

RSSIの適用範囲の設定による屋内測位の誤差削減

梅田 拓哉¹ 高木 優希² 串田 高幸¹

概要：屋内で位置測位をする場合、机や棚といった障害物や人が動くことによる電波の反射、減衰により正確な位置の取得が困難である。また、電波干渉によっても電波の揺らぎが生じ測位誤差が発生する。本研究では、フィンガープリント法を用いて屋内測位を行う。学習フェーズでフィンガープリント法を用いて取得したRSSIの適用する範囲を設定する事によって、測位した際の誤差削減を目的とする。範囲の設定は、総取得回数に対するRSSIの種類を平均を算出し、その回数未満のRSSIを除外することで行う。本研究の評価方法は、適用する範囲設定のパターン比較と、提案適用前後における測位誤差の比較で行う。

1. はじめに

背景

通信技術の発展や、モノをインターネットに接続させるIoT(Internet of Things)技術のモノにあたるIoTデバイスの普及により、位置情報サービスは標準機能の1つになりつつある。屋外における位置情報サービスでは、GNSSを利用した手法がとられる[1][2]。しかし、屋内では建物の壁という障害物が存在するため、衛星の発する電波が反射や減衰する事により測位精度の低下が発生する[3]。そのため、正確な位置情報を取得することが困難である[4]。そこで、屋内においては、Wi-FiやBLE(Bluetooth Low Energy)といった近距離無線通信技術が使用される[5]。本論文では、すでに導入が広くされているため新たに設置する必要が無い事や、ルータの設置が少数で済むという利点からWi-Fiを用いて測位を行う[6]。

課題

図1は屋内測位で生じる課題のイメージ図である。屋内は屋外と比べて人や机や棚といった物理的な障害が多い傾向にあり、図1のように使用するアクセスポイント(以下、APとする)と測位対象との間にあることで、電波の減衰や揺らぎが発生し、APから対象物までの位置を測定した際の誤差が発生する原因となってしまう。また、物理的な障害の他にもスマートフォンやPCといった通信機器による電波干渉においても屋外より多い傾向にあるため影響が強く

く表れてしまう[7]。誤差が大きく表れる事で、実際に測位をした際に壁の中にめり込んでしまうことや、本来の位置とは全く違う位置を示してしまう可能性がある。本研究では、測位結果が壁の中や大きく異なる位置を算出しないように測位誤差を削減し、実際の位置と近い位置を示すようにする事を目的とする。

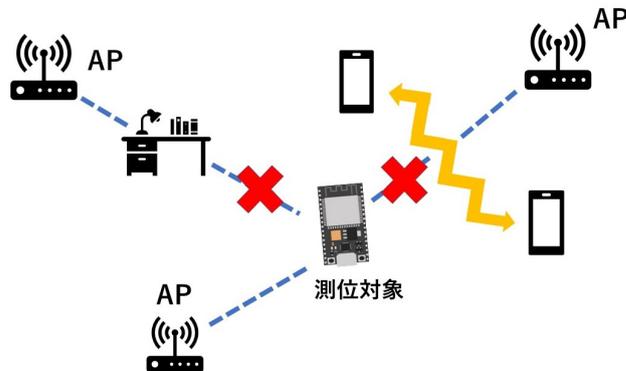


図1 障害による影響のイメージ図

各章の概要

第2章では本研究の関連研究について述べる。第3章では課題を解決するための手法および、ユースケースについて述べる。第4章では、提案した手法の実装や実験方法、実験を行う環境について述べる。第5章では、実験結果の評価とその分析について述べる。第6章では、提案手法についての議論を述べる。第7章では、本研究のまとめを述べる。

2. 関連研究

Haiderらは深層学習分類を用いて、Wi-Fiフィンガーブ

¹ 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1
² 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科コンピュータサイエンス専攻
〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1

