

# IoT 機器一覧表示システムにおける受信電波強度を利用したナビゲーション機能の開発

江川 悠斗<sup>1,a)</sup> 谷口 義明<sup>2,3,b)</sup> 井口 信和<sup>2,3,c)</sup>

**概要:** Wi-Fi ネットワークを介して様々な IoT 機器がインターネットに接続されているが、小規模組織や家庭では IoT 機器が適切に管理されておらず、十分なセキュリティ対策が講じられていない場合がある。我々はこれまでに IoT 機器の把握を支援することを目的に、IoT 機器から送信される無線フレームを利用した IoT 機器一覧表示システムを開発してきた。本稿では、IoT 機器から送信される無線フレームを受信する際の受信電波強度を利用して、所在が不明な IoT 機器の設置位置にユーザを誘導するナビゲーション機能を新たに提案、本システムに導入する。また、研究室内に設置した IoT 機器を利用した実験により、ナビゲーション機能を用いて IoT 機器の設置された位置にユーザを誘導できることを示す。

## A Navigation Function Based on RSSI of Wireless Frames in an IoT Device List Visualization system

**Abstract:** Various IoT devices are connected to the Internet via a Wi-Fi network. In small organizations and homes, IoT devices may not be properly managed or sufficient security measures may not be taken. We have developed an IoT device list visualization system that uses wireless frames transmitted from IoT devices with the aim of supporting the grasping of IoT devices. In this paper, we propose a new navigation function that navigates the user to the installation position of the IoT device whose location is unknown, by using the received signal strength of wireless frames transmitted from the IoT device, and we introduce this function into the IoT device visualization system. Through experimental evaluations using an actual IoT device installed in the laboratory, we show that the navigation function can navigate a user to the position where the IoT device is installed.

### 1. はじめに

Wi-Fi を用いた無線 LAN を介して様々な機器がインターネットに接続されている。Wi-Fi 機器はノート PC などのモバイル端末と AI スピーカーなどの IoT (Internet of Things) 機器に分類される。モバイル端末と比較して IoT 機器は管理されにくく [1]、十分なセキュリティ対策が行われずに放置される場合がある。このような管理されていな

い IoT 機器は、サイバー攻撃の被害を受けるだけでなく、他の機器に危害を与える可能性もある [2]。これを防ぐためには、まず無線 LAN に接続されている IoT 機器を把握する必要がある。ここで、本研究における IoT 機器の把握とは、IoT 機器に割り当てられた IP アドレスや MAC アドレスと、実際にそれらのアドレスが割り当てられた IoT 機器がどのような機器でどこに設置されているかを把握することを指す。これらを把握することで、ファームウェア更新、不要な IoT 機器の撤去などのセキュリティ対策を行うことができる。

無線 LAN に接続された IoT 機器を可視化するための企業向けの製品が多くある [3,4] が、ほとんどの製品は高価であるか専門知識が必要である、または新しい機器の設置が必要である。そのため、これらの製品は中小企業や家庭での使用に必ずしも適していない。一方、Wi-Fi アクセスポイントには通常、接続 Wi-Fi 機器のアドレス一覧を表示

<sup>1</sup> 近畿大学大学院総合理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Kindai University, Higashiosaka, Osaka 577-8502, Japan

<sup>2</sup> 近畿大学理工学部情報学科  
Faculty of Science and Engineering, Kindai University, Higashiosaka, Osaka 577-8502, Japan

<sup>3</sup> 近畿大学情報学研究所  
Informatics Research Institute, Kindai University, Higashiosaka, Osaka 577-8502, Japan

a) egawa0196@gmail.com

b) y-tanigu@info.kindai.ac.jp

c) iguchi@info.kindai.ac.jp

する機能がある。ただし、管理者の IT スキルが不十分である、アクセスポイントが適切に管理されていないなどの理由により、管理者がアクセスポイントを操作できない場合がある。

