置でシーン (scene; 場面) の観測を行い、各シーンとそのシーンを観測した場所を対応付けるデータ (学習用データ) からデータベースを構築し、位置特定に利用する。文献 [9] では、屋内において Triangulation と Scene analysis の位置特定性能の比較を行っており、Scene analysis の位置特定性能の方が高いことが示されている。

文献 [10] は、GPS、PDR (Pedestrian Dead Reckoning)、MDM (Magnetic Deviation Map) の組み合わせによる人の位置特定を行い、移動軌跡にもとづく評価を行っている。文献 [11] では、GPS とジャイロスコープの組み合わせによる車両の位置特定を行っている。文献 [12] では、GPS と距離センサの組み合わせによる自転車の位置特定を行い、移動軌跡にもとづく評価を行っている。文献 [13] は、屋内において WLAN アクセスポイントを利用した位置特定システムに関して、アクセスポイントの選択、RSSI の観測時間、時間による RSSI の違いなどの観点でそれぞれ性能評価を行っている。文献 [14] で

は、WLAN アクセスポイントを利用した屋内廊下における位置特定システムに関して、アクセスポイントの配置方法 (片側、両側、交互)、アクセスポイントの属性 (専用アクセスポイント、一般アクセスポイント)、データベースの構築方法 (同方向、逆方向、両方向) の観点でそれぞれ性能評価を行っている。文献 [15] では、WLAN アクセスポイントを利用して屋外グラウンド、体育館、中庭、駐車場において、アクセスポイントの属性 (専用アクセスポイント、一般アクセスポイント、専用アクセスポイントと一般アクセスポイントの両方)、専用アクセスポイントを追加する数に関して評価を行っている。文献 [16] では、WLAN アクセスポイントを利用したイベント会場における位置特定システムの性能評価を行っている。これらはいずれも準静的な位置特定評価である。

文献 [17] では、地面上に配置したマーカをカメラで撮影することで位置特定を行う M-CubITS (M-sequence Multimodal Markers for ITS; M-Cubed for ITS) を用いた車両での走行測位実験を行っている。ここでは、2 台のビデオカメラを車両に設置し、1 台は車両前方を撮影して 1 フレームごとに M-CubITS による位置特定を行って推定値を求め、もう 1 台は路面上に設置したメジャー (巻尺) を撮影して 1 フレームごとに真値を求めることで、動的な性能評価を行っている。文献 [18] では、屋外駐車場に WLAN アクセスポイントを 16 台設置し、スマートフォン (位置推定用) とビデオカメラ (真値特定用) を搭載した車両を用いて、動的な位置特定評価を行っている。これらはいずれも動的な位置特定性能評価を行っているが、屋外を走行する車両を対象としたものである。

## 3. 動的な性能評価のための実験

### 3.1 実験概要

スマートフォンにおける WLAN を用いた屋内位置特定システムの動的な性能評価を行うため、文献 [14] をもとにして、埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科棟-情報システム工学科棟 4 階廊下で実験を行った。実験環境を図 1(a) に示す。位置特定に利用することを目的に設置する専用アクセスポイント [14] は、BUFFALO 製 WHR-300 (IEEE 802.11n/g/b 対応、2.4GHz 帯のみ) 計 10 台で、図 1(b) のように交互に配置した。WLAN アクセスポイントの設置高さは 2m とした。参照点は計 144 点で、図 1(c) のように配置した。WLAN アクセスポイント情報 (BSSID および RSSI) の収集は、市販の Android スマートフォン (SHARP 製 AQUOS PHONE Xx 203SH) に、本実験用に開発したスマートフォンアプリケーション (BSSID および RSSI を 1 秒おきに取得) を実装して行った。スマートフォンの設置位置は、人がスマートフォンを自然に持つことを考慮して高さ 1.2m とした。

### 3.2 準静的な学習用データと評価用データの収集

準静的な学習用データおよび評価用データの収集は、図 1(c) に示した各参照点上で行った。収集の際、スマートフォンの高さを一定に保つため、三脚に固定した (図 2)。文献 [14] において、学習用データと評価用データで人による遮蔽の状況が異なると位置特定性能が劣化することが示されていることから、本