リントベースの屋内測位のデータ前処理と後処理アルゴリズムを提案した。提案の結果は、前処理アルゴリズムがデータベース内の欠落した Wi-Fi 受信信号強度のフィンガープリントを効率的に埋めることが可能になり、シミュレーションで 88.96 %、リアルタイム実験で 86.61 % の成功率をもたらすことが出来た。また、後処理アルゴリズムでは、RSSI の環境に変動を識別し、Wi-Fi 信号の信号強度レベルの経時的な変動など、屋内環境の欠陥を補正するアルゴリズムを示した。後処理を施した実験結果は 9.05 ~ 10.94 % に向上させ、Wi-Fi 指紋ベースの屋内測位で 4m の精度で 95.94 % の最高成功率を示し。本研究は、フィンガープリントベースの測位で取得した RSSI に誤った決定を除去する点で Haider らと類似している点がある。そのため、Haider らの後処理アルゴリズムを参考にしながら本研究の提案を進めていく [8]。

Wang らは、高さの影響を受けない加重重心アルゴリズムを提案した。この研究では、収集した RSSI 信号に対してガウスフィッティングとカルマンフィルター処理を行う。その後、幾何学的方法によって垂直距離を除去を行うことで高さの影響を受けない加重重心アルゴリズムを提案した [9][10]。この提案により、従来の加重重心アルゴリズムと比較して平均誤差を 2m まで改善することを可能するという結果を示した。しかし、この研究は本研究のユースケースとしている対象物を探すという点において、2m の平均誤差は大きい。本研究では、この 2m 未満の平均誤差を示す結果を示していく [11]。

W.Xue らは、選択された最大 RSSI 観測の数の平均を用いることで RSSI 観測を改善させるアルゴリズムを提示した。実験は一般的なオフィスビルで行われ、提案したアルゴリズムは既存の平均アルゴリズムやカルマンフィルターリングアルゴリズム、粒子フィルターアルゴリズムより優れていることを示した [12]。本研究は三点測位によって観測した RSSI の結果全体の平均から測位誤差を改善させるため、1つ1つの AP の性能に依存すること無く測位を行う事が可能である。

3. 提案方式

本研究では、Wi-Fi の RSSI (Received Signal Strength Indicator) とフィンガープリント法という手法を用いて位置測位を行う [13]。RSSI とは、受信機が取得する受信信号強度の値の事である。また、フィンガープリント法とはあらかじめ学習フェーズとして測位対象とするエリア内の各地点において各 AP の RSSI を収集しておき、実装フェーズ時に測位端末で取得した RSSI と学習フェーズで収集した RSSI を比較し類似する値から位置決定を行う手法である [14][15]。

3.1 学習フェーズ

あらかじめ学習フェーズにて、基準となるデータセットの作成とそのためのデータ収集を行う。データ収集は人の動きや障害物による電波の反射や減衰、他の通信機器による電波干渉が発生する可能性がある環境にて行う。これは、測位フェーズの環境と同じ条件で基準となるデータを収集するためである。データ収集では、AP と対象物の間の距離を算出するために三点測位を用いる [16]。本研究は、測位誤差を 2m 未満に抑えることを目指すため、2m 毎の RSSI の変化量を取得していく。そこでまず、測位対象物から 1m の距離に AP を 3ヶ所設置し各 AP の RSSI を測定する。測定した RSSI をデータベースで保管し、提案を適用させるための標本とする。また、測位対象から離れた位置に AP を設置し RSSI を取得する動作を 3m、5m というように距離を変化させて同じように行う。

3.1.1 範囲の設定

本研究では、フィンガープリント法を用いて測位を行うため、測位端末で取得する RSSI との比較対象の基準となるデータ群を作成する。図 2 はこの提案のイメージ図である。青色は AP1、灰色は AP2、オレンジ色は AP3 を表している。図 2 の上部にある 3つの線は、3つの AP の決定した範囲を表している。AP1、AP2、AP3 の重なる場所に測位対象物がある可能性が高いと推測されるため、3つの AP の範囲を削っていき、図 2 に示している 3つの AP が重なっている所を小さくしていく。また、RSSI の範囲の除外には、式 (1) を用いて計算を行い、delete_AP 回に満たない RSSI を除外していくことで行う。図 2 の 3つの AP が重なっている範囲を小さくしていった結果を全て記録しておき、測位フェーズで全ての記録での測位を行う。その結果、最も実距離との誤差が小さかった結果の範囲を適用する。

