

無線LANポジショニングにおける データベース更新手法の検討

川崎比朗史^{†1} 永長知孝^{†1}

概要: 本稿では、無線LANポジショニングにおいて、測位時にユーザの位置が確定的である場合にデータベースを更新する手法の検討が行われている。始めに、環境分析により測位を行う際に使用するデータベースの規模の検討が行われており、実験環境における適切な規模が明らかにされている。次に、電波伝搬環境に影響を与えるユーザのいる状況で、そのユーザのいる地点でデータベースを更新して測位を行い、測位性能に影響があるか確認が行われている。その結果、データベース作成時と異なる状況において、ユーザのいる地点ではデータベース更新前に比べて測位精度が向上することが示されている。また、ユーザのいる地点の周囲では、測位精度が向上する地点と劣化する地点が見られる。前者は従来離れた場所を測位結果としていた場合である。後者は従来測位が正確に行われていた場合である。いずれもデータベースの更新を行った、ユーザのいる地点を測位結果として推定することが多くなっているためであり、ある地点におけるデータベースの更新が、必ずしも周囲の地点における正確な測位に貢献できるわけではないことが示されている。

キーワード: 無線LAN, 屋内測位, Wi-Fi, 環境分析

A Study of a Database Learning Method for Wireless LAN Positioning

HIROSHI KAWASAKI^{†1} TOMOTAKANAGAOSA^{†1}

Abstract: In this paper, a database learning method for Wireless LAN positioning is studied, which updates a part of the database corresponding to a spot when a user is definitely there. First, the adequate scale of a database for Scene Analysis is considered, it has been made clear about the scale for an experimental place in the paper. Next, the localization experiment of the proposed method is carried out at the experimental place in wrong radio wave propagation environment. As a result, it is shown that the localization accuracy improves at the point where the user is located compared to before updating the database in a situation different from the time of database creation. Also, around the spot at where the user is, a spot where the localization accuracy improve and another spot that deteriorate are seen. The former case is where the remote location was conventionally used as the localization result. The latter is a case where the conventional positioning was performed accurately. In either case, it is the reason that the spot where the user is present who updated the database is often estimated as the localization result, and it is shown that updating the database at a certain spot can't contribute to accurate positioning at the surrounding spot.

Keywords: Wireless LAN, Indoor Positioning, Wi-Fi, Scene Analysis

1. はじめに

近年、情報通信機器の中でスマートフォンの保有率が急速に増加してきている。日本では平成22年ごろの保有率は約1割程度であったが、4年後の26年には約6割となっている[1]。スマートフォンを用いることで、屋外でインターネットの利用が可能となったり、ナビゲーション端末として利用可能であったりすることから、一層の普及が見込まれている。

スマートフォンの重要な機能の1つに、測位機能が挙げられる。スマートフォンで利用可能な測位手法として、GNSSや無線LANなどを使用する手法が挙げられる。GNSSを使用する測位は、屋内で行うことが困難であるので、その場合無線LANを使用して測位をすることが多い。

無線LANを用いた測位は、事前に作成したデータベースを使用し測位時に無線LANからアクセスポイントから取得する情報と照らし合わせて行われる。この測位手法は、人体による遮蔽やマルチパス等の影響により電波強度が大幅に変化し、適切にデータベースが参照されず測位誤差が生じるという問題がある[2][3]。

このような問題へ対応するため、データベースの切替や学習に関する手法がいくつか提案されている。時間帯に応じて適応的にデータベースを変更する手法[4]では、時間帯に応じたデータベースを用意しておくことで測位精度の向上を行なっている。また、データベースの学習を逐次行う際に問題となる学習コストを削減する手法も検討が行われており、壁による伝搬損失を考慮した補間データを用いることで、高精度なデータベースの構築を可能とする手法などが検討されている[5]。これらの手法では、いずれも更新を行う際に計測地点を設定し、新たな計測を行う必要があ

^{†1} 関東学院大学理工学部理工学科
College of Science and Engineering, KantoGakuin University

る。一方、ユーザの受信情報を用いて都度学習を行うことも考えられるが、その場合にはユーザの位置が正確である必要があり、その精度によって更新されるデータベースの精度に影響を与えてしまう。

一方、現在位置情報に基づいた様々なサービスが検討・実装されており、そのようなシステムではユーザの位置が特定できるものも少なくない。例えば、iBeacon を用いてその場の案内やナビゲーションを行うシステムが様々な場所に設置されている[6]。iBeacon では受信電波強度により、ユーザの発信位置からのおよその距離が判定可能であり、特に CoreLocation フレームワークの API 経由で直近(immediate)という情報が取得できた場合には、発信地点から数十 cm から 1m 程度の位置にいることが分かる。また、近年は Felica や Apple Pay など、自動販売機や改札等で NFC を用いた決済が頻繁に行われるようになっており、決済のタイミングでのユーザの位置は確定的になる。

