

令和 6 年 5 月 9 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04065

研究課題名（和文）Neural Networkを用いたWi-Fi電波による屋内位置推定の高精度化

研究課題名（英文）Improvement of indoor localization accuracy by Wi-Fi radio waves using neural network

研究代表者

相河 聡 (Aikawa, Satoru)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号：80448761

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：無線LANアクセスポイントからの受信強度による位置推定について機械学習などを利用した研究を行っている。簡易な位置推定の場合に学習データ取得コストを低減する手法、異なる環境で測定を行う方法、環境の変化に対応するためにユーザの測定データを選別して利用する方法、データ量が不足な場合に取得データを拡張して用いる手法、一方、近年の無線LANで標準化されて市販され始めた信号伝搬時間を用いた位置推定手法において伝搬時間と信号強度の双方を用いて、壁などの障害物の影響を推定し正確な距離を求める手法について提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無線LANアクセスポイント(AP)を利用し、新たなハードウェアの設置なしに、事前測定のみで行う位置推定を用いた様々なサービス実現を目的とする。ユーザはスマートフォンにアプリケーションをインストールするだけで提供サービスを受けることができる。本研究では機械学習および無線伝搬環境を考慮して、位置推定の高精度化、簡易化を図る。研究は開発したアプリケーションをスマートフォンにインストールして実験的に行い、得られたデータは機械学習解析ツールを用いて解析する。

研究成果の概要（英文）：We are conducting research on location estimation based on received strength from wireless LAN access points using machine learning and other techniques. We have studied methods to reduce the cost of acquiring training data for simple location estimation, to perform measurements in different environments, to selectively use users' measurement data to cope with environmental changes, and to expand the acquired data when the amount of data is insufficient, while we have also studied methods to reduce the cost of acquiring training data in the case of simple location estimation. On the other hand, we proposed a method to estimate the influence of obstacles such as walls and to obtain an accurate distance by using both the propagation time and signal strength in a position estimation method based on signal propagation time, which has recently become a standard and commercially available method for wireless LANs.

研究分野：無線通信

キーワード：位置推定 Wi-Fi Fingerprint ナビゲーション

1. 研究開始当初の背景

GNSS(Global Navigation Satellite System)は屋外位置推定として普及し、ナビゲーションのみでなく、自動運転での利用も見込まれる。一方、地下やビル内などの屋内位置推定は個人用ナビゲーションだけでなくロボットの自律移動、さらに今後は地下駐車場等での自動運転にも必要な技術と考えられる。

商店街ナビゲーションの屋内位置推定精度は1店舗単位が必要で、数mの誤差が許される。一方、自動運転では数cm単位の精度が必要となる。このように様々な応用分野の中で、精度の向上が適用領域を左右する。Fingerprint位置推定の誤差原因は、刻々と変化する周辺環境によるRSSI変動という時間的要因と座標点から離れた地点でRSSIが変化する空間的要因がある。また、その変化は周辺の通行人など微小時間・空間変化で小さく変動する微視的なものと、ドアの開閉など変化の頻度は小さいが変動の大きい巨視的なものに分類できる。このような背景の中で屋内位置推定手法について精度向上、簡易化、コスト低減などを検討する。

2. 研究の目的

屋内位置推定に必要なビーコンを発する固定した専用APの開発、普及、設置はコスト面で不利であり、無線LAN等の既存APの利用が有効である。位置推定において、ビーコンの伝搬時間に基づくTOA(Time Of Arrival)は高精度だが、既存APを利用できず、専用APの設置が必要となる。その精度は設置密度によって決まり、ビーコン数さえ増やせば10cm程度の精度も可能ではあるが、一般ユーザの利用を想定した場合コスト的に実用的ではない。これに対し、RSSIを用いる方式は、既存APをそのまま使い、ソフトウェアの追加だけでサービスを実現できる。RSSIにより推定したAPとの距離をもとに位置推定を行う三辺測量(Lateration)等ではAPの位置が既知である必要がある。これに対して図1に示すFPはAPの位置が未知なまま位置推定が可能であることから実用性が高い。この手法では推定結果候補となる全座標で事前測定したRSSIをデータベース化し、ユーザ端末で測定したRSSIをデータベースと比較し、MSE(平均2乗誤差)などで算出される類似度が最も高い座標を推定結果とする。