$$(\text{取得回数}) \div (\text{適用させる RSSI の種類}) = \text{delete_AP} \quad (1)$$

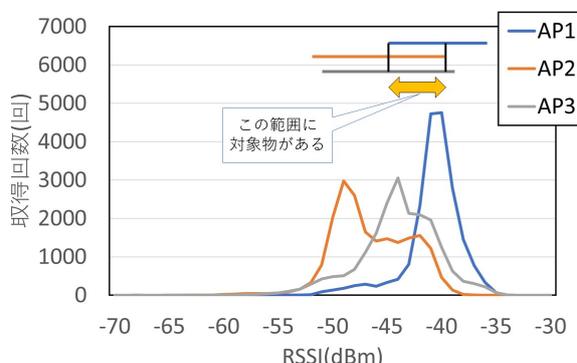


図 2 提案適用後のイメージ

3.2 測位フェーズ

測位フェーズでは、学習フェーズで3つのAPのRSSIが重なる範囲を小さくしていった各結果を基準に対象物からの距離を測定する。測定結果と実距離を比較し、最も測位誤差の小さい範囲を導く。その後、導いた範囲を適用した場合の誤差と何も適用していない場合の誤差を比較するために再び測位を行う。

ユースケース・シナリオ

ユースケース図を図3に示す。本研究はユースケース例として屋内でデバイスを紛失し、どこにあるか不明になった際の使用が挙げられる。対象物はIoTデバイスに限定せず、キーホルダー型にする事で財布や鍵にも使用が可能である。図3のように物を紛失した状態から測位を行うと、各APからのRSSIから位置を算出しどこにあるかを表示させる事を想定している。W.Xueらは最大RSSI観測の数の平均を用いることでRSSI観測を改善させるアルゴリズムを提示していたが、本研究では全体の3つのAPの平均からRSSI観測を改善させるアルゴリズムを提示する。また、Wangらの行った研究では、平均誤差2mまで改善させていた。そこで、本研究では実験を行う部屋の規模が類似しているため、Wangらの研究結果である平均誤差2mよりも誤差を小さくすることを目標に測位誤差の削減を行う[11]。



図3 ユースケース図

4. 実装と実験方法

実装

本研究ではプログラミング言語として、MicroPythonとPythonを使用し実装を行った。本研究の提案の全体図を図4に示す。本研究は測位対象物とするデバイス、APとするデバイス、取得したデータを保管するデータベースによって構成されている。測位対象物とするデバイスでは、各APからの信号を受信する機能と取得したデータをデータベースへ送信する機能を実装した。APとするデバイスにはWi-FiのAPにする機能を実装した。データベースでは送信されたデータを保存している。

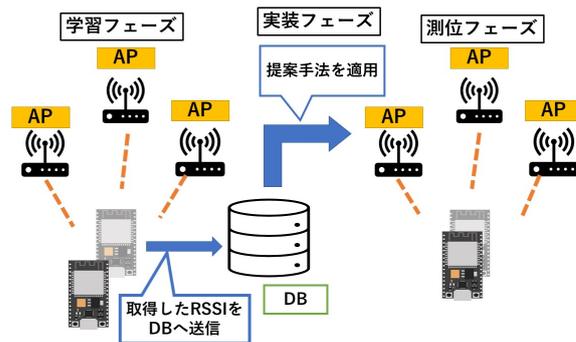


図4 提案の全体図

実験環境

標本データを収集するため、東京工科大学八王子キャンパスの研究棟A909教室と研究棟A910教室を使用し基礎実験を行った。研究棟A909は人の稼働が無い空き教室であり、研究棟A910は人の稼働がある教室である。基礎実験ではESP32を4台使用し、使用したESP32のうち3台をWi-FiのAPに、残り1台を測位対象物とした。また、本研究で使用するWi-Fiは、研究棟A910に設置されている2.4GHz帯のWi-Fiである。