そこで本研究では、ユーザの位置が確定する場面で取得される受信電波情報を用いることで、データベースの一部を更新する手法について検討を行う。その場所の情報を更新することで、更新した場所やその周辺での測位精度が向上するかについての検討を行う。また、提案手法の検討の前に、実験場所における適切なデータベースの規模について検討を行い、このデータを用いることで更新データの割合について検討を行う。

2. 無線 LAN を用いた測位手法

2.1 測位手法

無線 LAN を用いた測位手法として、Triangulation, Proximity, Scene Analysis の 3 種類が挙げられる。

図 3 に Scene Analysis を示す。Scene Analysis(環境分析)とは、事前に無線 LAN から取得した電波情報を格納したデータベースを作成し、作成したデータベースを元に測位時に観測する電波情報と照らし合わせて測位を行う手法である。

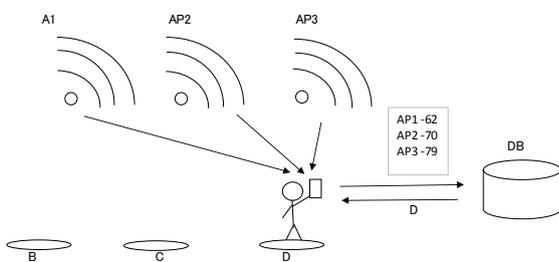


図 1 環境分析

Figure 1 Scene Analysis

2.2 環境分析

本研究では、環境分析を用いる。環境分析の具体的な手

順として、まず測位する地点で、端末を用いて無線 LAN アクセスポイントから電波強度を観測して BSSID と組み合わせて電波情報とする。観測した電波情報を測位した地点の位置情報と共にデータベースに保持する。各地点で複数回観測を行い、データベースを作成する。

作成したデータベースを用いて測位を行う。端末を用いて無線 LAN アクセスポイントから BSSID と電波強度を観測する。

地点 c_j のときに、BSSID b から電波強度 a が観測される確率を、データベースのデータの観測数から計算式(1)で求める。

$$P(a | b, c_j) = \frac{\text{観測 } c_j \text{ で } b \text{ から } a \text{ が観測された回数}}{\text{観測 } c_j \text{ で } b \text{ が観測された回数}} \dots (1)$$

地点 c_j において観測 o である確率を式(2)で求める。観測 o は 1 回の観測における BSSID から電波強度を観測する組み合わせである。 n はアクセスポイントの数である。

$$P(o | c_j) = \prod_{i=1}^n P(a_i | b_i, c_j) \dots (2)$$

測位時の電波の観測情報から地点 c_j である存在確率を式(3)で求める。観測情報は 1 回の測位における観測の回数である。 m は観測回数、 l は地点の数である。

$$P(c_j | o_1, \dots, o_m) = \frac{\prod_{k=1}^m P(o_k | c_j)}{\sum_{l=1}^n (\prod_{k=1}^m P(o_k | c_l))} \dots (3)$$

以上の式を用いて各地点での存在確率を求め、一番確率の高い地点を測位する地点とする。

3. データベースの規模に関する検討

3.1 実験内容

環境分析に使用するデータベースのデータ量が測位性能に与える影響について検討を行った。実験は関東学院大学金沢八景キャンパス 6 号館 5 階の廊下で行った。約 50m の長さの廊下に 2.5m 間隔で測位地点を 20 箇所(A~T)定義する。すべての地点で 180~1800 回観測し、データ数の異なる計 10 個のデータベースを作成する。測位段階では、1 回の観測を 1 回の測位として、計 100 回の測位を 1 つの地点 D で行う。各データベースを用いて地点 D における測位を行い、測位精度(平均誤差, 標準偏差)を求める。データベース作成時、地点 D の測位時は共に廊下に人がいない同じ

状況で行う。また、電波の観測に Nexus を使用した。高さ 110cm の脚立に端末を固定して無線 LAN から電波を観測する。測位に使用するアクセスポイントは、2.4 と 5GHz 帯の周波数で観測を行った。最大で 309 個のアクセスポイントを観測に使用した。に実験の詳細、図 2 に実験場所の見取り図、図 3 に実験時の様子を示す。

表 1 実験の詳細

Table 1 Experimental conditions.

実験場所	関東学院大学金沢八景キャンパス 6号館5階廊下
使用端末	Nexus5 Androide 6.0.1
無線LANの周波数	2.4, 5GHz帯
アクセスポイント数	309

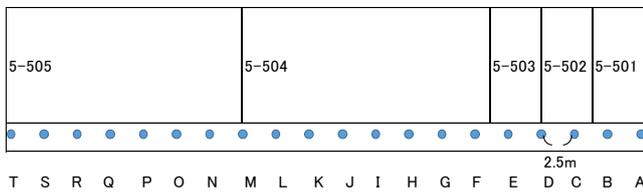


図 2 実験場所の見取り図

Figure 2 Experimental Environment.