我々はこれまでに、中小企業や家庭での利用を想定した、無線 LAN 内の IoT 機器の把握を支援するための IoT 機器一覧表示システム [5-7] (以下、既存システム) を開発してきた。既存システムはノート PC 上で動作し、無線 LAN 内の無線フレームをキャプチャ、解析する。また、同じ無線 LAN 内にある Wi-Fi 機器をモバイル端末と IoT 機器に分類し、IoT 機器の MAC アドレスと IP アドレス (以下、アドレス) の一覧をシステム上に表示する [5]。加えて、一覧に表示されたアドレスと実際の IoT 機器の対応付けを行うために、我々は、ユーザが場所を所在を把握している IoT 機器と一覧に表示されたアドレスとの対応付けを行う表示アドレス対応付け補助機能と、一覧に表示されているアドレスの中で所在が不明な IoT 機器の方向を推定する機能を検討してきた [6, 7]。しかし、後者の機能については IoT 機器の方向を推定可能であるという実現可能性を示すのみであった。IoT 機器の設置された位置にユーザを誘導できると、アドレスと実際の IoT 機器の対応付けに有用であると考えられる。

そこで、本稿では、既存システムに、所在が不明な IoT 機器の位置にユーザを誘導するナビゲーション機能を導入する。ナビゲーション機能は、IoT 機器の送信した無線フレームをノート PC で受信した際の受信電波強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) を利用することにより、ユーザを誘導する。また、研究室に設置した IoT 機器を利用した実験により、ナビゲーション機能を使って IoT 機器の設置場所にユーザを誘導できるかどうかの評価を行う。

以降の本稿の構成は以下のとおりである。まず、2 章で関連研究について述べる。3 章で既存システムの説明を行い、4 章でナビゲーション機能の提案を行う。5 章で実験評価結果について述べ、最後に、6 章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 関連研究

IoT 機器の管理のために無線アクセスポイントに搭載されている無線 IDPS (Intrusion Detection and Prevention System) を利用する場合がある。無線 IDPS を用いることにより、無線ネットワークのトラフィック監視や解析、疑わしい活動の特定などを実施できる [8]。しかし、小規模な企業や家庭では、ネットワークの管理者がいないことや安価なアクセスポイントを利用しているなどの理由により、アクセスポイントを用いた IoT 機器の管理が行えない場合がある。一方、本研究で提案するシステムでは、ノート PC のみで IoT 機器の管理を支援する。

無線フレームの受信電波強度をナビゲーション [9] や測位 [10, 11]、混雑度推定 [12, 13] 等に利用する取り組みは多数ある。例えば、文献 [9] では複数の Wi-Fi アクセスポイントから送信されるフレームの受信電波強度を使ってユーザ端末の位置を推定することを考えている。文献 [10] では、BLE ビーコンから送信されるフレームの受信電波強度を使って、ユーザ端末の位置と移動方向を推定することを検討している。一方、文献 [14] では、エリア内に分散されたアンテナを用いて、アクセスポイント-端末間の RTT を計測し、エリア内の歩行者が持つスマートフォンやタブレット端末の位置を推定することを検討している。これらの研究は、環境中に設置された位置が既知の端末から送信されるフレームを使ってユーザ端末の位置を推定することを考えている。これに対して、本研究では、一般的なノート PC のみを用いて、位置が未知の IoT 端末から送信されるフレームを使って、IoT 機器が設置されている方向を推定することを検討する。

一方、Wi-Fi で使用される CSI (Channel State Information) を使用すると受信電波強度と比較して詳細な電波伝搬状況を推定可能である。このことから、CSI を測位 [15] やジェスチャ認識 [16]、人数推定 [17] などさまざまな用途に利用する取り組みも多く行われている。しかしながら、機器や採用する通信方式が IEEE 802.11n 以降の規格に対応していない場合は CSI を取得できない。また、CSI を取得するには専用のツールや対応する無線デバイス等が必要なため、動作可能な環境に限られる。これに対して、本研究では、一般的なノート PC で計測が可能な受信電波強度を用いて IoT 機器の方向の推定を行う。

## 3. IoT 機器一覧表示システム

既存システム [5-7] の概要を図 1 に示す。既存システムはノート PC で動作し、IoT 機器が送信する無線フレームをキャプチャ、分析することにより IoT 機器のアドレス一覧を取得する。既存のシステムを使用することにより、特定のアクセスポイントに接続された IoT 機器のアドレスの一覧が GUI 上に自動的に表示され、無線 LAN 内の IoT 機器アドレスリストの把握が可能となる。