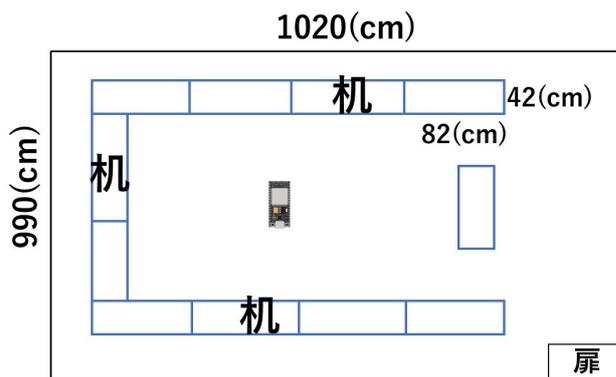


図5 研究棟A909

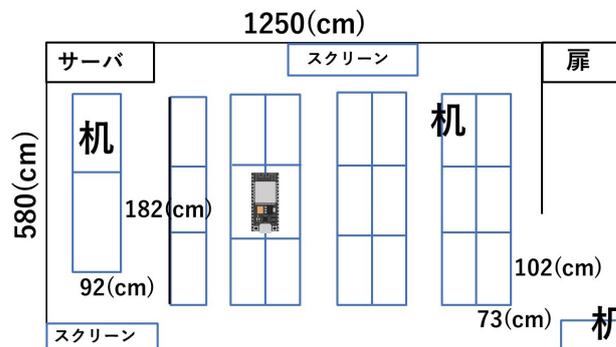


図6 研究棟A910

図5は研究棟A909教室の実験環境を示し、図6は研究棟A910教室を示す。また、図7はESP32の配置の様子を撮影したものである。データ収集はESP32を図7のよ

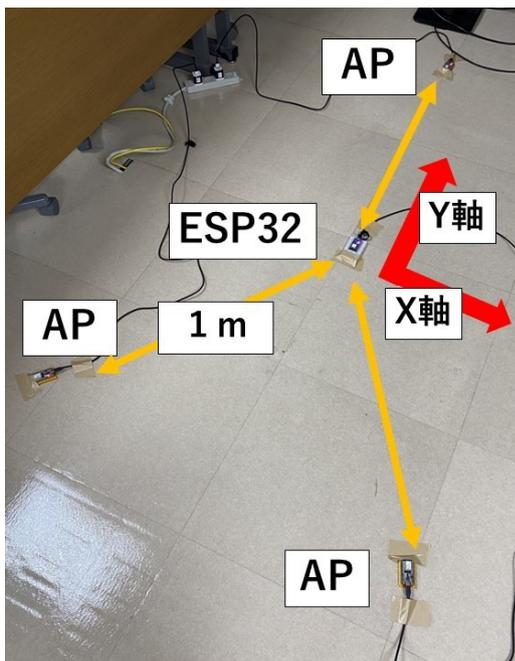


図 7 実験環境

うに、受信用 ESP32 から等距離に AP 用の ESP32 を配置して行った。

4.1 基礎実験

基礎実験として、研究棟 A909 及び研究棟 A910 にてデータ収集を行った。実験では両教室の中央に測位対象となる ESP32 を配置した。また、その位置から 1m, 3m, 5m 離してそれぞれの距離で三点測位を行い、RSSI を取得をする事で標本データの作成を行った。標本データの取得は研究棟 A909 では 13 時～18 時の時間帯で行い 1m は 5406 件、3m は 5054 件、5m は 6021 件のデータを取得した。また、研究棟 A910 では人の動きがある 8 時～19 時の間で 1m は 19978 回、3m は 16273 回、5m は 34039 回のデータ取得を行った。

5. 評価手法と分析手法

5.1 評価方法

本研究の評価方法を 2 つ挙げる。1 つ目は、本研究の除外する RSSI の導出である。提案の適用する RSSI の範囲を除去していった全ての結果を測位フェーズで測位を行い、実距離との測位精度を比較し最も誤差が小さい結果を得られた範囲を導く。2 つ目は、提案適用前の標本データを使用し測位を行った場合と提案適用後の標本データを使用して測位を行った場合の精度誤差の比較を行う。