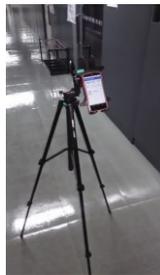


図 3 実験時の様子

Figure 3 Observation of Wi-Fi received signals

3.2 実験結果

表 2 に測位結果を示す。

表 2 地点 D における各データベースでの測位精度

Table 2 Localization results at observation point D

観測数	平均誤差[m]	標準偏差[m]
180	3.45	2.33
360	2.50	1.80
540	2.27	1.37
720	2.00	1.36
900	2.87	2.32
1080	1.65	1.18
1260	1.97	1.91
1440	1.70	1.36
1620	3.62	2.43
1800	3.22	2.67

地点 D における測位精度を求めた結果、平均誤差は 1.65 ~ 3.62m、標準偏差は 1.18 ~ 2.67m の範囲となった。また、最も推定精度が高かったのは 1080 回観測を行ったデータベースとなった。このため、以降の検討ではこの規模のデータベースを用いることとする。

4. データベース更新手法の検討

環境分析の測位に用いるデータベースは、周囲に人がいない状況や平常時と混雑度の違う状況で作成している場合が多い。しかし、ユーザが測位をする段階では、人が周囲にいる状況が一般的である。このデータベース作成と測位時の周囲の状況の違いにより電波強度が変化し、測位誤差が生じる。

そこで、測位する時と同じ状況でデータベースを更新し、更新したデータベースを用いることで測位精度にどのような影響があるかを確認する。更新は場所を特定できる手法によって自分の位置が確定しているときに行う。更新したい観測数分のデータを追加し、追加した観測数分データベースから古い順にデータを削除する。図 6 に更新手順のフローチャートを示す。

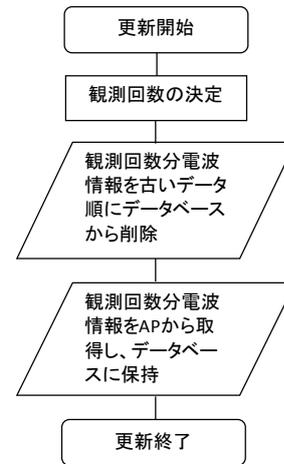


図 4 更新手順のフローチャート

Figure 4 Flow of a Database Learning.

5. 提案手法を用いた性能評価

5.1 実験内容

提案手法の測位実験は、第 3 章と同じ場所で実施する。地点 K に人がいる状況で、地点 K で電波強度を観測し更新用のデータを作成する。図 5 に地点 K に人がいる時に、地点 K で測位している実験中の様子を示す。事前に作成した観測数 1080 回のデータを保持したデータベースを 7 つ用意し、その内 6 つのデータベースで更新を行う。各データベースに観測数 16,33,50,66,83,100% の更新用のデータを用い

て更新する．更新後，更新していないデータベースを含む7つのデータベースで，人が地点 K にいる状態で，各地点で60回測位を行う．各データベースで，各地点の測位精度(平均誤差，標準偏差)を求める．

また，更新する地点と更新するデータ数を変更し，同様の実験を行う．データベースを更新する地点は E で行い，16,33%のデータを更新する．異なる地点で更新を行ったとき，同じ結論となるか確認する．



図 5 地点 K で測位している実験中の様子

Figure 5 Observation of Wi-Fi signals when existing a user.

5.2 実験結果

図 6～11 に地点 K を更新したときの測位結果を示す．横軸は各地点，縦軸は平均誤差を表している．更新を行った地点 K とその両側の地点 J, L における平均測位誤差と標準偏差を表 3 と表 4 に示す．

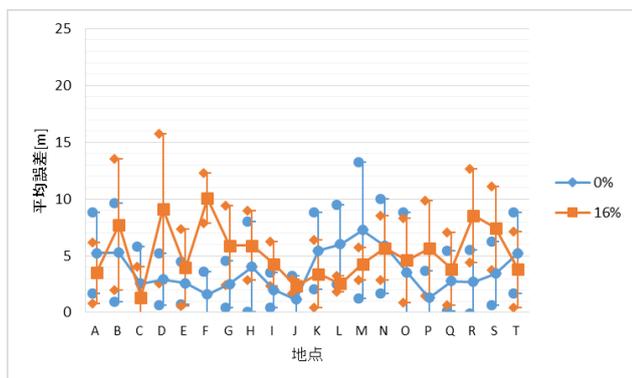


図 6 地点 K で 16%更新したデータベースと更新していないデータベースの測位精度

Figure 6 Localization results using databases without any update and with updating of 16% at point K.

