

BLE 位置特定システムのデータベース構築の低コスト化に関する 一検討

大村 恒介[†] 間邊 哲也[†]

[†]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: †{k_omura, manabe}@mnb.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では Bluetooth Low Energy (BLE)位置特定システムにおけるデータベース(DB)構築の低コスト化に関する一検討を行っている。現在広く利用されている、位置指紋を用いた BLE 位置特定システムでは、多様なデータを用いて構築された「質の高い」DB の構築が必要であることが知られているが、複数の端末の準備、データの収集時間、DB の構築処理など、DB 構築の「コスト」は大きい。そこで本稿では、DB と位置特定時の測定結果を照合する位置特定フェーズにおいて位置特定性能を劣化させることなく DB に使用する総データ数を削減する方法の検討および評価を行っている。評価の結果、筆者らが既に提案している協調アルゴリズムを利用することで DB に使用する総データ数を削減しても、従来手法である Scene Analysis と比較して位置特定性能を同等以上に保つことができるという結果を得ている。

キーワード BLE 位置特定システム, Scene Analysis, データベース, Proximity, 協調アルゴリズム

A Study on Cost Reduction of Database Construction of BLE Positioning System

Kosuke OMURA[†] and Tetsuya MANABE[†]

[†]Graduate School of Science and Engineering, Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

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

Abstract In this paper, a study is presented to reduce the cost of constructing a database (DB) on the Bluetooth Low Energy (BLE) positioning system. It is known that it is necessary to build a “high-quality” DB constructed using various data in the BLE positioning system using fingerprint. However, the “cost” of this construction such as preparation of multiple devices, data collection time, processing of constructing DB, and so on is so high. Therefore, we evaluate a method to reduce the number of data used for the DB without degrading the positioning performance in positioning phase to collate the DB with the measurement. As a result of the evaluation, even if the number of data used for the DB is decreased, by using the cooperative algorithm proposed by the authors, the result that the positioning performance can be kept equal to or higher than that of the previous method (Scene Analysis) is shown.

Keywords BLE Positioning System, Scene Analysis, Database, Proximity, Cooperative algorithm

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。LBS の質はそのサービスが使用する位置特定サブシステムの位置特定性能によって大きく左右されるため、高品質なサービスを提供するためには、あらゆる場所での正確かつ高精度な位置特定が求められている。現在、スマートフォンにおいて Global Positioning System (GPS)と無線 LAN (WLAN)が主に位置特定に用いられている(例えば[1])。

今日、Bluetooth Low Energy (BLE)は GPS, WLAN に次ぐ第三の位置特定社会基盤になりつつあり、iBeacon

など BLE を使用した位置特定システムが一部実運用され始めている(例えば[2])。BLE はポータブル、低消費電力、低価格であり、さらに出力が比較的安定しているといわれており(例えば[3])、BLE を位置特定に利用したシステムの提案と利用や位置特定性能向上の手法の検討が多数行われている(例えば[3]-[6])。

BLE などの無線通信を用いた位置特定システムにおいて位置指紋による手法(以下、位置指紋手法と呼ぶ)が広く利用されている。位置指紋手法では「質の良い」データベース(DB)の構築が求められる(例えば[7])。ここで、「質の良い」DB とは端末による電波の受信感度の差、人による遮蔽(例えば[8])、複数のチャンネル(例え

ば[9])などをそれぞれ考慮した多様なデータを用いて構築された DB である。しかし、このような多様なデータの収集には非常に大きなコストがかかり[7]、コスト削減が求められる。

そこで、位置特定性能を劣化させることのない DB 構築コストの削減方法に関する検討を行う。DB 構築のコストとして、①複数端末を利用する際に考慮しなければならないコスト(端末の選定, 価格, 設置, 操作, 収集地点の決定方法など), ②データ収集時間に関わるコスト(複数方向での収集, 収集時間および回数, 環境の変化など), ③DB の構築処理に関わるコスト(収集したデータの処理時間, DB のサイズなど)などが考えられる。これらは DB に利用する総データ数を削減することにより、低コスト化することが可能である。DB 構築コストを削減することで、LBS が利用可能な環境の拡張や DB の更新を容易に行うことができる。