しかし、IoT 機器の管理を行うためには、ユーザは表示された全てのアドレスに対して、実際の IoT 機器との対応付けを行う必要がある。ここで、設置されている IoT 機器がどこにあるか分からない場合、対応づけは困難となる。我々はこれまでにユーザが場所を把握している IoT 機器と一覧に表示されたアドレスとの対応付けを行う表示アドレス対応付け補助機能と、一覧に表示されているアドレスの中で所在が不明な IoT 機器の方向を推定する機能を検討してきた [6, 7]。しかし、後者の機能については IoT 機器の方向を推定可能であるという実現可能性を示すのみであった。IoT 機器の設置された位置にユーザを誘導できると、

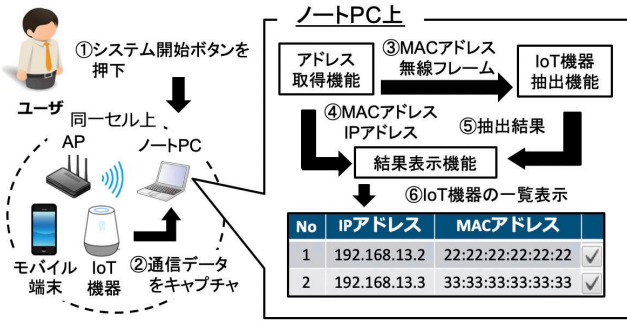


図 1 IoT 機器一覧表示システムの概要 [5]

アドレスと実際の IoT 機器の対応付けに有用であると考えられる。そこで、次節で、既存システムに、所在が不明な IoT 機器の位置にユーザを誘導するナビゲーション機能を導入する。

#### 4. ナビゲーション機能

ナビゲーション機能は、ユーザが把握していない IoT 機器の設置場所にユーザを誘導する機能である。本機能は、既存システムにおいて、システムの GUI 上に IoT 機器のアドレス一覧が表示された状態で利用する。本機能の利用例を図 2 に、本機能の GUI を図 3 に示す。以下、本機能の利用方法を説明する。

(1) ユーザはまず、調査対象の IoT 機器のアドレス（以下、対象 IoT 機器アドレス）を一覧表示部に表示されているアドレス一覧から選択する（図 2(a)）。図の例では、ユーザは、5 台の IoT 機器のうち IoT 機器 A~D のアドレスとの対応づけを既に完了しており、チェックボックスにチェックをしている。ユーザはまだ対応づけが完了していない MAC アドレス ee:ee:ee:ee:ee:ee を持つ IoT 機器 E を調査対象としている。ユーザが一覧から対象 IoT 機器アドレスを選択すると、選択されたアドレスがハイライト表示される。対象 IoT 機器アドレスがハイライト表示された状態で、ナビゲーション開始ボタン（図 3）を押下すると、ナビゲーションが開始される。ナビゲーションが開始されると、システムは対象の IoT 機器の IP アドレスに対して対応づけ完了のチェックが入るまで、対象の IP アドレスに対して一定間隔で ICMP Echo Request パケットを送信する。このことにより、対象 IoT 機器が定期的に無線フレームを送信するようにする。なお、現在のシステムでは ICMP Echo Request パケットの送信間隔を 250 ms としている。

(2) 次に、対象 IoT 機器の方向を推定するために、ユーザはその場でゆっくりと 1 回転する（図 2(b)）。本機能は、対象の IoT 機器とノート PC の間にユーザが割り込むと受信電波強度が低くなることを利用して方向の推定を行う。図 2(b) の例では、ユーザが IoT 機器 E

と逆の方向を向いたときに、IoT 機器 E から受信したフレームの受信電波強度が低下する。システムは、最も受信電波強度が低くなったときにユーザが向いていた方向と逆の方向を IoT 機器の方向として推定する。システムは、ユーザの回転終了後に対象 IoT 機器の推定方向を 8 方向のいずれかで表示する（図 2(c)）。ここで、キャプチャした無線フレームの受信電波強度には、外れ値が含まれる場合がある。本稿では、得られた受信電波強度に 5 dBm 以上変化があった場合、その値を外れ値として除去する。