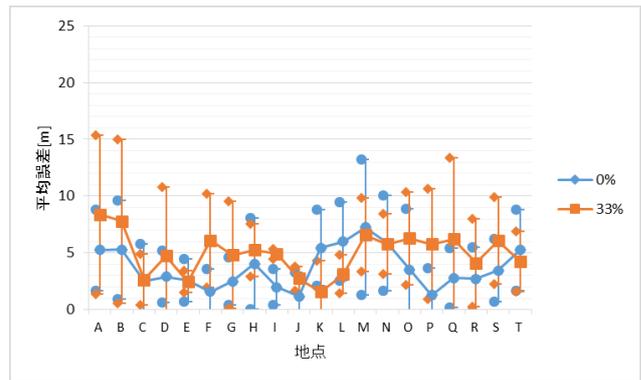


図 7 地点 K で 33%更新したデータベースと更新していないデータベースの測位精度

Figure 7 Localization results using databases without any update and with updating of 33% at point K.

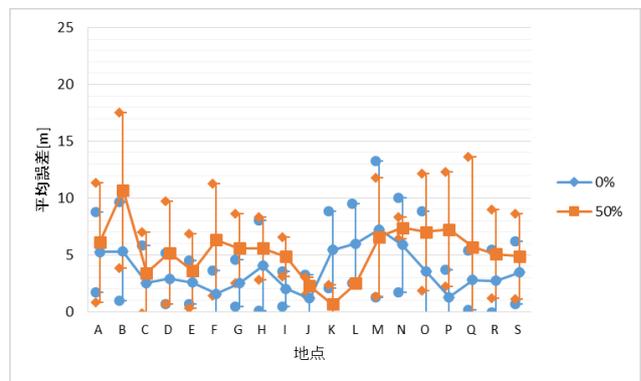


図 8 地点 K で 50%更新したデータベースと更新していないデータベースの測位精度

Figure 8 Localization results using databases without any update and with updating of 50% at point K.

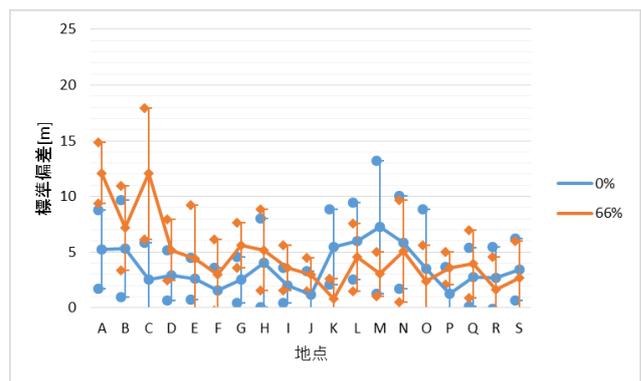


図 9 地点 K で 66%更新したデータベースと更新していないデータベースの測位精度

Figure 9 Localization results using databases without any update and with updating of 66% at point K.

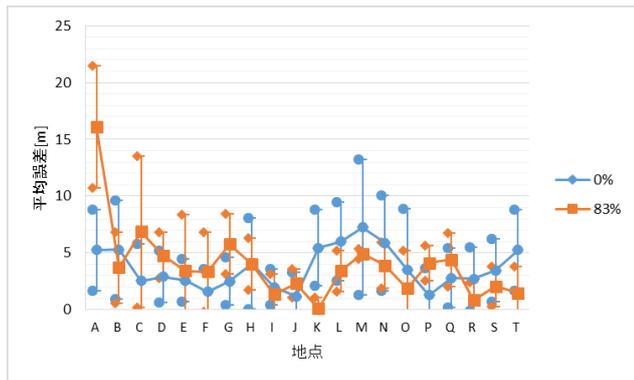


図 10 地点 K で 83%更新したデータベースと更新していないデータベースの測位精度

Figure 10 Localization results using databases without any update and with updating of 83% at point K.

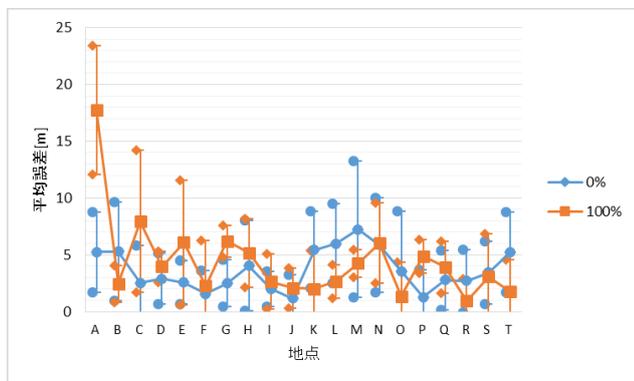


図 11 地点 K で 100%更新したデータベースと更新していないデータベースの測位精度

Figure 11 Localization results using databases without any update and with updating of 100% at point K.