そこで、本稿では位置特定性能を劣化させることなく DB に利用する総データ数を削減する方法の検討および評価を行う。

2. 位置指紋を用いた位置特定システムにおける位置特定アルゴリズムとデータベース構築方法の従来研究

DB の構築と位置特定の 2 つのフェーズによって構成される位置指紋を用いた位置特定システムは他のシステムと比較して性能が良いことが知られている(例えば[10])。本節では位置指紋手法における 2 つのフェーズについて述べる。

2.1. 位置特定アルゴリズム

位置指紋手法における位置特定アルゴリズムとして、 k 近傍法ベース[10]や、ベイズ手法ベース[11]などが提案されている。これらの中でヒストグラムを用いたベイズ手法の性能が高いことが知られている(例えば[12])。この手法の 1 つである Scene Analysis[13]では図 1 のように、位置特定を行う領域中の各地点における各基地局からの識別情報と Received Signal Strength

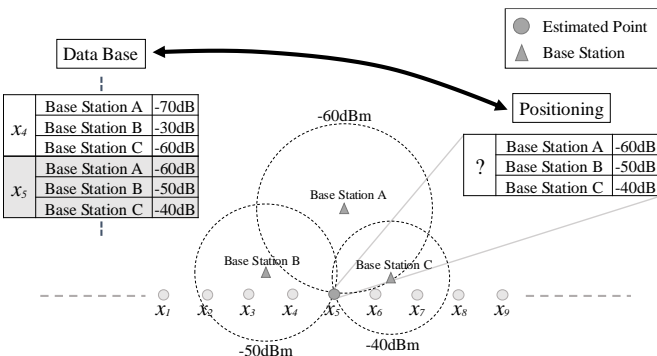


図 1 Scene Analysis 概念図

(RSS)の組を DB に保持し、この DB と位置特定時の測定結果を用いて各地点での事後確率を求め、その事後確率が最大となる地点を端末の位置とする。

また筆者らは文献[15]において、BLE における Proximity ベース[14]とヒストグラムを用いた手法[13]を組み合わせた協調アルゴリズムを提案した。Proximity は、最も強い RSS を観測した基地局がカバーする範囲の代表点を端末の位置とする位置特定システムである。各地点での Proximity の結果の確率を協調アルゴリズム用の DB に保持し、位置特定時の Proximity の結果を協調アルゴリズム用の DB と照合し、一定以上の確率を有する地点を抽出し、その中で Scene Analysis による位置特定を行う。協調アルゴリズムは Scene Analysis と比べて性能が良く、Scene Analysis と比較して、大きな誤差を抑制できる。また、発信機設置間隔を狭くすると特に効果が大きい特徴を持つ。

2.2. データベースの構築方法

位置特定システムでは多様なデータを使用して DB を構築することで位置特定性能が向上することが知られている。多様なデータとは、端末による感度の差、人による遮蔽、複数のチャネルなどである。また位置特定専用収集したデータを使用した DB による位置特定の方がクラウドベースの DB による位置特定より性能が良い[7]。さらに、RSS フィルタリング[3]、チャネルごとの DB 作成[9]、最大値や中央値などを計算[16]などによって DB を構築する段階で質を向上させる研究も多く行われているが、DB の構築に利用する総データ数の増加に伴って、DB 自体や構築処理などのコストも比例して増加する。なお、本稿では各地点、各方向、各端末でのデータの収集を「データ収集」と呼ぶこととする。