- (3) システムで対象 IoT 機器の推定方向が表示されると、ユーザは指定された方向に向かって移動する。対象 IoT 機器を発見した場合には、アドレス一覧に表示される対象アドレスのチェックボックスに対応づけ完了のチェックを入れる。
- (4) ユーザが対象 IoT 機器を発見できずに通り過ぎた場合、あるいは、システムの推定した対象 IoT 機器の方向が誤っていた場合、対象 IoT 機器から送信される無線フレームの受信電波強度が低くなる。システムは、一定期間連続して受信電波強度が減少した場合、再度ナビゲーションを行うようにユーザに通知を行う（図 2(d)）。現在のシステムでは、この期間を 3 秒に設定している。再ナビゲーションが通知された場合、ユーザはその場で停止し、再度ナビゲーション機能の操作を行う。なお、ユーザは壁など移動不可能な場所に到達した場合も、同様にその地点で再度ナビゲーション機能の操作を行う。

#### 5. 実験・考察

本稿で開発したナビゲーション機能を評価するための実験を行った。

##### 5.1 実験環境

実験は近畿大学東大阪キャンパス 38 号館 3 階の N306 および N317 で行った。N317 は N306 の 2 倍の大きさの部屋である。実験を行ったそれぞれの部屋のレイアウトと IoT 機器設置場所、計測箇所を図 4、図 5 に示す。以降、それぞれの環境を実験環境 1、実験環境 2 と表記する。本システムの動作するノート PC として MacBook Air、無線フレームのキャプチャおよび受信電波強度の測定には tshark を用いた。tshark は、無線フレームのキャプチャや分析が可能な CLI ベースのネットワークトラフィックアナライザである。IoT 機器としては Czdr 社の Mini Smart Socket Model XS-SSA01（以下、スマートプラグ）を使用した。また、実験環境 1、実験環境 2 において実験用の AP を設置した。実験用の AP として Buffalo 社の WAPM-1266R を使用し、スマートプラグのみを接続した。スマートプラグは 2.4 GHz 帯を使用してネットワークに接続している。

