

# 距離に対する RSSI の基準範囲の設定による 屋内測位の誤差削減

梅田 拓哉<sup>1</sup> 高木 優希<sup>2</sup> 串田 高幸<sup>1</sup>

**概要:** 屋内における位置測位では受信した電波の強度を示す RSSI を用いて行う。本研究ではフィンガープリント法を用いて、アクセスポイントから測位対象までの距離を取得し測位を行う。また、予め収集したデータに対して正規化を行う事で整数 (m) 単位の各距離に対する RSSI の範囲を設定し、補正を行う事で測位誤差を削減する。測位結果と巻き尺で測定した実距離の結果を比較した誤差を評価とする。1(m) ほどの基準範囲を求めた結果、1(m) の場合-49(dBm)~-56(dBm)であったが、定めた範囲において3つの AP のうち1つの AP の値が少なく有効とは言えない結果となった。また、2(m) の場合-54(dBm)~-59(dBm)、3(m) の場合-51(dBm)~-56(dBm)、4(m) の場合-57(dBm)~-61(dBm)、5(m) の場合-55(dBm)~-63(dBm) という結果になった。本来は受信デバイスからの距離が遠いほど RSSI が小さくなるが、AP に使用した機器や環境による RSSI の影響が強く表れたことにより全ての距離で同じような補正結果となった。基準とする範囲の階級幅は決定できたが、階級が重なり過ぎているため本研究で挙げた提案の状態では使用できない。そのため、提案に修正を加える必要がある。

## 1. はじめに

### 背景

位置情報は現在位置の取得や交通状況の把握、ナビゲーションサービス、物流や製造現場の管理に活用されている [1]。屋内における位置情報の取得には、近距離無線技術が用いられる [2]。屋内測位で使用される近距離無線技術の代表として Wi-Fi がある [3]。Wi-Fi を使用した測位を行うメリットとして社会の無線環境が整備されたことで、新たにルータを設置する数を抑制する事が可能である点が挙げられる [4]。また、測位方法を導入する際は既存の無線環境を活用出来るため、導入が容易である。屋内測位では無線通信機器が受信する信号の強度を示す RSSI(Received Signal Strength Indicator) を用いて行う [5]。

### 課題

屋内で位置測位を行う際、測位の対象物とアクセスポイント (以下、AP とする) の間に人や障害物がある事で電波の反射や減衰が発生する。また、周囲に同周波数帯の通信を行っている他の機器が存在する事で電波干渉が発生す

る。その結果、電波が揺らぐため正確な測位結果を得ることが困難になるという事が本研究の課題である [6]。

### 1.1 基礎実験

課題を調査するため、東京工科大学研究棟 A909(10.2m × 9.9m)、研究棟 A910(12.5m × 5.8m) 教室を使用して基礎実験を行った。研究棟 A909(以下、A909) と研究棟 A910(以下、A910) はそれぞれ人の動きや他の通信機器 (Wi-Fi 通信を行う機器) が無い環境と有る環境である。また、A909 での実験は 2022 年 6 月 15 日の 13 時~17 時の間で行い、A910 での実験は 2022 年 6 月 22 日の 15 時~18 時の時間で行った。実験は 2 つの教室にて、使用する対象物と AP の種類、2 機器間の距離を同条件に設定し RSSI を取得をした。対象物と AP の距離を 1(m) に設定して 5000 件取得した結果を図 1 に示す。青のグラフは人の動きや障害物が無く、他の通信機器が無い A909 の結果を表し、赤のグラフは A910 の結果を表している。2 つを比較すると青のグラフより赤の方が多くの度数を取っている。この結果から、人の動きや障害物、他の通信機器が RSSI に影響を与える事が確認された。

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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