表 3 地点 J, K, L における測位誤差の標準偏差

Table 3 Average localization error at points J, K and L

更新数 地点	0	180	360	540	720	900	1080
J	1.16	2.33	2.75	2.25	3.00	2.33	2.08
K	5.45	3.41	1.58	0.66	0.79	0.12	2.00
L	6.00	2.54	3.12	2.50	4.54	3.41	2.66

表 4 地点 J, K, L における平均測位誤差

Table 4 Standard deviation of localization error at points J, K and L

更新数 地点	0	180	360	540	720	900	1080
J	2.11	0.62	1.08	0.75	1.50	1.28	1.77
K	3.36	3.00	2.77	1.69	1.85	0.96	3.40
L	3.48	0.72	1.68	0.00	3.04	1.82	1.50

更新した地点 K と付近の地点 L における測位精度について、更新をしていない場合と比較すると、地点 K は平均誤差が 2.04~4.79m, 標準偏差は 0.36~2.4m, 地点 L は平均誤差が 1.46~3.50m, 標準偏差は 0.44~3.48m, 測位精度が上がっている。2 つの地点 K, L の測位精度が上がった原因として、更新していない時に、データベース作成時との状況の違いにより、現在地と距離の離れた地点が推定地点となっていたが、状況にあった更新をしたことにより、現在地と周辺を推定地点とする数が増えたからだと推測する。更新をしていない時のデータベースと、地点 K, L で推定精度が最も高い 83%, 66% のデータを更新したデータベースを用いてそれぞれの地点で 60 回測位した時の推定地点の数の分布を図 12~15 に示す。

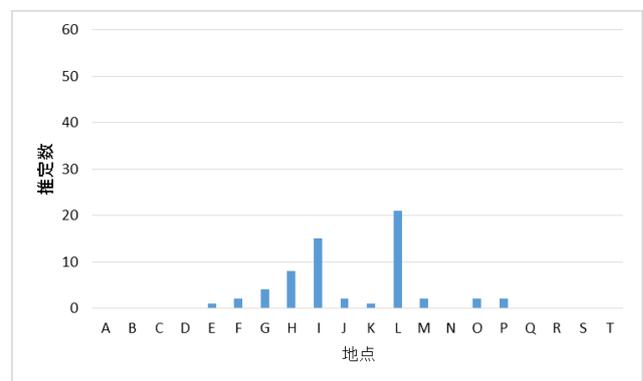


図 12 更新していないデータベースを用いて地点 K で測位した時の、推定結果の分布

Figure 12 Distribution of localization results using a database without any update at point K.

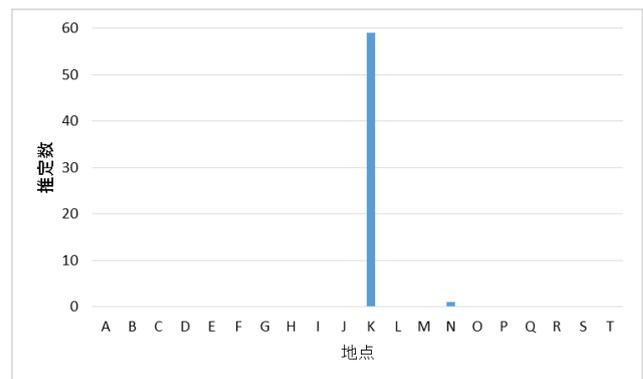


図 13 83%のデータを更新したデータベースを用いて地点 K で測位した時の推定結果の分布

Figure 13 Distribution of localization results using a database with updating of 83% at point K.

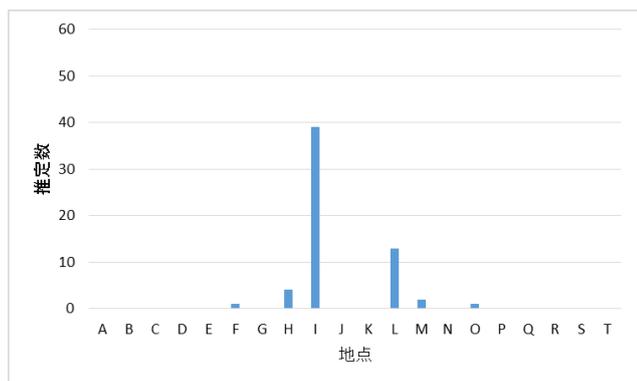


図 14 更新していないデータベースを用いて地点 L で測位した時の、推定結果の分布

Figure 14 Distribution of localization results using a database without any update at point L.

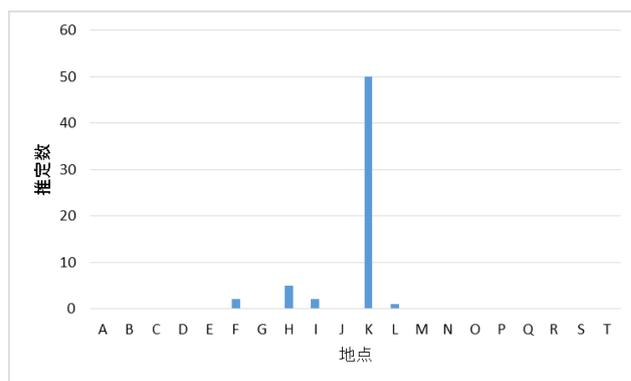


図 17 66%のデータを更新したデータベースを用いて地点 J で測位した時の、推定結果の分布

Figure 17 Distribution of localization results using a database with updating of 66% at point J.