3. 実験セットアップ

実験には図 2 のような 30m の廊下の一次元環境を用いた。図 2 の廊下の中央に 1m おきに参照点および評

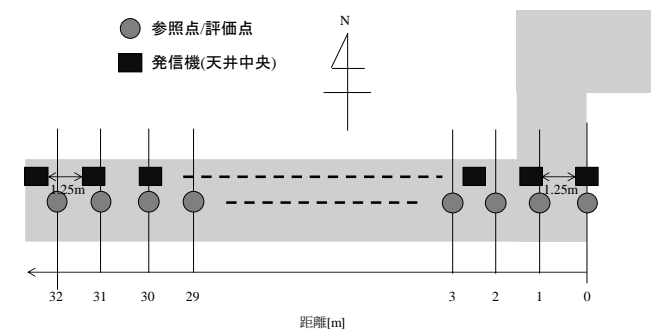


図 2 実験環境とデータ収集点および発信機設置箇所

備点を設置し、発信機(Aplix MyBeacon 汎用型 MB004 シリーズ)は 1.25m 間隔で 27 台を天井中央部に張り付けた。使用する発信機はオフラインで選択し、DB を構築することで複数の発信機設置間隔で評価する。その際、発信機は環境の両端とその間を等間隔で分割できるように選択した。

データ収集は表 1 の 5 台の端末を使用し、1 サンプル/sec で収集を行った。また、表 1 に各端末の 0m 地点と 30m 地点での平均 RSS を示す。位置特定実験は学習用、評価用としてそれぞれデータ収集を 60 秒間行ったデータを利用した。

評価フェーズで用いるデータは 5 端末、東西 2 方向、60 回分のデータである。評価は図 2 の環境の中央 10m 区間で行った。本稿ではヒストグラムを用いた手法と協調アルゴリズムを比較する。ここで、ヒストグラムを用いた手法として Scene Analysis を用い、以後、ヒストグラム手法と呼ぶ。また、評価指標として位置特定誤差の平均と標準偏差、位置特定距離誤差の 95 パーセンタイルを用いる。

次節ではデータ収集時間またはデータ収集端末数を削減することで、使用する総データ数を削減して DB を構築し、ヒストグラムを用いた手法と協調アルゴリズムを比較評価する。

4. 実験結果

本節では DB の構築に利用する総データ数の削減を目的として、まず 4.1 ではデータ収集方向の削減に関する事前実験を行う。その後、4.2 ではデータ収集時間、4.3 ではデータ収集端末数をそれぞれ削減した DB を用いて位置特定システムの評価を行う。

4.1. データ収集方向の削減に関する事前実験

文献[7]は WLAN による Scene Analysis を利用した評価を行い、1 次元環境における位置特定では 2 方向でのデータ収集が必要であるという結果を示している。本節では BLE においても 1 次元環境において 2 方向のデータ収集が必要か確認する。図 2 の環境で西向きのみデータを利用して DB を構築し、東西 2 方向のデータを評価用として利用する。図 3 に位置特定誤差の平均と標準偏差を示す。ここで、エラーバーは標準偏差を表す。ヒストグラム手法と協調アルゴリズム共に、

表 1 実験使用端末

使用端末	RSS平均[dBm]	
	0m	30m
ZenFone Selfie	-70	-93
ONE TOUCH IDOL3	-69	-91
Priori 3S	-66	-91
Nexus 5	-63	-88
HTC Desire 626	-63	-87

位置特定誤差平均が 1 方向に偏るという結果が得られた。このとき偏る方向は DB に使用したデータを収集した方向(西方向)である。この結果は人の遮蔽によって RSS が大きく変化することが原因である。この結果より、以後 2 方向のデータを用いて DB を構築する。

4.2. データ収集当たりのデータ収集時間の削減

データ収集時間を削減して DB を構築し、位置特定性能の評価を行った。位置特定誤差の平均と標準偏差、距離誤差の 95 パーセンタイルを図 4 に示す。ただし、平均はすべて 0 付近だった。なお図 4 の凡例は位置特定の手法名とデータ収集時間[sec]を表記している(Histogram60 はデータ収集時間 60 秒で DB を構築した場合の Histogram 手法での結果を意味する)。データ取