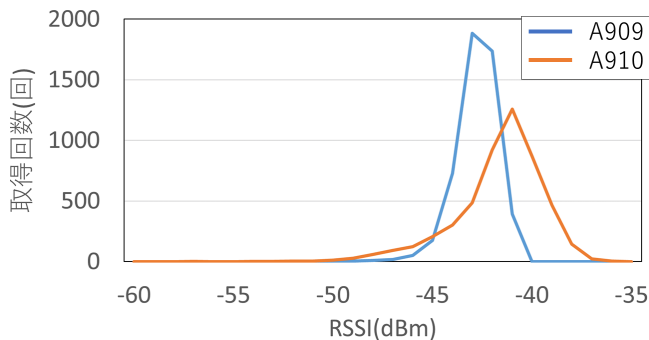


図 1 A909 と A910 の比較

## 各章の概要

1 章では本研究の背景および解決する課題について記述した。2 章では本研究の関連研究について、3 章では課題を解決するための提案方式と想定するユースケース・シナリオについて記述する。4 章では提案方式の実装方法について、5 章では実験の方法と環境および実験の結果とその分析について記述する。6 章では実験を通しての議論、7 章では本研究のまとめを記述する。

## 2. 関連研究

Jayakanth Kunhoth らの研究では、屋内測位と道案内システムに関するサーベイを行った [7]。歩行者自律航法や Wi-Fi, RFID, 可視光, Bluetooth, 超広帯域無線の既存のシステムに対しての分類や分析を行った。また、過去 6 年間に提案された屋内測位と道案内の方法についてレビューを行った。さらにそのメリットやデメリットを述べ、評価基準についても説明を述べた。評価基準として精度や正確さ、コスト、スケーラビリティ、ロバスト性、ユーザビリティが挙げられていた。

Lu Bai らの研究では、BLE ベースの屋内システムについて述べている [8]。複数のセンサーが設置され、ユーザの特定の位置があらかじめ記録しておき、RSSI を取得している。筆者たちは三辺測量アルゴリズムによる座標の計算と、36 箇所ある 1 平方メートルに区切った範囲を用いてユーザの位置特定を行っている。さらに平滑化手法を用いてノイズの除去を行っている。

Myungin Ji らの研究では、4 つの BLE ビーコンと 2 つの Wi-Fi アクセスポイントを使用し、経路損失モデルを求めた [9]。各信号は基準距離 1(m) から 13(m) の間で 2(m) 間隔で 1 分間測定した。計算で求めた経路損失モデルを用いてマップを作成し、シミュレーションで測位データを生成した。BLE 信号は Wi-Fi のアクセスポイントと比較して信号の強さが弱いため、より多くのビーコンが必要という結果であった。

## 3. 提案

### 提案方式

本研究はフィンガープリントと三点測位を用いて位置測位を行う [10]。しかし、RSSI は環境に依存するため学習フェーズで取得した生データのままで誤差が大きく精度の信頼性が低い。そこで、収集した RSSI から各距離に対する RSSI の基準を設定した結果をフィンガープリントの結果とすることで測位誤差の削減をする。また、測位結果を整数 (m) でを出力し小数点以下は切り捨てる。小数点以下を切り捨てるのは、ユースケースから誤差 1(m) 未満の高精度の測位は必要ではないと判断したためである。

### 3.1 フィンガープリント

フィンガープリントとは学習フェーズと計測フェーズの 2 段階からなる、多くの屋内測位に用いられる手法である。学習フェーズでは、測位時の基準となるデータセットの作成を行うためのデータ収集を行う。計測フェーズでは、新たにデータを収集し、学習フェーズの値と照合をする。その結果類似する値から位置決定を行う手法である。また、計測フェーズ時の収集データ数はリアルタイムで位置を知りたい際に用いる事を考慮し 1~3 分で取得出来るデータ数が望ましい。

### 3.2 三点測位

三点測位とは、三ヶ所に配置した AP や BLE ビーコンとデバイス間で通信を行い、RSSI の値によって距離を算出する位置測位に用いられる方法である [11]。電波は放射状に放たれるため、AP を図 2 のように配置する事で RSSI から 3 つの範囲が重なる地点に受信デバイスが存在すると導出することが可能である。