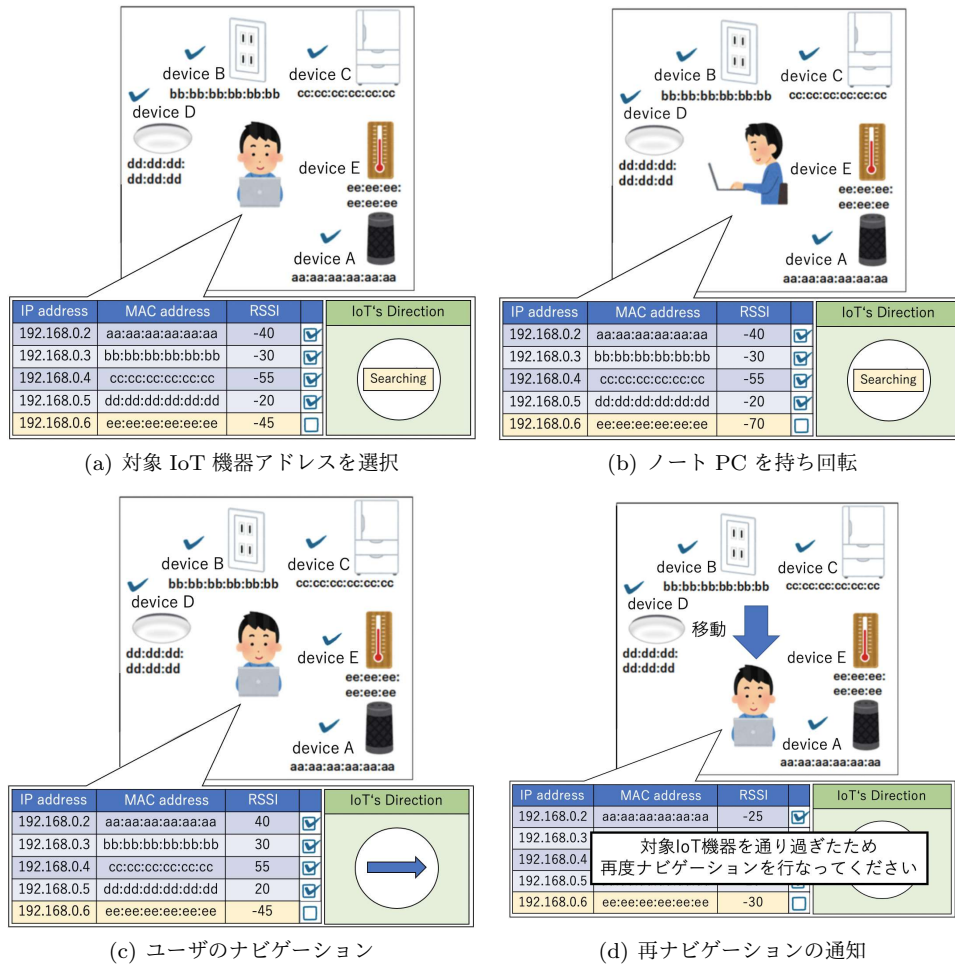


図 2 ナビゲーション機能の概要

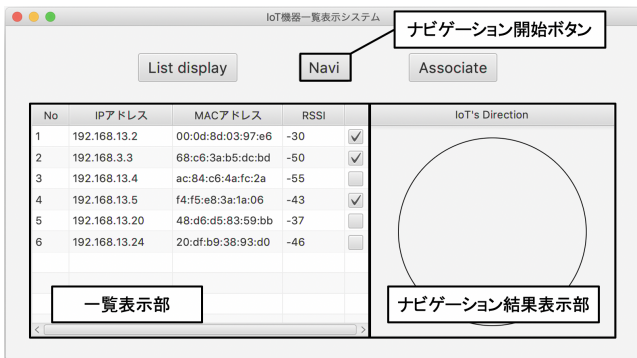


図 3 ナビゲーション機能の GUI

なお、各実験は同一の実験者がノート PC を 1 m の高さで持った状態で実施した。

## 5.2 実験環境 1 における実験

まず、図 4 に示される実験環境 1 の計測位置において、実験者がナビゲーション機能を用いて非直視環境にあるスマートプラグの方向を正しく推定できるかどうかを確認する実験を行った。

### 5.2.1 実験環境・条件

実験では、実験者が図に示される 8 方向 (0°, 45°, 90°,

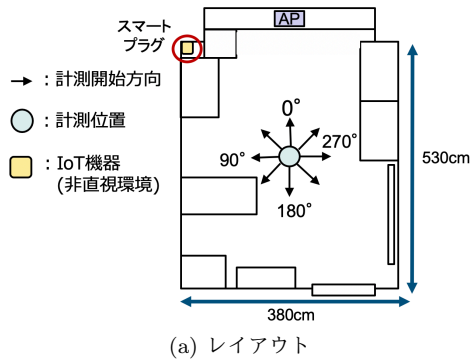
135°, 180°, 225°, 270°, 315°) のうちの 1 つを初期方向として、ノート PC を持ったまま一回転し、非直視環境に設置したスマートプラグの方向の推定を行った。初期方向として 0°-315° までの 8 方向と、8 方向の中からランダムに選んだ 4 方向 (45°, 135°, 225°, 270°) の合計 12 方向を選択し、合計 12 回の実験を実施した。

### 5.2.2 実験結果・考察

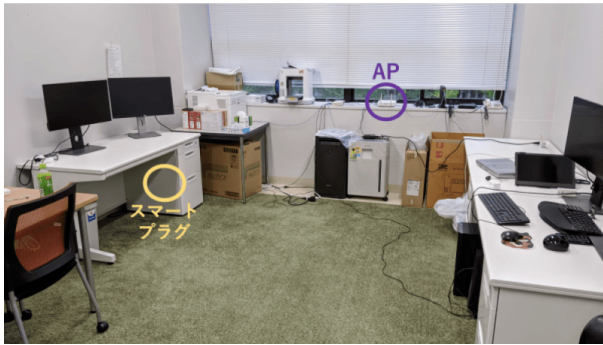
実験の結果、12 回中 11 回、スマートプラグのある方向を正しく推定できた。一方、一度だけスマートプラグの方向推定を誤った場合があった。これは初期方向を 225° としてナビゲーション機能を使った際に、正しい方向が後ろであるのに対して、推定方向は右後ろと提示された。この場合、実験者は図 6 に示されるよう壁際まで移動、壁際で再度ナビゲーション機能を利用し、2 回目のナビゲーションによりスマートプラグの方向を正しく推定することができた。これらの結果から、ナビゲーション機能を用いることにより対象の IoT 機器の方向を推定可能であることがわかる。