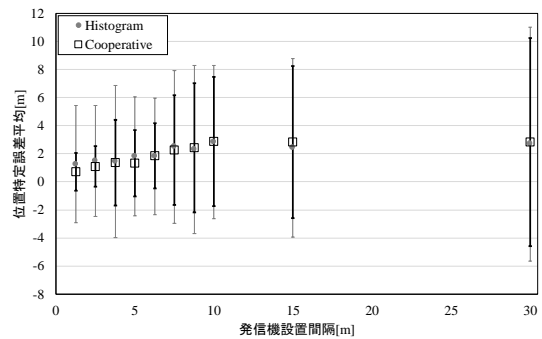
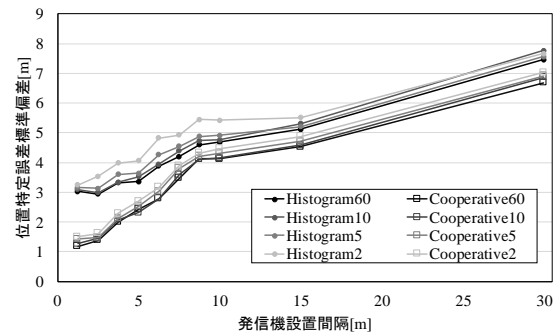
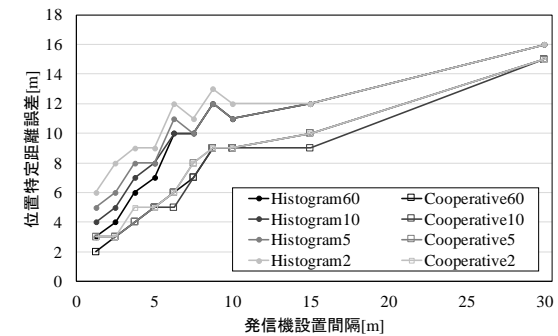


図 3 1 方向のみの DB を用いた場合の位置特定誤差平均と発信機設置間隔の関係



(a) 位置特定誤差の標準偏差と発信機設置間隔の関係



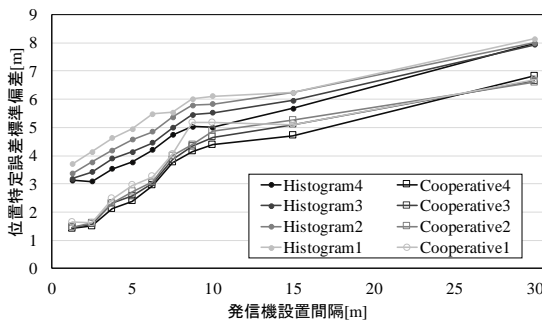
(b) 位置特定距離誤差の 95 パーセンタイルと発信機設置間隔の関係

図 4 データ収集当たりのデータ収集時間を削減した場合の位置特定実験結果

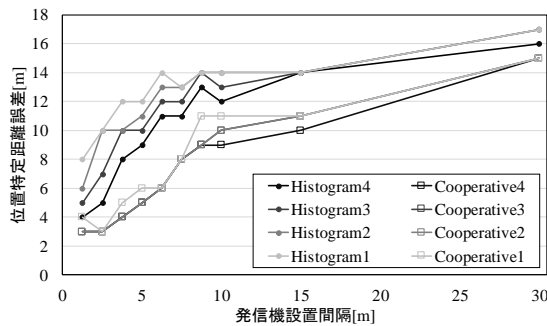
集時間を削減した場合、データ収集時間の削減に伴って、ヒストグラム手法では位置特定性能が劣化するのに対して、協調アルゴリズムでは位置特定の劣化がほとんどないという結果を得た。また、発信機設置間隔が狭い場合は、協調アルゴリズム(Cooperative2)は30倍のデータ数のDBによるヒストグラム手法(Histogram60)よりも位置特定性能(位置特定誤差の標準偏差と位置特定距離誤差の95パーセンタイル)が良いという結果を得た。