### 3.3 基準範囲の決定

基準範囲の決定には学習フェーズで収集した RSSI データを用いる。RSSI データは、8 時~18 時 59 分 (以下、アクティブ時間) に時間帯で、距離毎にそれぞれ 1 万件取得した。アクティブ時間は人の動きあり、通信する機器の数が常に変動している時間帯である。図 2 は提案方式を用いて範囲を設定したイメージを表したグラフである。色のついていいる範囲は右からそれぞれ 1(m), 2(m), 3(m), 4(m), 5(m) の範囲とする。本研究では収集したアクティブ時間のデータを用いる事で、色のついていいる範囲である基準とする階級幅を決定する。また、階級幅の決定には学習フェーズで収集した三点測位の結果を用いる。測位結果は受信デバイスから各 AP までの距離を PC のコンソールに出力する。測位時には 2 分間 RSSI を取得し、その最頻値を取得した AP の結果とする。Yuwei Chen らの研究では測位

時の RSSI サンプル数を 2 分間で 20 サンプル取得している [12]. そのことから本研究は測位時の RSSI の取得時間を 2 分間として行う.

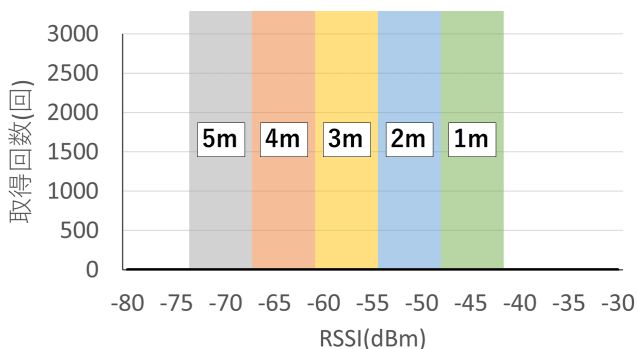


図 2 範囲決定

図 3 は受信デバイスから 3(m) 地点に AP を配置し RSSI を取得した結果をグラフに示した物である. このデータは 2022 年 10 月 5 日 15 時 30 分~10 月 6 日 12 時の間で取得したデータである. 本研究は ESP-WROOM-32(以下, ESP32 とする) というマイクロコントローラを AP として用いている [13]. ESP32 は型番や機器ごとに出力電圧が変化するため, 同じ距離から取得しても図 3 のように, 1 つ 1 つの AP が取る RSSI の階級幅に大きな違いは見られないが, 値は大きく違うという結果になる.

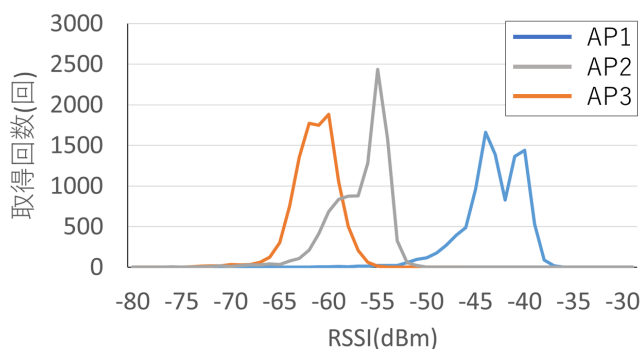


図 3 補正前

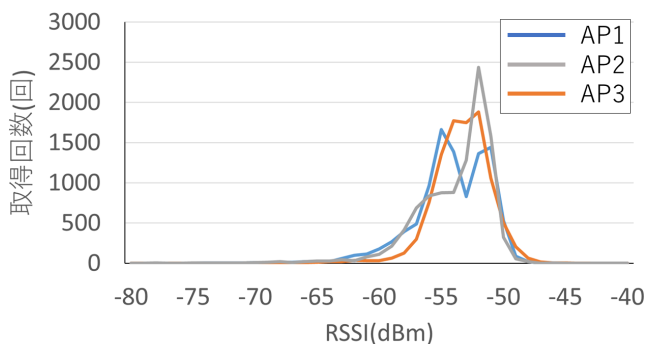


図 4 補正後

そのため 3 つの結果に補正を加え, 結果のグラフを重ねて階級幅の決定を行う. 補正には Microsoft 社が販売している Excel を用いて行う.