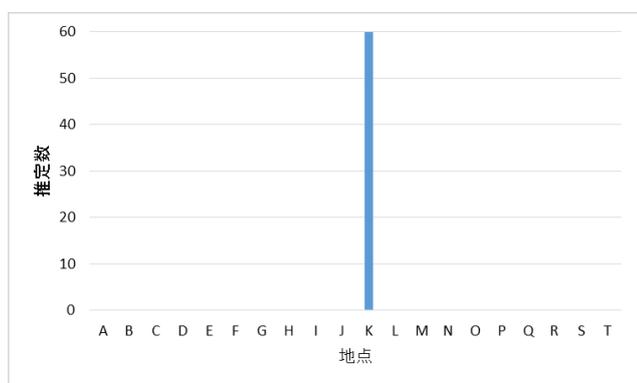


図 15 50%のデータを更新したデータベースを用いて地点 L で測位した時の推定結果の分布

Figure 15 Distribution of localization results using a database with updating of 50% at point L.

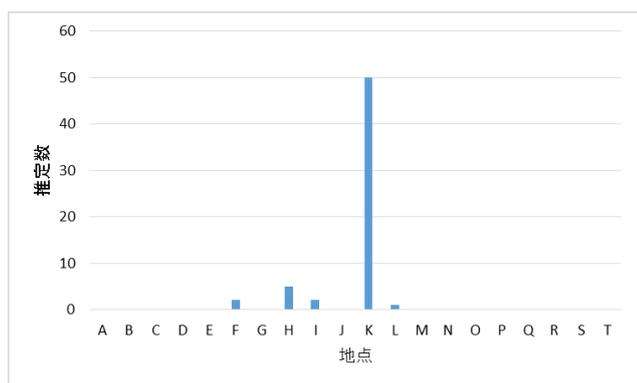


図 16 更新していないデータベースを用いて地点 J で測位した時の、推定結果の分布

Figure 16 Distribution of localization results using a database without any update at point J.

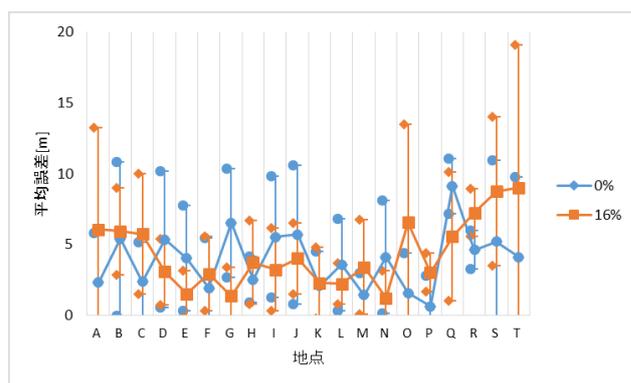


図 18 地点 E で 16%更新したデータベースと更新していないデータベースの測位精度

Figure 18 Localization results using databases without any update and with updating of 16% at point E.

測位精度が上がっているが、平均誤差は 1.09~1.87m、測位精度が下がっている。地点 J の平均誤差の測位精度が下がった原因として、地点 J を推定地点として決定付けしやすいデータが、K を更新したことにより J ではなく K と判断しやすくなっているからだと推測する。更新していないデータベースと、推定精度が一番低くなっていた 720 回分観測したデータを更新したデータベースを用いて地点 J で 60 回測位した時の推定地点の数の分布を図 16, 17 に示す。

更新した結果、地点 J で測位していても地点 K であると推定する数が増え、地点 J と推定しなくなった。このことから更新したことにより本来正しく推定できていたのが、隣の地点と推定されるようになり、結果、推定精度が下がったと考えられる。

次に、図 18,19 に地点 E で更新した時の測位結果を示す。

更新した結果、より現在地とその付近を推定地点と判断するようになり、推定精度が上がった。

一方、地点 K 付近の地点 J では標準偏差は 0.34~1.49m、

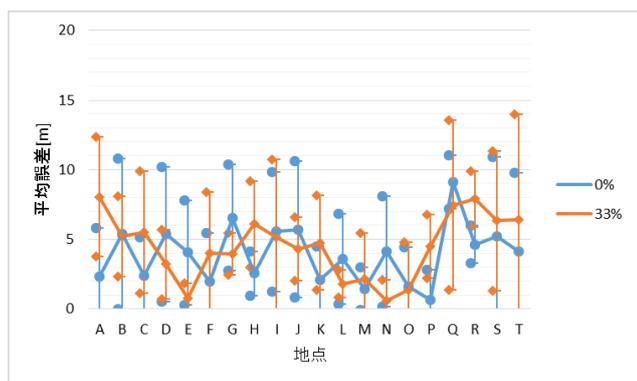


図 19 地点 E で 33%更新したデータベースと更新していないデータベースの測位精度

Figure 19 Localization results using databases without any update and with updating of 33% at point E.