4.3. データ収集端末数の削減

データ収集を行う端末の数を削減してDBを構築し、位置特定性能の評価を行った。データ収集端末数が増えると、データ収集の手間が増え、端末を用意するコストがかかる。また、端末の選定の方法も明確でない。本実験は、表1に示した端末においてRSS平均が大きい上位n台をデータ収集端末として利用し、DBを構築した。ここで、データ収集時間は10秒とした。図5に位置特定誤差の標準偏差、距離誤差の95パーセンタイルを示す。ただし、平均はすべて0付近だった。また、凡例は手法名とデータ収集端末数nを示す(Histogram4はデータ収集端末4台でDBを構築した場合のHistogram手法での結果を意味する)。データ収集端末数を削減した場合、ヒストグラム手法では位置特



(a) 位置特定誤差の標準偏差と発信機設置間隔の関係



(b) 位置特定距離誤差の95パーセンタイルと発信機設置間隔の関係

図5 データ収集端末を削減した場合の位置特定実験結果

定が劣化するのに対して、協調アルゴリズムでは位置特定の劣化がほとんどないという結果を得た。また、発信機設置間隔が狭い場合は、協調アルゴリズム(Cooperative1)は4倍のデータ数のDBによるヒストグラム手法(Histogram4)よりも位置特定性能(位置特定誤差の標準偏差と位置特定距離誤差の95パーセンタイル)が良いという結果を得た。

5. 考察

本節では4節の実験結果について考察を行う。まず、各端末のRSS分布特性に注目する。BLEでは多くの端末で変動の少ないRSSを取得できる。しかし、図6に示すように市販のスマートフォンを使用してRSSを取得した結果、一部の端末ではPriori 3SのようにRSSが不安定になることがある。4.3の実験においてRSS

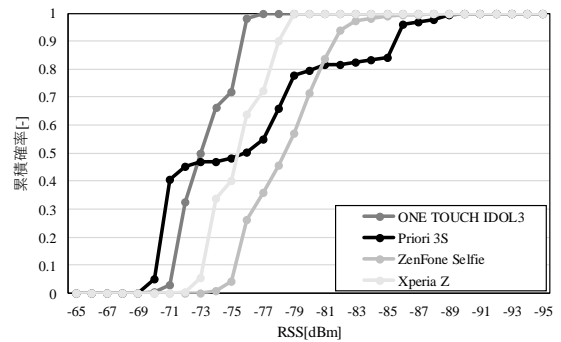
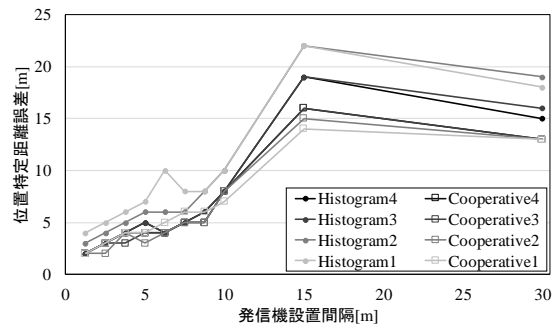
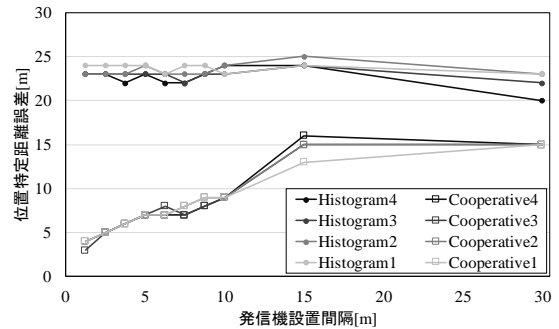


図6 端末によるRSS分布の差(5m地点)



(a) RSSが安定した端末(ONETOUCH IDOL3)



(b) RSSが不安定な端末(Priori 3S)