まず, 3 つのグラフを重ねる基準となる RSSI の度数を決定するため収集した 3AP の RSSI それぞれの平均値を算出する. 次に 3 つの平均値の偏差を算出する. 最後に, もとの RSSI からそれぞれの偏差を引く. 偏差は RSSI が整数で取得されることから小数点第一位で丸める. 図 4 に図 3 グラフのグラフを重ねた結果を示す. 3 つのグラフを重ねた結果から距離ごとの適用する階級幅を決定する. まず, 補正後のデータから 3 つ全ての AP が RSSI を取得出来ている度数を数える. 図 4 のデータでは -47(dBm)~ -72(dBm) の範囲で全ての AP から RSSI が取得出来ているため, この場合は度数が 26 である.

$$(\text{取得回数}) \div (\text{RSSI の度数}) = \text{Val\_RSSI} \quad (1)$$

次に, 式 (1) を用いて階級幅を決定する. 図 4 の場合, 取得回数が 10000 回, RSSI の度数が 26 のため Val\_RSSI は 384 回 (小数点以下は切り捨て) である. RSSI のデータから 3 つの AP 全て 384 回以上取得できた範囲を調べると, -51(dBm)~ -56(dBm) でとなった. これを 3(m) 地点の階級として決定する. これらの動作を全ての距離で行う.

#### ユースケース・シナリオ

本研究はユースケース・シナリオとしてショッピングモールやデパートでの活用を想定している. ショッピングモールやデパートは同階層内や階層ごとに異なる店舗が多数展開しているため, 自分が現在どこに居るのか分からなくなることが多い. そこで位置測位を行い, 現在どの位置にいるか知ることが出来るようにする. そのため迷うことが減る事や, 目的の店舗や商品の売り場までナビゲーションする事が可能になる.

#### 4. 実装

本研究では ESP32 を 4 台, 結果を保存するための Web サーバを使用し実験を行う. 4 台のうち 1 台を測位対象とする機器とし, 残りの 3 台を AP とする. 本研究では東京工科大学クラウド分散システム研究室に設置している Wi-Fi を使用する. 本研究の構成図を図 5 に示す. 3 台の ESP32 を本研究で使用している Wi-Fi を親機とした AP にする. 測位対象とする ESP32 では, 各 AP の RSSI を取得し, その結果を Web サーバへ送信する. Web サーバでは収集した RSSI を保存しておき, 測位時に取得する RSSI と照合する. その結果を出力機器へ送信する.

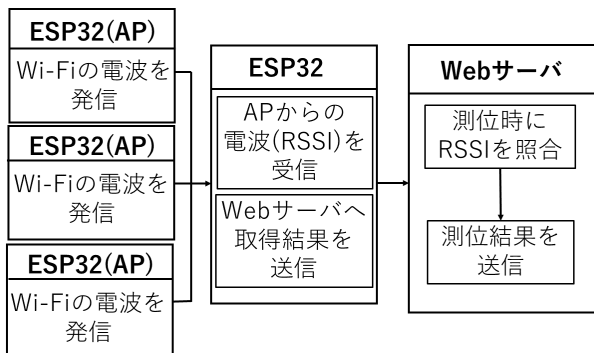


図 5 構成図

## 5. 実験と分析

### 実験環境

本研究では A910 を使用して行った。A910 は 5.8(m) × 12.5(m) の教室である。また、8 時～19 時の間は人の出入りがあり、常に機器が通信を行っている環境である。A910 を図 6 に示す。フィンガープリントの学習フェーズでは図のように右から 3 ブロック目の机に受信デバイスとなる ESP32 を設置し、その位置から巻き尺で 1(m) 離れた位置を計測し AP となる ESP32 を 3 台設置した。また、受信デバイスを中心とした円を描いたとき隣り合う AP と中心が作る角が 90 度以上となる位置に配置した。これは電波へ影響を与える要素が多い実験環境なため、位置による取得データの偏りを防ぐためである。受信デバイスから 1(m) 離れた位置でのデータ収集が終了すると、受信デバイスの位置は変更せず 5(m) まで 1(m) ずつ離れた位置での計測を行った。