5.2 基礎実験の結果

5.2.1 研究棟 A909

図 8 は研究棟 A909 にて、対象物から 1m 離れた場所に AP を設置した際の RSSI の取得結果をグラフに表したも

のである。図 9 および、図 10 はそれぞれの 3m, 5m 離れた位置に設置した際のグラフである。図 8, 9, 10 は X 軸が RSSI の取得回数、Y 軸が RSSI を表している。研究棟 A909 で行った実験では、3m の時、-40dBm～-44dBm の範囲に 1871 回～2258 回、5m の時では、-43dBm～-46dBm の範囲に 2231 回～2455 回と取得回数が集中している。図 9, 図 10 のように値が集中する結果が得られたのは、電波の反射や減衰の原因となる障害物や人の動きや電波干渉の影響が少なかったためと分析される..

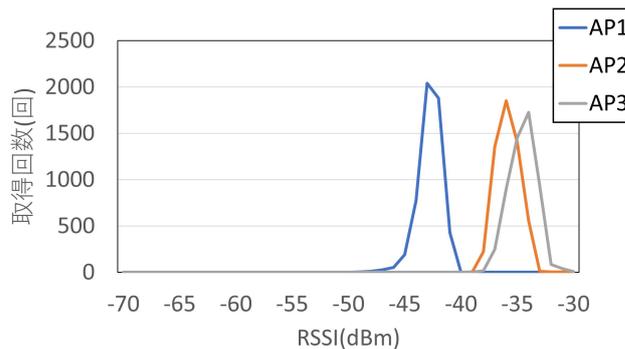


図 8 研究棟 A909(1m)

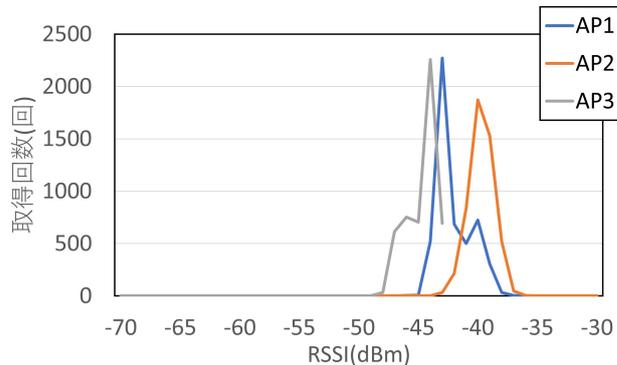


図 9 研究棟 A909(3m)

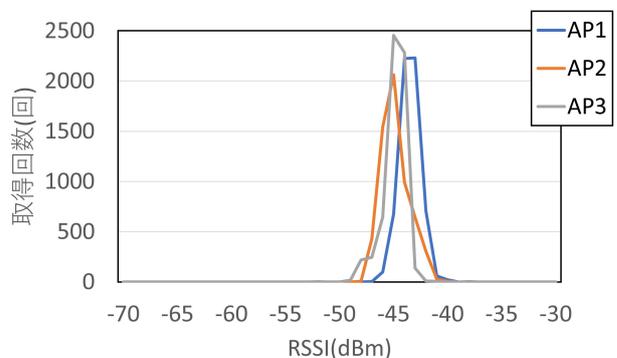


図 10 研究棟 A909(5m)

しかし、図 8 の 1m での結果では、AP2 と AP3 のグラ

フは-34dBm~-36dBmの範囲に1725回~1851回と集中しているが、AP1のグラフのみ他の2つと重なっていない。研究棟A909で行った1mでの実験は、他に通信を行っている機器が無くAPと対象物の間には何も存在していなかった。しかし、この結果が得られた要因としてAPに使用したESP32自体の出力強度が関係していると推測される。

5.2.2 研究棟A910

下記の図11, 12, 13は研究棟A910で行ったそれぞれの距離からのRSSIの取得結果をグラフに表したものである。このグラフもY軸が取得回数、X軸がRSSIとしている。