## 5.3 実験環境 2 における実験

続いて、図 5 に示される実験環境 2 において、地点 1 か



(a) レイアウト

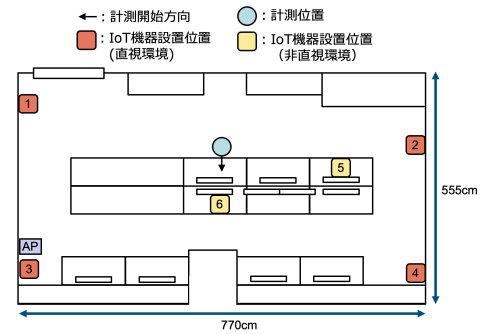


(b) 写真

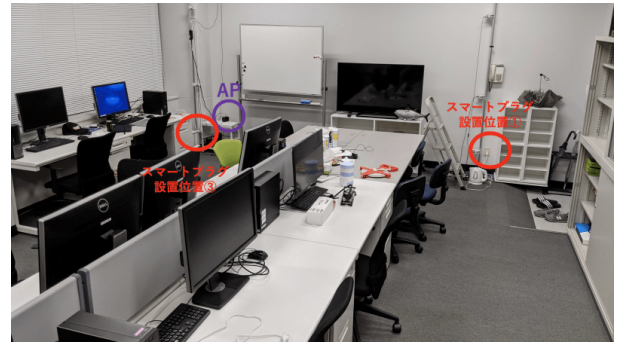


(c) 設置したスマートプラグ

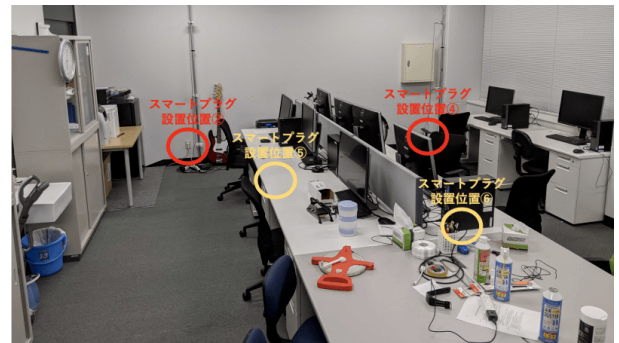
図 4 実験環境 1 (N306)



(a) レイアウト



(b) 写真 (右側)



(c) 写真 (左側)



(d) 地点 5 に設置したスマートプラグ



(e) 地点 6 に設置したスマートプラグ

図 5 実験環境 2 (N317)

ら地点 6 に設置された各スマートプラグの方向を正しく推定できるか、実験者をスマートプラグの位置に誘導できるかを確認する実験を行った。

### 5.3.1 実験環境・条件

実験では、実験者の初期計測位置と初期計測方向を固定した状態でナビゲーション機能を利用する。初期計測方向は図 5 の矢印の方向である。ノート PC を持ったまま一回転し、地点 1 から地点 6 に設置された各スマートプラグの方向の推定と実験者をスマートプラグの位置に誘導できるかの確認を行った。なお、地点 1 から地点 4 のスマートプラグは壁際のコンセントに接続しており直視環境にある。地点 5、地点 6 のスマートプラグは机の下に設置しており、非直視環境となる。

### 5.3.2 実験結果・考察

表 1 は、ナビゲーションの結果である。直視環境下にある地点 1 から地点 4 のスマートプラグに対しては、それぞれ 1 回ナビゲーション機能を利用するだけで正しい方向が推定された。一方、非直視環境下にある地点 5、地点 6 のスマートプラグに対しては、1 回ナビゲーション機能を用