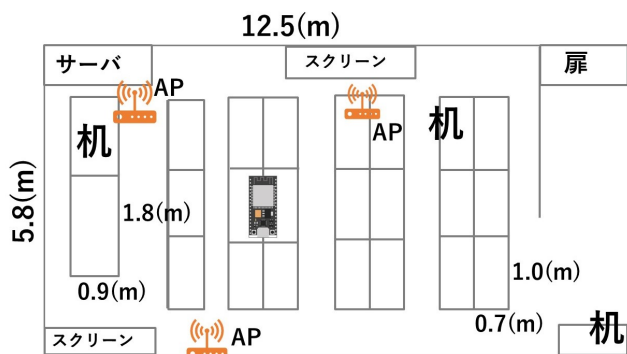


図 6 研究棟 A910

### 実験結果と分析

1(m), 2(m), 4(m), 5(m) の RSSI の取得したままの結果を図 7, 8, 9, 10 に示す。青のグラフは AP1, 灰色のグラフは AP2, オレンジのグラフは AP3 の RSSI の結果を表している。また、x 軸は RSSI の値を表し、y 軸は RSSI の取得回数を表している。取得したままのデータでは 3 つ

のグラフが重なっていない範囲が大きい。そのため提案で挙げた方法を用いて補正を行う。

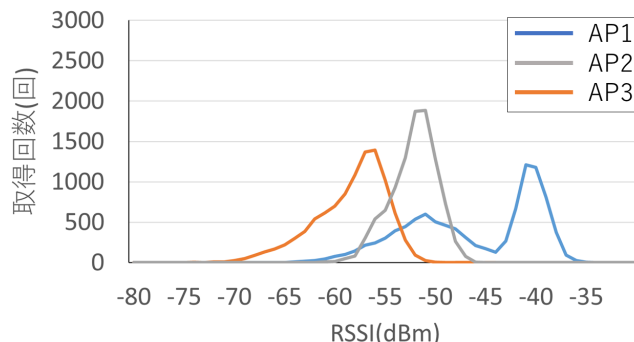


図 7 1m(補正前)

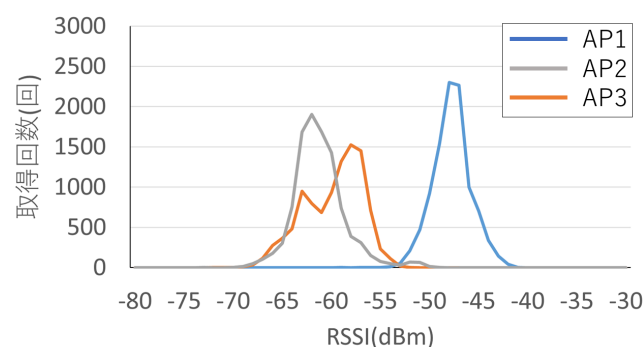


図 8 2m(補正前)

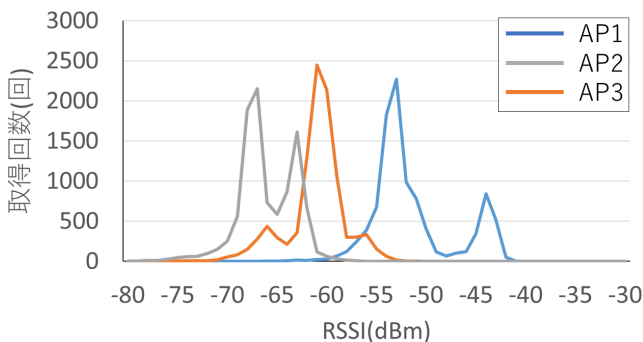


図 9 4m(補正前)

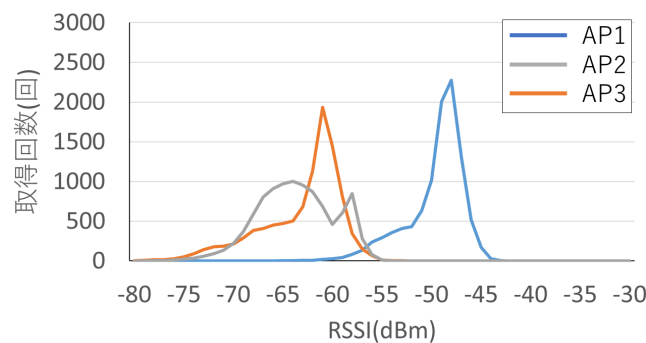


図 10 5m(補正前)