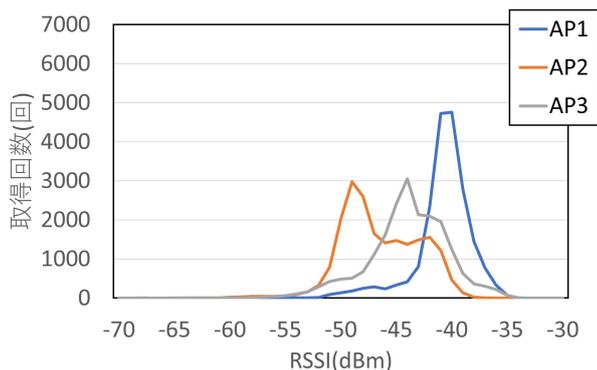


図 11 研究棟 A910(1m)

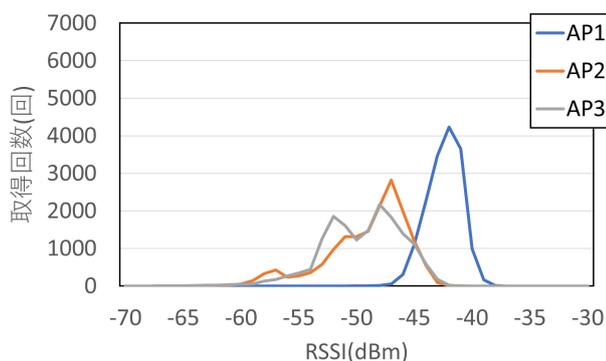


図 12 研究棟 A910(3m)

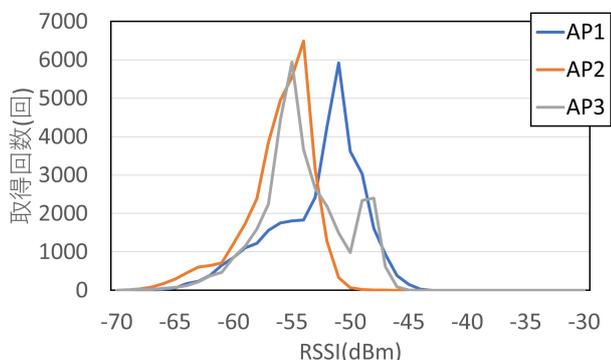


図 13 研究棟 A910(5m)

研究棟 A910 は障害物や人の動き、電波干渉が多い環

境のため、対象物と AP の距離が 5m の時に RSSI が-51dBm~-56dBm の範囲に 4266 回~6487 回と集中したものの、研究棟 A909 の結果と比べて、取得回数が多かった RSSI が集中せず、取得した RSSI の範囲も広く表れた。

5.3 分析

本研究では、2.4GHz の Wi-Fi とフィンガープリント法を用いて屋内測位を行う際の学習フェーズにおける RSSI の範囲設定をし、実装フェーズでの測位誤差の削減を目的とした。前期課程では、データセット作成のための基礎実験として研究棟 A909 と 910 教室にてデータ収集を行った。その結果、研究棟 A909 教室では測位デバイスから 3m の地点では、-40dBm~-44dBm の範囲、5m の地点では、-43dBm~-46dBm の範囲に集中した RSSI が取得されたが、1m の地点では、-34dBm~-36dBm の範囲のグラフと-43dBm が最大取得回数のグラフが得られた。また、研究棟 910 では、測位デバイスから 1m の地点では、-43dBm~-46dBm、3m の地点では、-43dBm~-46dBm の範囲、5m の地点では、-43dBm~-46dBm の範囲に集中した RSSI が取得された。

研究棟 A910 での取得結果では、研究棟 A909 と異なり RSSI の範囲が広く、グラフの山も三角ではなく台形のような形をとっている。これは、人の動きや障害物が多い事や、研究棟 A910 は多くの PC や他の ESP32 が通信を行っているため電波干渉の影響が大きいと分析する。

6. 議論

人の動きが無い教室でデータ収集を行った測位対象物から 1m 離れた配置での計測において、ある 1 つの AP が示したグラフが他の 2 つの AP の示したグラフから外れた位置に現れた。対象物と AP の間には障害物となる物が存在していなかった事や、その他の 2 つの AP は互いに近い位置にグラフが現れた事から、原因を調査するため必要がある。そこで、今回収集した位置とは違う 1m 地点での RSSI の取得や、各 AP の位置を入れ替えて収集を行い、配置した場所によって RSSI が変化したことが要因か、使用した ESP32 による要因かを明らかにする。また、基礎実験で行ったデータ収集は実験数が少なかったことから、配置のパターンや各 AP からの距離が異なる場合のデータが不足している。そのため、距離はそのままに AP に使用した ESP32 を入れ替えた測定や、1m、3m、5m、の他に 2m、4m 地点での測定を行い不足データの収集を行う。そして 2m と 4m を加えた 1m~5m までのデータを基に本研究の提案手法を適用し、2m ごと 1m ごとの細かい範囲設定を行う。

