

## IoT 機器一覧表示システムにおける機器位置の把握支援機能導入の検討

## A study on function for grasping location of device in visualising IoT device list system

江川 悠斗<sup>†</sup> 谷口 義明<sup>†</sup> 井口 信和<sup>†</sup>  
Yuto Egawa Yoshiaki Taniguchi Nobukazu Iguchi

## 1. はじめに

Wi-Fi ネットワーク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 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 機器の一覧を知る必要がある。

企業向けに無線 LAN で IoT 機器を視覚化するための製品が多くある [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ため、中小企業や家庭での使用に必ずしも適していない。一方、アクセスポイントには通常、接続している Wi-Fi 機器の一覧を表示する機能がある。ただし、スキルが不十分であることやアクセスポイントにアクセスする権限が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ことがある。

これまでに我々は、IoT 機器一覧表示システム（以下、既存システム）を開発してきた [5]。既存システムでは、モニタリング用のノート PC 上で無線フレームをキャプチャ、解析することにより無線 LAN 内の IoT 機器一覧を取得する。既存システムを用いることにより、特定のアクセスポイントに接続されている IoT 機器のアドレス一覧が自動的に GUI に表示されるため、IoT 機器の管理を支援できる。しかし、既存システムでは、GUI 上に IoT 機器のアドレス一覧が表示されるのみであり、一覧に表示された IoT 機器と実際の IoT 機器の対応付けが困難であった。IoT 機器一覧にアドレスが表示されても、どの IoT 機器かわからない、あるいは、IoT 機器の所在が分からないければ、そのまま放置される可能性がある。

そこで本報告では、我々がこれまで開発してきた IoT 機器一覧表示システムにおいて、表示されたアドレスと実際の IoT 機器の対応付けを支援するための、機器位置の把握支援機能導入の検討を行う。具体的には、目の前にあり所在を把握している IoT 機器とシステム上に表示された IoT 機器一覧の対応付けを容易とするための機器位置情報表示機能と、ユーザが把握していない IoT 機器の位置にユーザを誘導するナビゲーション機能の二つの機能を検討する。これらの機能を用いることにより、IoT 機器の把握がより容易になる。本報告では、実機を用いた基礎実験評価により、これらの二つの機能の実現可能性を検証する。

本報告の以降の構成は以下のとおりである。まず、2章で関連研究や関連システムについて述べる。次に、3章で我々がこ

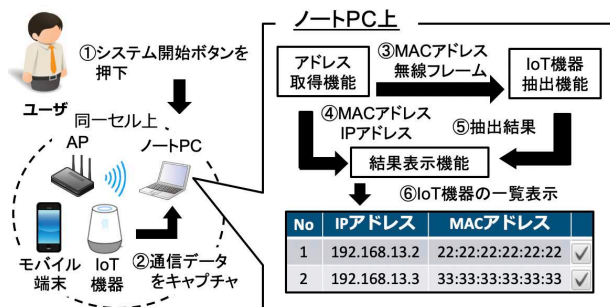


図1 IoT 機器一覧表示システムの概要

れまでに開発してきた既存システムについて説明する。4章で、機器位置の把握支援機能について説明し、その評価結果を5章で説明する。最後に6章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 関連研究

無線フレームの受信電波強度をナビゲーション [6] や測位 [7]、混雑度推定 [8,9] 等に利用する取り組みは多数ある。例えば、文献 [6] では電波強度による位置推定機能を利用した校内をナビゲーションするシステムの研究を行っている。この研究では、Wi-Fi の電波強度を利用することでユーザーの現在位置を特定し、システムに表示される画像を自動的に切り替えることができる。文献 [7] では電波強度と BLE ビーコンを用いた屋内測位手法の提案を行っている。この研究では、歩行者の移動による電波強度の変化を利用して、歩行者の移動方向の推定を行う方法を提案している。

一方、IEEE 802.11n 以降で使用される 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 [10] やジェスチャ認識 [11]、人数推定 [12] 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 を利用できない。また、現状、CSI を取得可能な開発環境は限られている。

本報告では、Wi-Fi の受信電波強度を利用して、無線 LAN 内の IoT 機器の位置に関する情報を表示すること、所望の IoT 機器へユーザを誘導することを検討する。このことにより、我々の検討してきた IoT 機器一覧表示システムにおいて、表示されたアドレスと実際の IoT 機器の対応付けが簡易化される。

## 3. IoT 機器一覧表示システム

本章では我々の開発してきた IoT 機器一覧表示システム [5] (既存システム) を説明する。既存システムの概要を図 1 に示す。既存システムは、ノート PC 上で動作する。また、なるべく多くの無線フレームを取得するため、アクセスポイント付近で動

<sup>†</sup> 近畿大学, Kindai University

作することを想定する。既存システムは、無線 LAN 内の IoT 機器の一覧を表示するために、アドレス取得機能、IoT 機器抽出機能、結果表示機能の 3 つの機能を持つ。