## 5.1 補正後

補正を行った結果のグラフを図 11, 12, 13, 14 に示す。3つのグラフを重ね、提案手法の階級幅の決定を行うと、1(m)では3つ重なる度数が20, 有効とする取得回数が500回となるため、範囲は-49(dBm)~-56(dBm)となる。しかし、AP1が-49(dBm)~-56(dBm)の間で500回を下回る範囲が大きいと有効とは言えない。2(m)では、度数が16, 有効とする取得回数が625回となるため、範囲は-54(dBm)~-59(dBm)となる。3(m)では、度数が26, 取得回数が384回となるため、範囲は-51(dBm)~-56(dBm)となる。

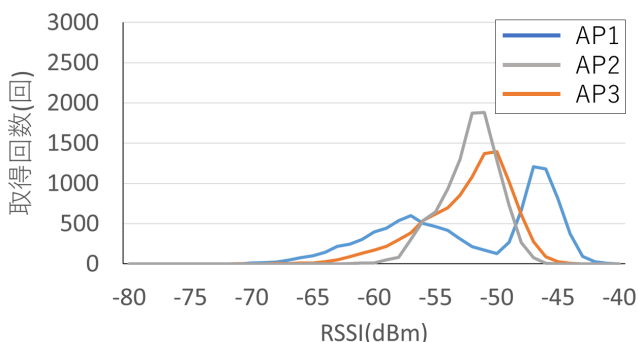


図 11 1m(補正後)

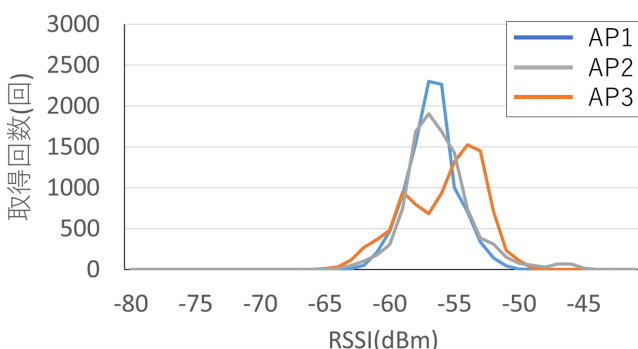


図 12 2m(補正後)

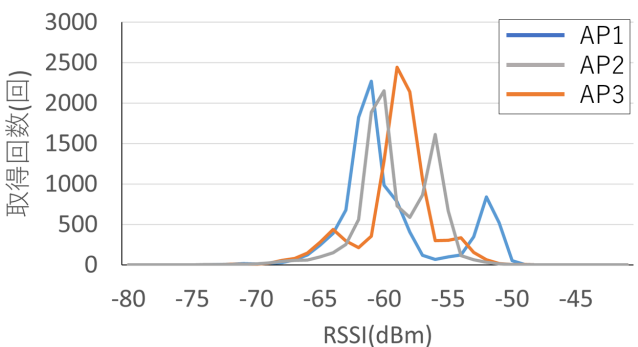


図 13 4m(補正後)

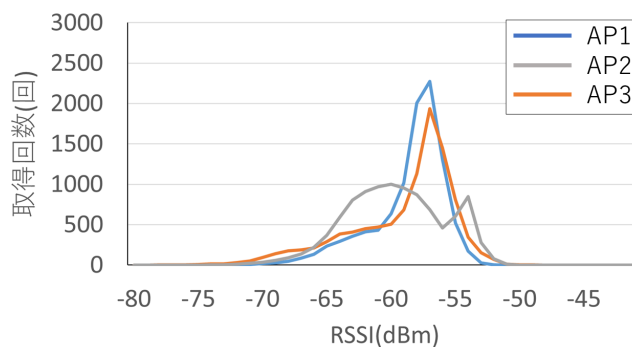


図 14 5m(補正後)

4(m)では、度数が24, 取得回数が416回となるため、範囲-57(dBm)~-61(dBm)となる。5(m)では、度数23, 取得回数が434回となるため、範囲は-55(dBm)~-63(dBm)という結果となった。