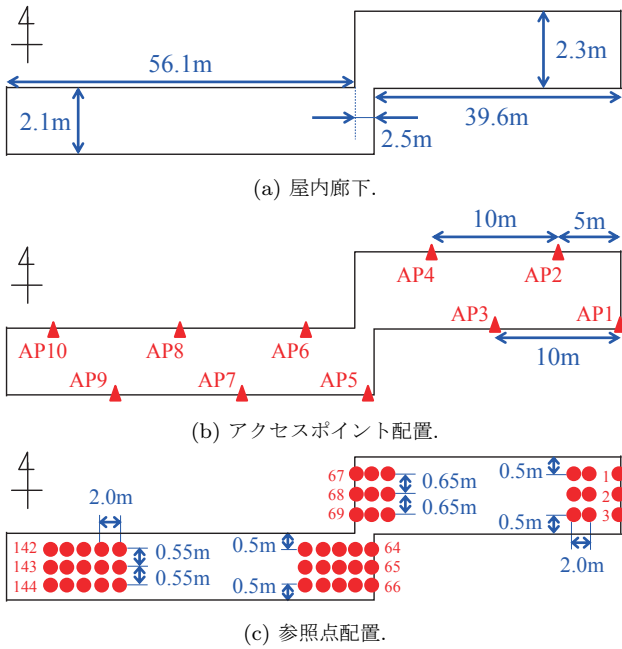


図1 実験環境.



図2 準静的な学習用/評価用データの収集方法.

実験では、測定者が西を向いている場合と東を向いている場合で各々30秒ずつデータを収集し、各方向の前半15秒間を学習用データ、後半15秒間を評価用データとして用いた。

### 3.3 動的な評価用データの収集

本稿では、3.2で収集した準静的な学習用データから作成したデータベースを用いて動的な評価用データの評価を行う。ここでは、台車を押すことで移動する測定者を模擬した(図3)。動的な評価用データの収集は、図1(c)に示した計144点の参照点のうち、廊下中央部の計48点を用いた。台車の移動速度は、人が歩く速度1.2km/hを基準として、その0.5倍、1.5倍、2.0倍である0.6km/h、1.8km/h、2.4km/hおよび1.2km/hの4パターンとした。台車の移動する方向は、東→西と西→東の



図3 動的な評価用データの収集方法.

2パターンとした。動的な評価用データを収集する際の位置の真値は、台車に固定したビデオカメラで、廊下床面に設置したメジャーを撮影することで特定した。

## 4. 性能評価

### 4.1 動的な性能評価

3.2で収集した準静的な学習用データから作成したデータベース、および、3.3で収集した動的な評価用データを用いて動的な位置特定性能の評価を行う。ここでは、文献[13]の手法により得られた位置 $(x_m(t), y_m(t))$ を測定値、ビデオカメラにより得られた位置 $(x_{tr}(t), y_{tr}(t))$ を真値として、時刻 $t$ におけるラテラル方向(台車の進行方向に対して左右方向)の誤差 $e_{lat}(t) = x_m(t) - x_{tr}(t)$ 、ロンジチュージナル方向(台車の進行方向)の誤差 $e_{lon}(t) = y_m(t) - y_{tr}(t)$ を、台車の移動速度ごとに算出し、それらの平均値および標準偏差を求めた。

図4に台車の移動速度に対するラテラル方向の誤差を示す(正側が台車の右方向)。プロットは平均値、エラーバーは標準偏差を表している。移動速度0.6km/h~1.8km/hでの測位誤差は、準静的な評価用データと同程度となった。移動速度2.4km/hでの測位誤差は-0.4mとやや大きな値となったが、これは台車の移動速度が速いために廊下中央の参照点上を正確に通過できなかった可能性が考えられる。以上を踏まえると、ラテラル方向の誤差は移動速度に依存しないと言える。

図5は、台車の移動速度に対するロンジチュージナル方向の誤差を示している(正側が台車の前方)。移動速度0.6km/hでの測位誤差は、準静的な評価用データと同程度となったが、移動速度を1.2km/h、1.8km/h、2.4km/hと上げていくと、ロンジチュージナル方向の誤差はマイナス方向(進行方向に対して後方)に大きくなった。

図6は、図5に示したロンジチュージナル方向の誤差 $e_{lon}[m]$ を移動速度 $v[m/h]$ で除した時間換算遅延誤差を用いて、台車の移動速度に対するロンジチュージナル方向の時間換算遅延誤差を示している。この結果から、ロンジチュージナル方向の時

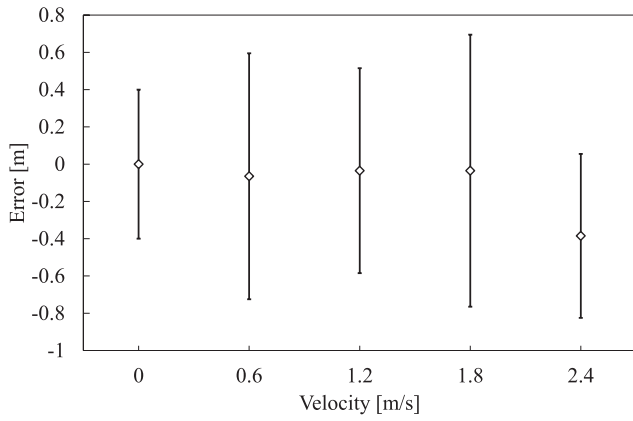


図 4 移動速度に対するラテラル方向の位置特定誤差.