図7 DBに評価端末での測定を含まない場合の位置特定距離誤差の95パーセンタイルと発信機設置間隔の関係

の分布の立ち上がりから収束までの幅が 8dBm 程度で 1つのピークを持つ安定した端末(ONETOUCH IDOL 3)と RSS の分布の立ち上がりから収束までの幅が 20dBm 程度で複数のピークを持つ不安定な端末(Priori 3S)のみ評価に用い、評価に用いた端末のデータは DB に含めない場合の位置特定距離誤差の 95 パーセンタイルを図 7 に示す。図 7 の結果より RSS が不安定な端末において特に、協調アルゴリズムの効果が大きく、位置特定性能を向上できる。また、RSS が安定した端末でも同等以上の結果を得た。

前述のように RSS が不安定な端末に対しても協調アルゴリズムによって位置特定性能を向上できるという結果を得た。また 4 節では、協調アルゴリズムを用いるとヒストグラム手法よりも総データ数の少ない DB を用いても位置特定性能が良いという結果を得た。協調アルゴリズムには Proximity ベースの処理が含まれており、各発信機の RSS の相対的な比較、つまり空間フィルタリングを行い、これにヒストグラム手法での RSS の絶対的な比較を組み合わせている。この結果、RSS 分布の中心が移動するような環境においても高精度な位置特定が可能となっているため、位置特定性能が向上し、大きな誤差ほど抑制される。その効果は、特に発信機設置間隔が狭い時(10m 以下)に大きい。BLE を利用した位置特定システムにおいては、設置の容易さから一般に発信機を高密度に設置することも想定されるため協調アルゴリズムとの親和性は高い。

次に DB に用いる総データ数に関する考察を行う。DB に用いる総データ数を削減することでデータの収集時間に加えて DB の構築処理に要する時間も減少させることができる。DB 構築は同じ処理の繰り返しであり、この繰り返し回数は DB 構築に利用する総データ数に比例する。また、データ収集時間の削減では DB 構築に利用する総データ数を自由に設定可能である。ただし、図 8 に示すように DB 構築に利用する総データ数と位置特定誤差平均と標準偏差の関係を評価した結果(エラーバーは標準偏差を表す)、総データ数が十分でないと協調アルゴリズムによる位置特定性能が著

しく劣化するという結果を得た。この結果より、協調アルゴリズムのための DB を構築する際には少なくとも 20 程度の総データ数を利用する必要がある。ただし 1 次元環境では、4.1 で述べたように 2 方向でデータ収集で行うため、各方向 10 データ程度を取得すれば良く、1 サンプル/sec の場合 10 秒のデータ収集を行えば良い。

6. むすび

本稿では BLE 位置特定システムに用いる DB の構築コスト削減に関する一検討を行った。DB 構築コスト削減のため、DB 構築に利用する総データ数の削減によって DB 構築コストの削減が実現できる。そこで、1 次元位置特定における 1 方向のみのデータ収集、データ収集あたりの収集時間の削減、データ収集端末の削減によって総データ数を削減し、Scene Analysis と協調アルゴリズムの位置特定性能の評価を行った。

評価の結果、データ収集時間またはデータ収集端末の削減に伴って、位置特定誤差平均はいずれも 0 付近で、位置特定誤差の標準偏差と位置特定距離誤差の 95 パーセンタイルは、ヒストグラム手法では劣化したが協調アルゴリズムは劣化がほとんどない結果を得た。

評価結果に対して考察を行い、協調アルゴリズムは RSS が不安定な端末を利用した場合と BLE 発信機を高密度に設置した場合に特に優位性があることを示した。

以上のことから、協調アルゴリズムを利用した BLE 位置特定システムは、位置特定性能を同等以上に保ちつつ、DB 構築の低コスト化につながる知見を得た。そして、これらの DB 構築の低コスト化に関する知見は、LBS の実効性の向上および利用可能範囲の拡大につながる。