7. おわりに

本研究では、ESP32 を用いて Wi-Fi の RSSI を取得し屋内測位を行うためのデータ収集を行った。実験は東京工科大学の研究棟 A909 教室と研究棟 A910 教室で行い、A909 では 13 時～18 時の時間帯、A910 では人の動きがある 8 時から 19 時の時間帯で実施した。そして、収集した各データを X 軸を RSSI、Y 軸を取得回数のグラフに表し取得結果の分析を行った。

参考文献

- [1] Zhu, N., Marais, J., Bétaille, D. and Berbineau, M.: *GNSS Position Integrity in Urban Environments: A Review of Literature*, Vol. 19, No. 9 (2018).
- [2] Djuknic, G. M. and Richton, R. E.: *Geolocation and assisted GPS*, Vol. 34, No. 2 (2001).
- [3] Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I.: *A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks*, Vol. 11, No. 1 (2009).
- [4] Kaemarungsi, K. and Prashant Krishnamurthy, j. .: Analysis of WLAN' s received signal strength indication for indoor location fingerprinting.
- [5] Mori, T., Kajioaka, S., Uchiya, T., Takumi, I. and Matsuo, H.: *Experiments of position estimation by BLE beacons on actual situations*, IEEE, JAPAN, 2015 ieeec 4th global conference on consumer electronics (gcce) edition (2015).
- [6] Bahl, P. and Padmanabhan, V. N.: *RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system*, Vol. 2 (2000).
- [7] Li, Y., Gao, Z., He, Z., Zhuang, Y., Radi, A., Chen, R. and El-Sheimy, N.: *Wireless Fingerprinting Uncertainty Prediction Based on Machine Learning*, Vol. 19, No. 2 (2019).
- [8] Haider, A., Wei, Y., Liu, S. and Hwang, S.-H.: *Pre- and Post-Processing Algorithms with Deep Learning Classifier for Wi-Fi Fingerprint-Based Indoor Positioning*, Vol. 8, No. 2 (2019).
- [9] Csató, L. and Opper, M.: *Sparse On-Line Gaussian Processes*, Vol. 14, No. 3 (2002).
- [10] Chen, Z., Zou, H., Jiang, H., Zhu, Q., Soh, Y. C. and Xie, L.: *Fusion of WiFi, Smartphone Sensors and Landmarks Using the Kalman Filter for Indoor Localization*, Vol. 15.
- [11] Wang, P. and Luo, Y.: *Research on WiFi Indoor Location Algorithm Based on RSSI Ranging* (2017).
- [12] Xue, W., Qiu, W., Hua, X. and Yu, K.: *Improved Wi-Fi RSSI Measurement for Indoor Localization*, Vol. 17, No. 7 (2017).
- [13] Malyavej, V., Kumkeaw, W. and Aorpimai, M.: *Indoor robot localization by RSSI/IMU sensor fusion* (2013).
- [14] Suroso, D. J., Cherntanomwong, P., Sooraksa, P. and Takada, J.-i.: *Location fingerprint technique using Fuzzy C-Means clustering algorithm for indoor localization* (2011).
- [15] Fang, S.-H., Chang, W.-H., Tsao, Y., Shih, H.-C. and Wang, C.: *Channel State Reconstruction Using Multilevel Discrete Wavelet Transform for Improved Fingerprinting-Based Indoor Localization*, Vol. 16, No. 21 (2016).
- [16] Costa, J. A., Patwari, N. and Hero, A. O.: *Distributed Weighted-Multidimensional Scaling for Node Localization in Sensor Networks*, Vol. 2, No. 1, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2006).