システムを使用するための手順は以下の通りである。まず、ユーザはノート PC を調査対象のアクセスポイントに接続する。そして、ユーザがシステム起動ボタンを押すと、システムは MAC フレームのキャプチャを開始する。無線フレームのキャプチャにはコマンドラインベースのパケットアナライザである tshark を用いる。

一定期間のキャプチャ処理が終了すると、システムはアドレス取得機能を使用して、同じアクセスポイントに接続されている Wi-Fi 機器の IP アドレスと MAC アドレスを取得する。MAC アドレスの一覧は、送信元または宛先 MAC アドレスがアクセスポイントであるキャプチャフレームから取得する。IP アドレスの一覧は、ネットワーク範囲に対して ping および arp コマンドを実行した後に ARP テーブルから取得する。

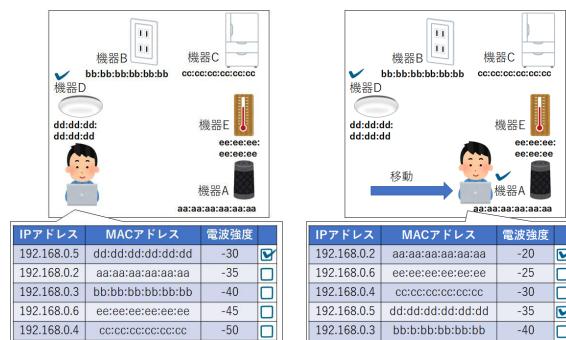
その後、システムは、IoT 機器抽出機能を利用して、抽出した Wi-Fi 機器を IoT 機器とモバイル端末に分類することにより、IoT 機器の抽出を行う。分類には、Wi-Fi 機器の送受信フレーム数の標準偏差、送受信したフレームのうち特定の制御フレームの割合を用いる。送受信フレーム数の標準偏差が一定以上のものをモバイル端末、恒常的にフレームを送受信しているものを IoT 機器と分類する。いずれも満たさない場合、制御フレームの割合が高いものをモバイル端末、そうでないものを IoT 機器と分類する。

最後に、システムは、結果表示機能によりアクセスポイントに接続されている IoT 機器の一覧を IP アドレス、MAC アドレス、およびチェックボックスに関する情報と共に表示する。チェックボックスは、ユーザが各 IoT デバイスを把握しているかを確認するために使用される。ユーザは一覧に表示される IoT 機器を把握している場合、チェックボックスにチェックを入れる。このことにより、ユーザは自分が管理していない IoT 機器が無線 LAN 内に存在するか確認することができる。

しかしながら、ユーザは、一覧に表示されているアドレスと実際の IoT 機器を対応付ける必要があり、この作業は容易ではない。目の前にある IoT 機器にアドレスが書かれていれば一覧に表示されているアドレスとの照合は可能であるが、書かれていなければ対応付けは困難である。加えて、一覧に表示されているが IoT 機器がどこにあるかわからないという場合も考えられる。IoT 機器の所在が分からなければそのまま放置される可能性がある。そこで本報告では、IoT 機器一覧表示システムにおいて、表示されたアドレスと実際の IoT 機器の対応付けを支援するための、機器位置の把握支援機能導入の検討を行う。機能の詳細を次章で述べる。

#### 4. 機器位置の把握支援機能

本報告で検討する機器位置の把握支援機能は、機器位置情報表示機能とナビゲーション機能の二つの機能から構成される。いずれの機能も IoT 機器から送信される無線フレームの受信電波強度を利用する。これらの機能により、表示されたアドレスと実際の IoT 機器の対応付けを支援することができる。各機能の詳細を以下に記述する。



(a) IoT 機器 D の近くにいる状態 (b) IoT 機器 A の近くにいる状態

図2 機器位置情報表示機能の例

#### 4.1 機器位置情報表示機能

本機能は、目の前にあり所在を把握している IoT 機器とシステムの GUI に表示された IoT 機器一覧の対応付けを支援する機能である。なお、本機能では、各 IoT 機器の送信電波強度はほぼ同一であることを想定している。また、頻繁に無線フレームを送信しない IoT 機器に対しては、定期的に ping コマンドを送信するなどにより、対象となる IoT 機器から無線フレームを送信させることを想定する。本機能では、図 2(a)のように IoT 機器一覧に、各 IoT 機器から送信される無線フレーム受信電波強度の直近の平均値を表示する。また、受信電波強度の強いものから順に一覧を表示する。最も受信電波強度が強い IoT 機器が最寄りの IoT 機器であると考えられるため、ユーザは一覧の一番上にあるアドレスが、目の前にある IoT 機器であると推定できる。