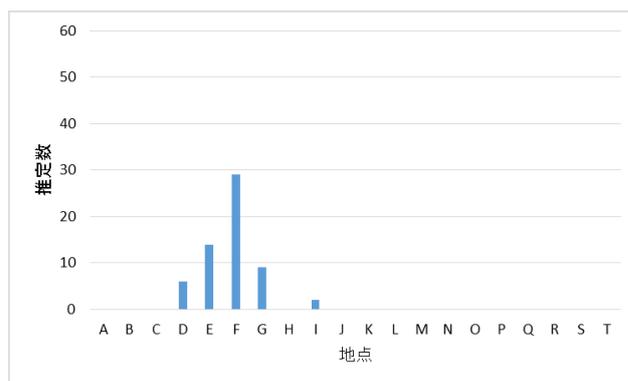


図 22 更新していないデータベースを用いて地点 E で測位した時の、推定結果の分布

Figure 22 Distribution of localization results using a database without any update at point E.

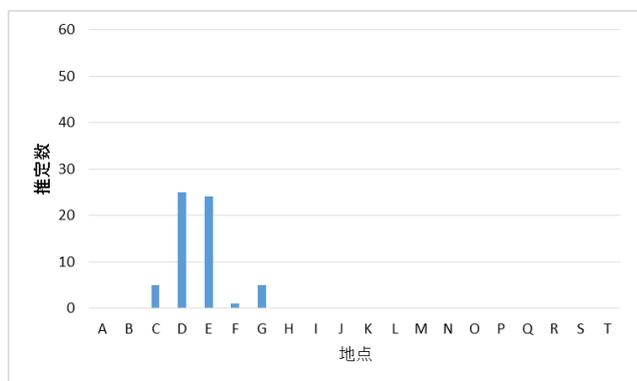


図 20 更新していないデータベースを用いて地点 D で測位した時の、推定結果の分布

Figure 20 Distribution of localization results using a database without any update at point D.

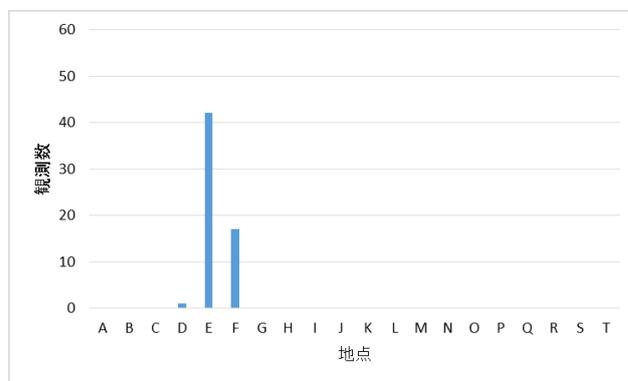


図 23 33%のデータを更新したデータベースを用いて地点 E で測位した時の、推定結果の分布

Figure 23 Distribution of localization results using a database with updating of 33% at point E.

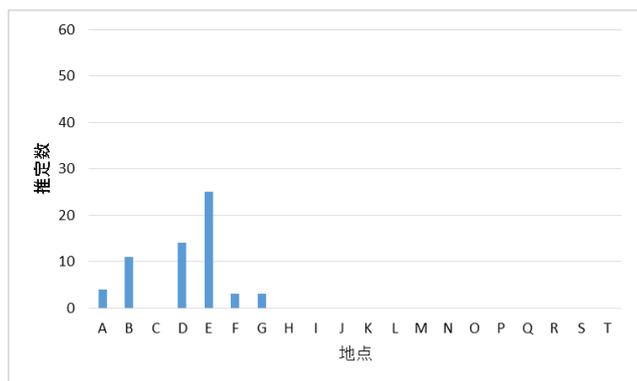


図 21 16%のデータを更新したデータベースを用いて地点 D で測位した時の、推定結果の分布

Figure 21 Distribution of localization results using a database with updating of 16% at point D.