今後の課題として、種々の環境での位置特定性能の評価、他の低コスト化の方法の検討、そして、最適なデータ収集方法の体系化を行うことが挙げられる。

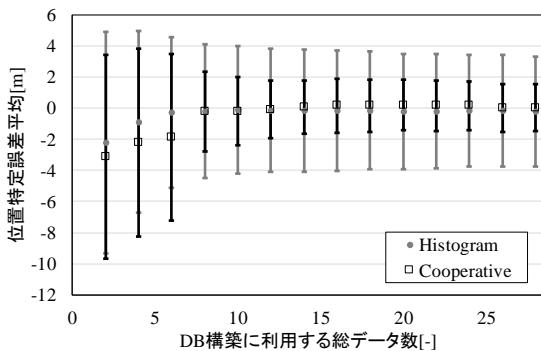


図 8 DB 構築に利用する総データ数と位置特定誤差平均の関係の例(エラーバーは標準偏差)

文 献

- [1] 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の位置特定性能 ～,” 信学技報, ITS2014-7, pp.41-46, June 2014.
- [2] Apple Inc., “Proximity Beacon Specification,” Apple Developer, Release R1, Sept. 2015.
- [3] R. Faragher, R. Harle, “Location Fingerprinting With Bluetooth Low Energy Beacons,” IEEE Journal on selected areas in communication, Vol.33, No.11, pp.2418-2428, Nov. 2015.
- [4] R. Faragher, R. Harle, “An analysis of the accuracy of Bluetooth low energy for indoor positioning applications,” Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Tampa, FL, USA, pp.201-210, Sept. 2014.
- [5] 山口修平, 荒井大輔, 大岸智彦, “BLE タグを用いた屋内位置測位における設置タグ数の影響評価,” 信学技報, IN2014-146, pp.151-156, Mar. 2015.
- [6] 山口修平, 荒井大輔, 大岸智彦, “BLE タグを用いた屋内位置測位における周波数識別効果の評価,” 信学技報, ASN2015-69, pp.103-108, Nov. 2015.
- [7] S. H. Jung, B. C. Moon, D. Han, “Performance evaluation of radio map construction methods for Wi-Fi positioning systems,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.18, No.4, pp.880-889, Aug. 2017.
- [8] 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.
- [9] J. Powar, C. Gao, R. Harle, “Assessing the impact of multi-channel BLE beacons on fingerprint-based positioning,” Proceedings of Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2017 International Conference on. IEEE, pp.1-8, Sept. 2017.
- [10] C. Rizos, A. G. Dempster, B. Li, J. Salter, “Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN,” Proceedings of IEEE International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications, Sydney, Australia, Mar. 2008.
- [11] P. Bahl, V. N. Padmanabhan, “RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system,” Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications, Vol.2, pp.775-784, Mar. 2000.
- [12] T. Roos, P. Myllymäki, H. Tirri, P. Misikangas, J. Sievänen, “A probabilistic approach to WLAN user location estimation,” International Journal of Wireless Information Networks, Vol.9, No.3, pp.155-164, July 2002.
- [13] S. Ito, N. Kawaguchi, “Bayesian based location estimation system using wireless LAN,” Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops 2005, Vol.1, pp.273-278, Mar. 2005.
- [14] J. Krumm, K. Hinckley, “The nearest wireless proximity server,” Proceedings of International Conference on Ubiquitous Computing, Springer, Berlin, Heidelberg, pp.283-300, Sept. 2004.
- [15] 大村恒介, 間邊哲也, “BLE 位置特定システムの性能評価,” 信学技報, ITS2017-85, pp.23-28, Mar. 2018.
- [16] G. De Blasio, A. Quesada-Arencibia, C. R. García, J. C. Rodríguez-Rodríguez, R. Moreno-Díaz, “A Protocol-Channel-Based Indoor Positioning Performance Study for Bluetooth Low Energy,” IEEE Access, Vol.6, pp.33440-33450, May 2018.