一方、図1に示す機械学習では事前学習後、与えられた条件をニューラルネットワーク(NN)の入力とし、各分類の確率を出力として得るもので、画像認識分野をはじめ多くの領域で適用されている。本研究テーマである機械学習では、事前に測定したRSSIを学習して、ユーザ端末のRSSIを入力とし、各座標の存在確率を出力する。

既存の標準無線システムを利用する場合、携帯電話は各事業者との契約が必要となり、統一的なサービス提供ができない。Bluetoothも普及しているが、固定ビーコンは極めて少ないため設置が必要である。これに対して無線LANは既に普及し、固定ビーコンとなるAPは多く設置されている。また、端末側はスマートフォンに導入されている。IEEE802.11無線LANの標準は年々バージョンアップされているが、バックワードコンパチビリティにより従来標準との接続が保証されている。また、端末のソフトウェアを更新することで、APはそのまま機能追加ができる。また、既存APが不足するエリアにおいて、標準準拠APを追加することも容易であり、その場合に端末の変更は不要である。

以上述べた様々な条件の中でWi-Fi電波を用いた位置推定に関する新たな手法を提案し、実験によりその有効性を示すことを目的とする。

3. 研究の方法

Android端末において開発したアプリケーションソフトウェアをインストールし、データベースの作成とユーザ端末の位置推定を行う系を構築している。さらに、ネットワークを経由して端末にアプリケーション、データベース、ナビゲーション用地図をダウンロードするためのクラウドサーバを用意している。機械学習についてはオープンソースで公開されているソフトウェアライブラリであるTensor Flowを用いている。これらを用いて実験し、取得データを解析することにより、提案技術の有効性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) RNN(Recurrent Neural Network)を用いたWi-Fi/Fingerprint位置推定において、データセットを収集するための方法は、測定者が歩いている間、連続的な歩行データを収集する。しかし、歩行速度や経路が異なるユーザーに対応するため、複数の歩行パターンを測定する必要がある。そこで、歩行パターンの異なるシミュレーションデータを作成する方法を提案する。シミュレーションデータは、計測データの座標隣接関係を用いて作成した。さらに、シミュレーションデータを用いて学習したモデルと、シミュレーションデータを用いずに学習したモデルを評価した。その結果、提案手法の精度が有効であることが示された。

Syoya Amada, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto: "Effectiveness of simulation data on walking in Wi-Fi fingerprints using RNN" IEICE Communications Express, 2022, vol.11, no. 7, pp 380-385.

(2)CNN (Convolutional Neural Network) を用いた Fingerprint 屋内位置推定の方法を検討した。CNN は AP 情報 (AP 識別子と受信信号強度) を用いて学習される。CNN の推定精度は AP 情報の数が増えるほど向上する。しかし、AP 情報の収集にはコストがかかる。この問題は UD (ユーザーデータ) を使って解決できる。UD はラベルのないデータであり、測定方法はユーザの正確な位置を得られないからである。その結果、推定結果を正しいラベルとして半教師付き学習を行うことができる。本研究では、CNN 特徴抽出器を用いた UD 選択手法を提案した。さらに、UD 測定法はユーザの正確な位置をえられないため、正確な推定が可能な UD を選択し、CNN の学習に利用することが不可欠である。本研究では、AP 情報と UD の RSSI 類似度を利用した UD 選択手法を提案した。

Yohei Konishi, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto: " User Data Selection using CNN-Feature Extractor for Fingerprint Localization " IEICE Communications Express,2022.,vol 11,no. 7,pp374-379.

Yohei Konishi, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto, " User data selection method using received signal strength indicator for semi-supervised learning in fingerprint localization " IEICE Communications Express, 2023.vol.12,no.3,pp66-71.