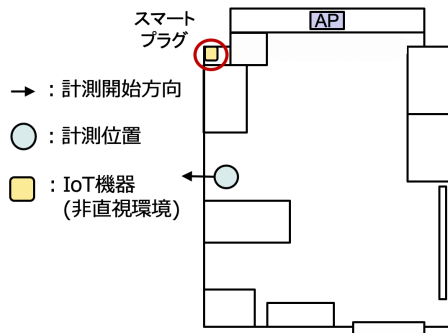


図 6 1 回目の推定方向が誤っていた場合に 2 回目のナビゲーションを実施した位置

表 1 実験環境 2 における方向推定結果

IoT 機器位置	1 回目の推定方向	2 回目の推定方向
1	右	—
2	左	—
3	右前	—
4	左前	—
5	左	右前
6	前	後ろ

いるだけでは正しい方向が推定されなかったが、ナビゲーション機能を 2 回用いることにより正しい方向を推定することができた。

以下、地点 5、地点 6 におけるナビゲーションの様子を説明する。地点 5 のスマートプラグに対する 1 回目の方向推定結果は左であり、実験者は左に移動した。実験者が移動中の受信電波強度の変化を図 7 に示す。図に示されるように、実験者の移動中に対象 IoT 機器から送信されるフレームの受信電波強度が減少したため、システムから再ナビゲーションを促す通知が表示された。そのため、実験者は図 8 に示される地点で再度ナビゲーション機能を利用した。2 回目の方向推定結果は右前であった。これは、地点 5 のスマートプラグの方向と同一であり、正しい方向が表示されたと言える。

一方、地点 6 のスマートプラグに対する 1 回目の方向推定結果は前であった。実験者は、図 9 に示されるよう壁際まで移動し、壁際で再度ナビゲーション機能を利用した。2 回目の方向推定結果は後ろであった。これは、地点 6 のスマートプラグの方向と同一であり、正しい方向が表示されたと言える。

これらの結果より、ナビゲーション機能を用いることにより、対象 IoT 機器の位置にユーザを誘導できるといえる。

## 6. まとめと今後の課題

本稿では、我々がこれまでに検討してきた IoT 機器一覧表示システムにおいて、機器の位置の特定を補助するためのナビゲーション機能の開発を行った。また、実環境におかれた IoT 機器を用いてナビゲーション機能の評価を行っ

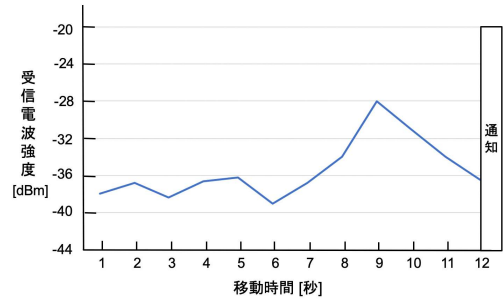


図 7 地点 5 のスマートプラグに対して 1 回目のナビゲーション結果に基づき移動した際の受信電波強度の変化

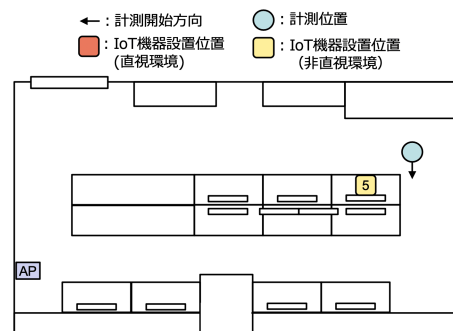


図 8 地点 5 のスマートプラグに対して 2 回目のナビゲーションを実施した位置

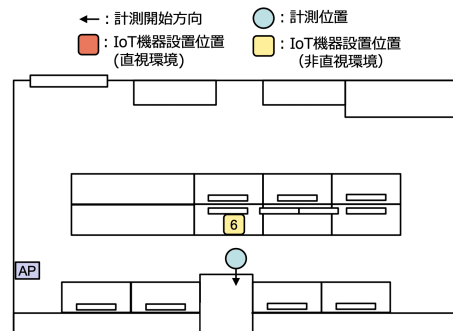


図 9 地点 6 のスマートプラグに対して 2 回目のナビゲーションを実施した位置

た。その結果、ナビゲーション機能を用いることにより、対象 IoT 機器の位置にユーザを誘導できることを示した。

本稿では、1 人の実験者、1 台のスマートプラグを対象として実験を行ったが、今後の課題として、無線 LAN 内に複数の IoT 機器が接続された環境下での実験や、研究室の構造、設置されている IoT 機器を把握していない実験協力者による実験を実施する必要がある。また、IoT 機器の方向を推定するのみでなく、より詳細な位置の推定を行えるようにする必要がある。さらに、IoT 機器をいくつかのカテゴリに自動的に分類するようシステムを拡張することを検討している。