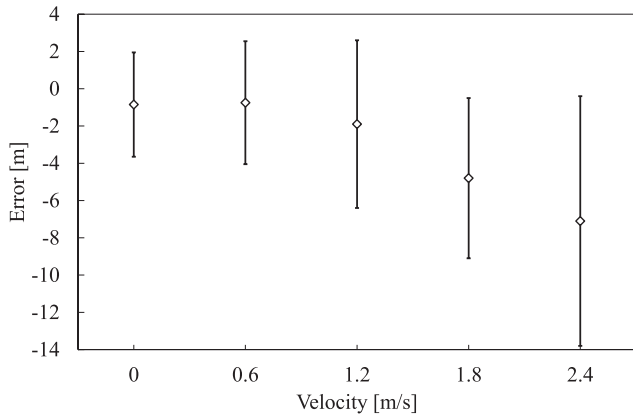


図 5 移動速度に対するロンジチュージナル方向の位置特定誤差.

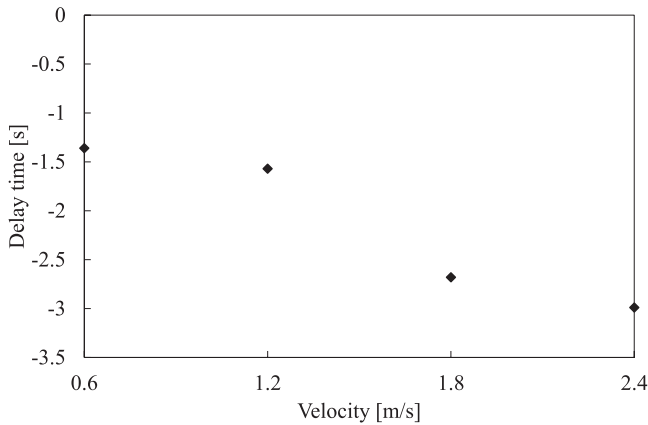


図 6 移動速度に対する時間換算遅延時間.

間換算遅延誤差は、移動速度に比例して大きくなっていることが分かる。

## 4.2 アクセスポイントの入れ替わり率を用いた性能評価

4.1 のような結果が得られた原因として、移動速度の増加によりスマートフォンが取得できる WLAN アクセスポイントの入れ替わり方が変化している可能性が考えられる。そこで、アクセスポイントの入れ替わりの状況を数値化するために、アクセスポイント入れ替わり率  $R$  および不変率  $\bar{R}$  をそれぞれ下記のように定義する。

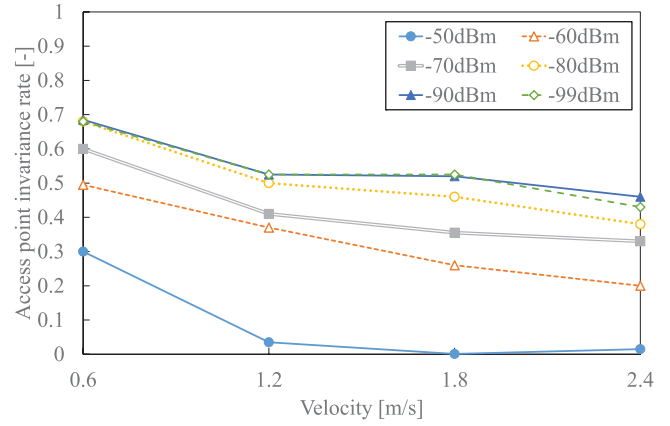


図 7 移動速度に対する AP 不変率  $\bar{R}$ .