(3)CNN は Fingerprint に基づいており、事前に測定された座標のみを推定することができるが、時系列による関係を考慮しない。そこで、カルマンフィルターやパーティクルフィルターのようなフィルターを使うことを提案した。このようなフィルタを用いることで、事前に計測された座標や、座標間の関係を推定することができる。さらに、歩行者を想定したユーザの時間依存性に基づき、位置推定精度を向上させることができる。実験検証の結果、提案手法により位置推定精度が向上することを確認した。CNN とパーティクルフィルタを用いて位置推定精度を評価し、その精度を向上させた。

Kaishin Hori, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto, Yuta Sakai: " Coordinate rectification of Indoor Neural Network Localization Using Filters " IEICE Communications Express, 2022.vol.11,no.8,pp 532-537.

(4)Fingerprint の屋内位置推定精度を向上させるために、無線 LAN の電波を利用してデータベース (DB) とユーザーデータ (UD) を計測する。UD と DB を比較するニューラルネットワーク (NN) は、CNN(Convolutional Neural Network)から派生した ResNet(Residual Network)を用いる。最も精度が高くなる層数は環境によって異なる。これを確認するため、異なる環境下における層数と推定精度の関係を実験的に検証し、設計手法を明らかにした。

Yuu Sakanishi, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto: " Experimental validation of the ResNet layer number design method for Wi-Fi location estimation in different environments " IEICE Communications Express, 2022.Vol.11,no.10,pp673-678

(5) 無線 LAN を利用した屋内位置推定手法を評価した。位置推定手法として Fingerprint 法を用いた。この手法は、無線 LAN アクセスポイントから取得した受信信号強度インジケータとメディアアクセス制御アドレスから現在位置を推定することができる。しかし、この方法は電波伝搬環境の変化に大きく影響され、障害物の有無により位置推定精度が低下する。本論文では、異なる電波伝搬環境の測定データを用いて開発したデータベースを提案した。ドアの開閉や電波の測定方向によって環境が変化することを実験的に確認した。