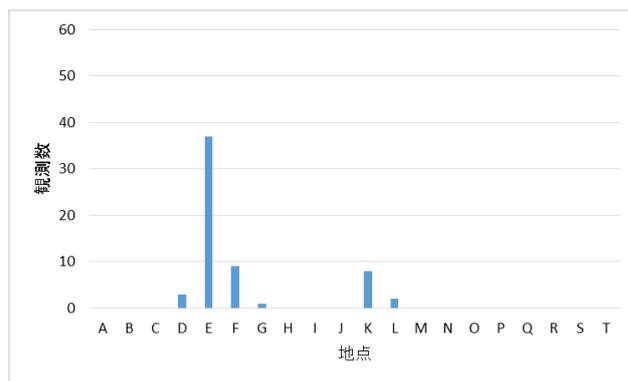


図 24 更新していないデータベースを用いて地点 F で測位した時の、推定結果の分布

Figure 24 Distribution of localization results using a database without any update at point F.

更新した地点 E と付近の地点 D では測位精度が良く、地点 F では測位精度が悪くなっており、地点 K で更新したときと似た結果となっている。図 20～25 に更新をしていない

時のデータベースと地点 D, E で推定精度が最も高い 16, 33%のデータを更新したデータベース、地点 F で推定精度が最も低い 33%のデータを更新したデータベースを用い

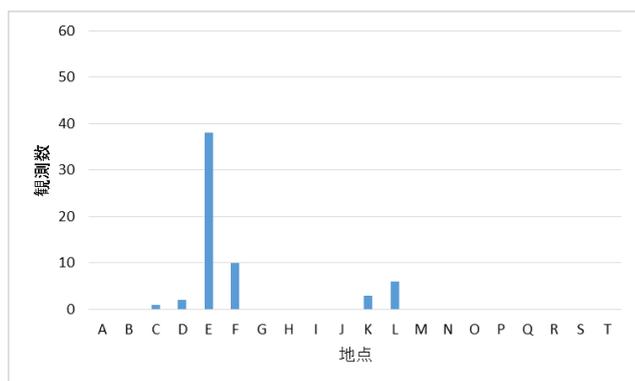


図 25 33%のデータを更新したデータベースを用いて地点 F で測位した時の、推定結果の分布

Figure 25 Distribution of localization results using a database with updating of 33% at point F.

それぞれの地点で 60 回測位した時の推定地点の数の分布を示す。

更新した地点 E では、自身を推定地点とする数が大幅に増えたことが測位精度に影響を与えていることが確認できる。一方、地点 D,F は、推定数に大幅な変化が見られず、更新の影響を受けていないことが確認できる。前の実験と比較した場合、更新したデータが少ない。このことが更新に影響を与える地点の数が少なくなった原因だと考えられる。

6. まとめ

本稿では、ユーザの位置が確定できる場合の受信情報を用いて環境分析に用いる無線 LAN 測位用データベースを更新する手法について検討を行った。

環境分析を行うための予備的な検討として、まず使用するデータベースのデータ量が適切かの確認を行った。1080 回観測を行ったデータベースが最も良い推定精度となった。

その後、一箇所の地点でデータベースを更新して測位を行い、それぞれの地点での測位にどのような影響があるのかを確認した。結果、更新した地点とその付近での測位精度が上がる事が確認できた。また、更新した結果付近の地点でも推定精度が悪くなる場合があることが分かった。また、更新するデータが少ないと更新の影響を受ける地点が少なくなることが分かった。

今後の課題として、今回行った実験では電波に影響を与える遮蔽物として用意した人間が一人だったので、観測した電波に大きな影響を与える状況が想定できていない。このため、遮蔽物となる人の数を増やし歩行させるなどの動作を行わせ、より多くの状況で実験を行う必要がある。

参考文献

[1] “平成 27 年版情報通信白書”

www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/, (参照 2017-01-20).

[2] 佐々木威, 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, 電気学会論文誌, C, 電子・情報・システム部門誌 126(10), pp.1212-1220, Oct.2006.

[3] 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, Vol. 114, No. 74, pp. 41-46, June 2014.

[4] J. Yin, Q. Yang and L. M. Ni, "Learning Adaptive Temporal Radio Maps for Signal-Strength-Based Location Estimation," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 7, No. 7, pp. 869-883, July 2008.

[5] 久保田僚介, 田頭茂明, 荒川豊, 北須賀輝明, 福田晃, "無線 LAN を用いた屋内位置推定における学習コスト削減のための高精度データ補間手法," 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, pp.1609-1618, Apr. 2013.

[6] 市嶋 洋平, 多田 和司, "「iBeacon」で人流を把握し売り時逃がさない, パルコや AOKI が試す," 日経 BigData, <http://business.nikkeibp.co.jp/article/bigdata/20140806/269748/>, Aug. 2014(参照 2017/02/06).

[7] 藤田迪, 佐々木威, 河口信夫. 地下鉄構内の制約条件を利用した無線 LAN 位置推定手法, 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム], Vol. 108, No. 138, pp. 153-157, July 2008.

[8] 坂涼司, 梶克彦, 河口信夫. 磁気と WiFi 電波強度を含んだマップ情報に歩行者デッドレコニングを併用した屋内位置推定手法, 信学技報, Vol. 113, No. 399, pp. 23-28, Jan 2014.