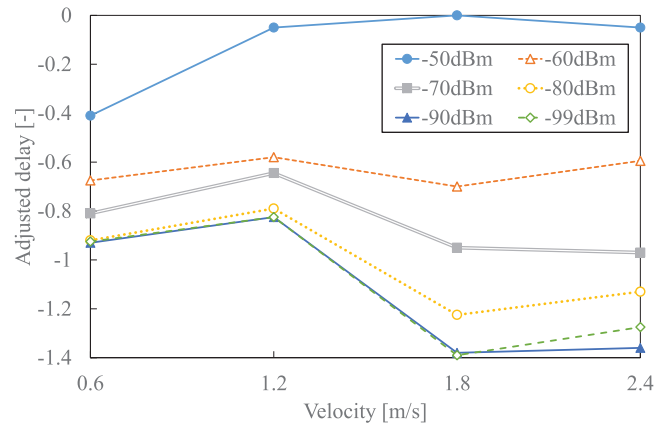


図 8 移動速度に対する修正換算遅延時間.

$$R = \frac{\text{時刻 } t \text{ 秒および時刻 } (t+10) \text{ 秒のいずれかで取得できた AP 数}}{\text{時刻 } t \text{ 秒および時刻 } (t+10) \text{ 秒のいずれかまたは両方で取得できた AP 数}} \quad (1)$$

$$\bar{R} = 1 - R \quad (2)$$

ここで、 $R$  および  $\bar{R}$  は、アクセスポイントを観測できたとする RSSI のしきい値に依存することから、ここではそのしきい値として -50dBm, -60dBm, -70dBm, -80dBm, -90dBm, -99dBm を設定した。つまり、設定したしきい値よりも強い RSSI を持つアクセスポイントのみを計算の対象とする。

移動速度に対するアクセスポイント不変率を図 7 に示す。移動速度が上がるにつれて、アクセスポイント不変率が低下していることから、アクセスポイントが頻繁に切り替わっていることが分かる。

図 8 は、時間換算遅延時間にアクセスポイント不変率を乗じた修正換算遅延時間を用いて、移動速度に対する修正換算遅延時間を示している。しきい値 -50dBm では、速度の増加に伴って修正換算遅延時間の絶対値が小さくなった。しきい値 -60dBm での修正換算遅延時間は移動速度に依らずほぼ一定となった。その他のしきい値では、速度の増加に伴って修正換算遅延時間がマイナス側に大きくなった。このことから、アクセスポイントの入れ替わりが位置特定に大きな影響を与えると仮定した場合、その影響をほぼ一定値とする修正換算遅延時間の値の存在が示唆された。

次に、移動速度に対する上位  $n$  番目の RSSI の平均値を図 9 に示す。これは各移動速度において 1 回の測定で取得できる全

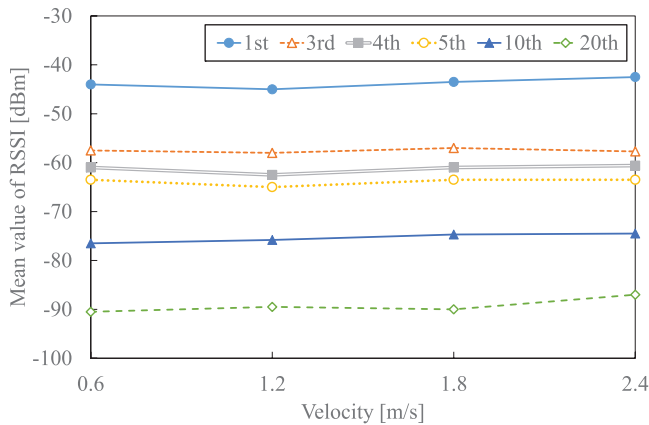


図9 移動速度に対する上位  $n$  番目の RSSI の平均値.

てのアクセスポイントの中で上位  $n$  番目の RSSI の平均値を算出したものである。ここでは、 $n = 1, 3, 4, 5, 10, 20$  を示しているが、上位  $n$  番目の RSSI の平均値は移動速度に依らずほぼ一定となった。

最後に、文献[18]では、屋外駐車場において WLAN を用いた車両の動的な位置特定性能の評価を行っている。ここでは、東西方向約 40m、南北方向約 55m の範囲に、専用アクセスポイント計 16 台を設置し、車両の移動速度 4km/h~16km/h でそれぞれ位置特定性能の評価を行っているが、測位誤差は移動速度に依らずほぼ一定であった。これらの結果に対して、本稿と同様の検証を行ったところ、本実験は屋内廊下で、アクセスポイントの入れ替わりが頻繁に発生していたのに対して、文献[18]の実験は駐車場内に設置した専用アクセスポイントと駐車場周辺の建物に設置されている一般アクセスポイントからの距離が離れていたために、車両の移動速度が 16km/h までの範囲では、アクセスポイントの入れ替わりの頻度が大幅に少なかった。