Ryoga Ozaki, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto: " Fingerprint localization using data from different radio environments " IEICE Communications Express, 2023.vol.12,no10,pp564-567, Oct.2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Tada Kentaro, Aikawa Satoru, Yamamoto Shinichiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Particle filter to the indoor localization with Finger Print designed for wide coordinate interval	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 193 ~ 198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2020XBL0171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Miyamoto Yusuke, Aikawa Satoru, Yamamoto Shinichiro	4. 巻 10
2. 論文標題 User data selection scheme to reduce database update errors for fingerprint localization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 343 ~ 348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2021XBL0051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Amada Shoya, Aikawa Satoru, Yamamoto Shin-ichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Effectiveness of simulation data on walking in Wi-Fi fingerprints using RNN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 380 ~ 385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2022XBL0023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Konishi Yohei, Aikawa Satoru, Yamamoto Shinichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 User data selection using CNN-feature extractor for fingerprint localization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 374 ~ 379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2022XBL0037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hori Kaishin, Aikawa Satoru, Yamamoto Shinichiro, Sakai Yuta	4. 巻 11
2. 論文標題 Coordinate rectification of indoor neural network localization using filters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 532 ~ 537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2022XBL0061	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sakanishi Yu, Aikawa Satoru, Yamamoto Shinichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Experimental validation of the ResNet layer number design method for Wi-Fi location estimation in different environments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 673 ~ 678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2022XBL0109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Konishi Yohei, Aikawa Satoru, Yamamoto Shinichiro	4. 巻 12
2. 論文標題 User data selection method using received signal strength indicator for semi-supervised learning in fingerprint localization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 66 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2022XBL0168	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ozaki Ryoga, Aikawa Satoru, Yamamoto Shinichiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Fingerprint localization using data from different radio environments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 564 ~ 567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/comex.2023XBT0005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakayama Shota, Aikawa Satoru, Yamamoto Shinichiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Machine learning-based area estimation using data measured under walking conditions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/comex.2024SPL0012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Shida, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Correction of round-trip time and selection of access points for estimating Wireless LAN locations by multilateration	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Togo Shinomiya, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Fingerprint localization scheme with correction for missing values in training data and data augmentation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Togo Shinomiya, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto
2. 発表標題 A fingerprint localization scheme using data augmentation
3. 学会等名 IEICE Communication Society, 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yusuke Shida, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto
2. 発表標題 Correction RTT using RSSI for Wireless LAN location estimation
3. 学会等名 IEICE Communication Society, 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中山将太・相河 聡・山本真一郎
2. 発表標題 歩行状態で測定したデータを用いた機械学習によるエリア推定
3. 学会等名 電子情報通信学会信学コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 尾崎遼河・相河 聡・山本真一郎
2. 発表標題 電波環境の異なるデータを用いたFingerprint位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会信学コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 志田勇介, 相河聡, 山本真一郎
2. 発表標題 無線LAN位置推定のためのRSSIを用いたRTTの補正
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 四宮東吾, 相河聡, 山本真一郎
2. 発表標題 データ拡張を利用したFinger Print位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryoga Ozaki, Satoru Aikawa, Shin-ichiro Yamamoto
2. 発表標題 A fingerprint localization using data from different radio environments
3. 学会等名 IEICE Communication Society, 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Nakayama, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto
2. 発表標題 CNN Area Estimation using data measured in walking conditions
3. 学会等名 IEICE Communication Society, 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小西楊平・相河 聡・山本真一郎
2. 発表標題 Fingerprint位置推定におけるCNNを特徴抽出器として用いたデータの選別手法
3. 学会等名 電子情報通信学会信学コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂西 優・相河 聡・山本真一郎
2. 発表標題 Fingerprint位置推定におけるWi-FiのAP数とCNN,ResNetの設計に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会信学コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀 開慎・相河 聡・山本真一郎
2. 発表標題 屋内位置推定におけるCNN推定手法への状態空間モデルの適用
3. 学会等名 電子情報通信学会信学コミュニケーションシステム研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山遼河, 相河 聡, 山本真一郎
2. 発表標題 歩行状態で測定したデータを用いたCNNエリア推定
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾崎将太, 相河 聡, 山本真一郎
2. 発表標題 電波環境の異なるデータを利用したFinger Print位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yohei Konishi, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto, Yuta Sakai
2. 発表標題 User Data Selection using CNN Feature Extractor for Fingerprint Localization
3. 学会等名 ICETC 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yu Sakanishi, Satoru Aikawa, Shinichiro, Yamamoto, Yuta Sakai
2. 発表標題 An Experimental Study on Improving Accuracy of Location Estimation in Finger Print Using CNN and ResNet
3. 学会等名 ICETC 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kaishin Hori, Satoru Aikawa, Shinichiro Yamamoto, Yuta Sakai
2. 発表標題 Coordinate interpolation of Indoor Neural Network Localization by Particle Filter
3. 学会等名 ICETC 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高島勇也・相河 聡・山本真一郎・阪井祐太
2. 発表標題 無線LANを電波を用いたNeural Networkによる二段階位置推定の実験的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天田翔也・相河 聡・山本真一郎・阪井祐太
2. 発表標題 RNNを用いたWi-Fi Finger Printにおけるシミュレーション歩行データの有効性
3. 学会等名 電子情報通信学会 コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂西 優・相河 聡・山本真一郎・阪井祐太
2. 発表標題 CNN, ResNetを用いたFinger Printにおける位置推定精度向上の実験的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小西楊平・相河 聡・山本真一郎・阪井祐太
2. 発表標題 Fingerprint位置推定におけるCNNを特徴抽出器として用いたデータの選別手法
3. 学会等名 電子情報通信学会 コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀 開慎・相河 聡・山本真一郎・阪井祐太
2. 発表標題 無線LAN屋内位置推定のParticle Filterを用いたCNNに対する座標補間の実験的検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀 開慎, 相河 聡, 山本真一郎, 阪井祐太
2. 発表標題 Neural Network による屋内位置推定の Android 端末への実装法
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小西楊平, 相河 聡, 山本真一郎, 阪井祐太
2. 発表標題 Finger Print位置推定のNNモデル自動更新におけるデータ選別
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂西 優, 相河 聡, 山本真一郎, 阪井裕太
2. 発表標題 ResNetを用いたFinger Print位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	山本 真一郎 (Yamamoto Shinichiro) (10514391)	兵庫県立大学・工学研究科・准教授 (24506)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------