## 6. 議論

RSSIの結果に補正をかける事で三点測位のグラフを重ね、距離ごとの階級幅を導く事は成功した。しかし、本来は1~5(m)の順にRSSIが弱くなるのが理想であるが、1, 3, 2, 5, 4(m)の順でRSSIが弱くなるという結果となった。そのため、再実験として、APの設置場所の変更や取得する時間帯を変更して実験を行う、そして、変化を観察する必要があると考える。また、有効と判断できる範囲の中で最もRSSIが強い3(m)と最も弱い4(m)を比較すると、最大値同士の差は6, 最小値同士の差は5であった。これでは、範囲が重なりすぎているため測位に使用できない。これは、提案手法で挙げた補正方法では取得したRSSIの値が極端に違うAPがあると、その値に全体の補正が依存することが要因であると考えられる。そのため実験場所は変更せず、人の動きが無く、Wi-Fi通信を行う機器の数が変動しない時間帯でのRSSIを用いて階級幅の中央値を決定する手法をとる事を提案する。

## 7. おわりに

本研究ではフィンガープリント法を用いて、アクセスポイントから測位対象までの距離を取得し測位を行った。本研究は、学習フェーズで収集したRSSIに補正をかける事で3点からの結果のグラフを重ねた。そして、3つのグラフが重なった範囲を用いて距離ごとの階級幅を決定するという手法を提案した。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、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の高木優希氏には多くの適切なご助言を賜りました。心より御礼申し上げます。



参考文献

- [1] Zafari, F., Gkelias, A. and Leung, K. K.: A survey of indoor localization systems and technologies, *IEEE Communications Surveys*, Vol. 21, No. 3, pp. 2568–2599 (2019).
- [2] Randell, C. and Muller, H.: Low cost indoor positioning system, *International Conference on Ubiquitous Computing*, pp. 42–48 (2001).
- [3] Brain, M., Wilson, T. V. and Johnson, B.: How WiFi Works, *Dimuat turun Februari*, Vol. 15, p. 2005 (2004).
- [4] Koo, J. and Cha, H.: Localizing WiFi access points using signal strength, *IEEE Communications letters*, Vol. 15, No. 2, pp. 187–189 (2010).
- [5] Yiu, S., Dashti, M., Claussen, H. and Perez-Cruz, F.: Wireless RSSI fingerprinting localization, *Signal Processing*, Vol. 131, pp. 235–244 (2017).
- [6] Khalajmehrabadi, A., Gatsis, N. and Akopian, D.: Modern WLAN fingerprinting indoor positioning methods and deployment challenges, *IEEE Communications Surveys*, Vol. 19, No. 3, pp. 1974–2002 (2017).
- [7] Kunhoth, J., Karkar, A., Al-Maadeed, S. and Al-Ali, A.: Indoor positioning and wayfinding systems: a survey, *Human-centric Computing and Information Sciences*, No. 18 (2020).
- [8] Bai, L., Ciravegna, F., Bond, R. and Mulvenna, M.: A Low Cost Indoor Positioning System Using Bluetooth Low Energy, *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 136858–136871 (2020).
- [9] Ji, M., Kim, J., Jeon, J. and Cho, Y.: Analysis of positioning accuracy corresponding to the number of BLE beacons in indoor positioning system, *2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp. 92–95 (2015).
- [10] He, S. and Chan, S.-H. G.: Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: Recent advances and comparisons, *IEEE Communications Surveys*, Vol. 18, No. 1, pp. 466–490 (2015).
- [11] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P. and Liu, J.: Survey of wireless indoor positioning techniques and systems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, Vol. 37, No. 6, pp. 1067–1080 (2007).
- [12] Pei, L., Chen, R., Liu, J., Kuusniemi, H., Tenhunen, T. and Chen, Y.: Using inquiry-based Bluetooth RSSI probability distributions for indoor positioning, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 9, No. 2, pp. 122–130 (2010).
- [13] Maier, A., Sharp, A. and Vagapov, Y.: Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things, *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, pp. 143–148 (2017).