## 5. むすび

本稿では、屋内廊下においてスマートフォンを用いた WLAN による位置特定性能の動的な性能評価を行った。その結果、移動速度の増加に伴って、ロンジチュージナル方向の誤差がマイナス方向（進行方向に対して後方）に増加した。また、アクセスポイントの入れ替わり率  $R$ 、不変率  $\bar{R}$  をそれぞれ定義し、時間換算遅延時間（誤差を移動速度で除した時間）と不変率を乗じた修正換算遅延時間を求めた結果、しきい値-60dBm での修正換算遅延時間はほぼ一定となった。このことから、アクセスポイントの入れ替わりが位置特定に大きな影響を与えると仮定した場合、その影響をほぼ一定値とする修正換算遅延時間の値が存在することを示唆した。

今後の課題として、WLAN による位置特定システムでは、種々の実験環境での動的な性能評価が挙げられる（例えば、アクセスポイントの配置方法、データベースの構築方法など）。また、WLAN アクセスポイント以外の位置特定システムの動的な性能評価を行う必要がある。

## 文 献

- [1] A. Kupper, Location-based Services, Wiley, 2005.
- [2] 児島伴幸, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “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, Feb. 2010.
- [3] 長谷川孝明, 間邊哲也, 細江克治, 水野一男, “位置特定社会基盤のシステム創成論的考察—GPS/Wi-Fi/携帯電話基地局によるスマートフォン位置特定とアプリケーション—,” 信学技報 ITS2013-76, pp.69-78, March 2014.
- [4] A.J. Weiss, “On the accuracy of a cellular location system based on RSS measurements,” IEEE Trans. Vehicular Tech., vol.52, no.6, pp.1508-1518, Nov. 2003.
- [5] 長谷川孝明, “WYSIWYAS ナビゲーション環境の実現—リアルワールドの IT の意味—,” 信学技報 ITS2008-30, pp.19-24, Dec. 2008.
- [6] J. Krumm and K. Hinckley, “The NearMe Wireless Proximity Server,” Proc. 6th Int. Conf. Ubiquitous Comput., pp.283-300, Ubicomp '04, Nottingham, UK, Sept. 2004.
- [7] 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. Pervasive Comput., pp.301-306, Pervasive '05, Springer-Verlag, Munich, Germany, May 2005.
- [8] J. Yin, Q. Yang, and L. Ni, “Adaptive Temporal Radio Maps for Indoor Location Estimation,” Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. & Commun., pp.85-94, PerCom '05, Kauai, HI, USA, March 2005.
- [9] B. Li, J. Salter, A.G. Dempster, and C. Rizos, “Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN,” Proc. 1st IEEE Int. Conf. Wireless Broadband & Ultra Wideband Commun., pp.13-16, AusWireless '06, Sydney, Australia, March 2006.
- [10] K. Sunagawa, L.-T. Hsu, and S. Kamijo, “Pedestrian Dead Reckoning for Mobile Phones with Magnetic Deviation Map and GPS Accuracy,” IEICE Technical Report ITS2014-17, Sept. 2014.
- [11] Y. Sekimoto, K. Todori, and T. Okutani, “Hybrid high accuracy positioning combining positioning devices and infrastructure information,” Proc. 11th ITS World Congress, Nagoya, Japan, Oct. 2004.
- [12] 池田泰央, 羽多野裕之, 藤井雅弘, 伊藤 篤, 渡辺 裕, 木谷友哉, 青木 徹, 大西博信, “GPS における観測衛星数減少時のための位置推定手法に関する研究,” 信学技報 ITS2014-12, pp.23-28, Aug. 2014.
- [13] 伊藤誠悟, 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, Oct. 2006.
- [14] 野田真吾, 間邊哲也, 長谷川孝明, “屋内廊下における無線 LAN による位置推定に関する一検討,” 信学技報 ITS2012-41, pp.239-244, Feb. 2013.
- [15] 野田真吾, 間邊哲也, 長谷川孝明, 渡部晴夫, 木村寛治, 原田良一, 星悠太郎, “屋内外無線 LAN 位置推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, March 2013.
- [16] 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.69-78, June 2014.
- [17] 金 帝演, 長谷川孝明, “M-CubITS を用いた車両測位実験,” 信学論 (A), vol.J89-A, no.11, pp.993-1003, Nov. 2006.
- [18] 浅井勇樹, 間邊哲也, 長谷川孝明, “駐車場内における無線 LAN による位置特定性能について,” 信学技報 ITS2014-65, pp.69-78, March 2015.