謝辞 本研究の一部は科学研究費 (19K11934) および令和 2 年度近畿大学学内研究助成金 (SR08) の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 松井俊浩, “IoT Security READY!! IoT のセキュリティの特性と人材育成,” [http://www.idec.or.jp/renkei/whats\\_new/6\\_iot\\_s\\_iwasaki\\_gakuen.pdf](http://www.idec.or.jp/renkei/whats_new/6_iot_s_iwasaki_gakuen.pdf).
- [2] 半田富己男, 矢野義博, “IoT エッジ端末をボットネットワークから防ぐ認証プラットフォームの提案,” 情報処理学会研究報告, pp. 1–3, Feb. 2017.
- [3] 株式会社ソリトンシステムズ, “CounterACT,” <https://www.soliton.co.jp/products/category/product/network/counteract/>.
- [4] 日本電気株式会社, “IoT device security manager,” <https://jpn.nec.com/iot/platform/security/whitelist/>.
- [5] Y. Egawa, Y. Taniguchi, and N. Iguchi, “A system for visualizing IoT device list based on captured frames in wireless LAN,” in *Proceedings of IEEE ICCE-TW 2019*, May 2019, pp. 577–578.
- [6] Y. Egawa, Y. Taniguchi, and N. Iguchi, “A study on function for grasping location of device in an IoT device list visualization system,” in *Proceedings of ICIT 2019*, Dec. 2019.
- [7] 江川悠斗, 谷口義明, 井口信和, “IoT 機器一覧表示システムにおける表示アドレスと実際の機器との対応付けを補助する機能の検討,” 情報処理学会第 82 回全国大会講演論文集, pp. 289–290, Mar. 2020.
- [8] 情報処理推進機構, “侵入検知および侵入防止システム (IDPS) に関するガイド,” <https://www.ipa.go.jp/files/000025364.pdf>.
- [9] 高橋光紀, 平石広典, “電波強度による位置推定機能を利用した校内ナビゲーションシステムの設計,” 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, pp. 459–460, Mar. 2012.
- [10] 古館達也, 堀川三好, 菅原光政, “歩行者を対象とした屋内測位手法の提案,” 情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集, pp. 313–314, Mar. 2015.
- [11] 上原誠, 木村優志, 小林秀幸, “ディープラーニングを用いた RSSI からの屋内位置推定,” 情報処理学会第 82 回全国大会講演論文集, pp. 339–340, Feb. 2020.
- [12] 松本直也, 川崎慈英, 鈴木誠, 猿渡俊介, 渡辺尚, “RSSI を用いた混雑度推定システムに関する検討,” 情報処理学会マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, pp. 369–376, Jul. 2018.
- [13] T. Yoshida and Y. Taniguchi, “Estimating the number of people using existing WiFi access point in indoor environment,” in *Proceedings of ECCS 2015*, Nov. 2015, pp. 46–53.
- [14] 細田真道, 坂本寛, 村上友規, 村上友規, 花籠靖, 梅内誠, 毛利忠, 小川智明, 宮本勝, “分散アンテナを用いたアクセスポイントによる無線 LAN 端末位置推定方式,” 情報処理学会論文誌, vol. 61, no. 1, pp. 3–15, Jan. 2020.
- [15] 福島健, 岩崎裕輔, 村上遼, 猿渡俊介, 渡辺尚, “CSI を用いた位置測位手法に関する初期的検討,” 情報処理学会マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, pp. 819–827, Jul. 2018.
- [16] 宮代理弘, 宮下芳明, “3 次元 CNN を利用した Wi-Fi CSI によるジェスチャ認識,” 情報処理学会研究報告, vol. 2019-HCI-182, no. 29, pp. 1–8, Mar. 2019.
- [17] 水谷優秀, 内山彰, 東野輝夫, 村上友規, ヒランタ アベセカラ, “モバイル端末の Wi-Fi チャンネル状態情報を用いた人数推定の基礎検討,” 情報処理学会第 81 回全国大会講演論文集, pp. 75–56, Mar. 2019.