例えば、図 2(a)のように、ユーザが IoT 機器 D の近くにいる場合、IoT 機器一覧の最も上に表示されるアドレスが IoT 機器 D に対応すると思われる。ユーザは対応を確認した後に、該当するアドレスのチェックボックスにチェックを入れる。一方、ユーザが IoT 機器 A を発見し、IoT 機器 A が IoT 機器一覧に表示されるアドレスのうちどれに相当するかを確認したい場合は、IoT 機器 A の最寄まで移動する。この場合、図 2(b)のように、IoT 機器 A から送信される無線フレームの受信電波強度が最も強くなり、一覧の一番上に移動すると期待できる。ユーザは、IoT 機器 A と最上位に表示されたアドレスが対応することを確認した後、該当するアドレスのチェックボックスにチェックを入れる。このように、本機能により、表示されたアドレスと実際の IoT 機器の対応付けを支援できる。

この機能は、ユーザが発見できた IoT 機器に対しては有効であると考えられるが、ユーザが把握していない、設置を忘れてしまった IoT 機器に対しては有効ではない。そのため、そのような機器を探すためのナビゲーション機能を次節で説明する。

#### 4.2 ナビゲーション機能

本機能は、ユーザが把握していない IoT 機器の位置にユーザを誘導する機能である。IoT 機器から本機能を利用する場合、ユーザは位置を調査したい IoT 機器を一覧表示画面から選択する。この時、対象が頻繁に無線フレームを送信しない IoT 機器の場合は、定期的に ping コマンドを送信するなどにより、対象となる IoT 機器から無線フレームを送信させる。その後、ユーザはその場でノート PC を持ったままゆっくりと回転する。

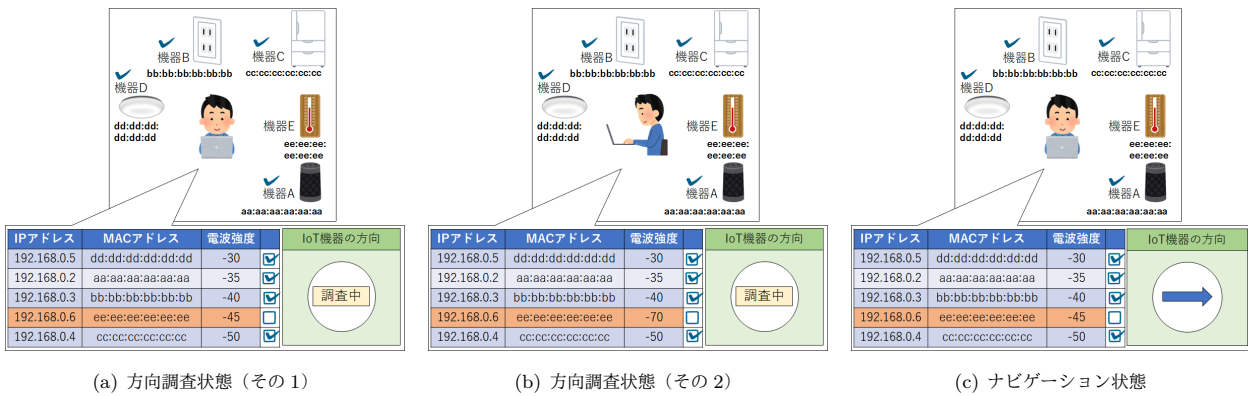


図3 ナビゲーション機能の例

調査対象のIoT機器とノートPCの間にユーザが割り込んだ時に、受信電波強度が低くなると考えられることから、調査対象となるIoT機器の方向が推定できる。その後、推定される方向へユーザを誘導する。

具体的な例を図3を用いて説明する。まず、ユーザはIoT機器一覧の中から位置を知りたいIoT機器を選択する。この例では、図3(a)のように、MACアドレス ee:ee:ee:ee:ee:ee に対応するIoT機器がわからないため、この欄を選択する。次に、ユーザはノートPCをもったまま回転する。このとき、図3(b)のように、ノートPCと調査対象のIoT機器の間に、ユーザが割り込むと、無線フレームの電波強度が弱くなると考えられる。その後、システムは、電波強度が弱くなった時にユーザが向いていた方向と逆方向にユーザを誘導するようにナビゲーションを行う(図3(c))。ユーザはナビゲーションに従って移動し、対象となるIoT機器を探す。本機能により、把握していないIoT機器の発見を支援できると考えられる。

## 5. 基礎評価

本報告で検討した機能が実現可能であるか確認するために、基礎評価実験を行った。基礎評価実験で使用したノートPCはMacBookであり、スペックは、OS: macOS Mojave (64 bit), CPU: Intel Core i5 2.3 GHz, メインメモリ: 16 GBである。また、無線アクセスポイントとしてはBuffalo WAPM-1266Rを、IoT機器としてはGoogle Homeを使用した。受信電波強度の測定にはtsharkを用いた。実験は、近畿大学東大阪キャンパス38号館3階N306で行った。

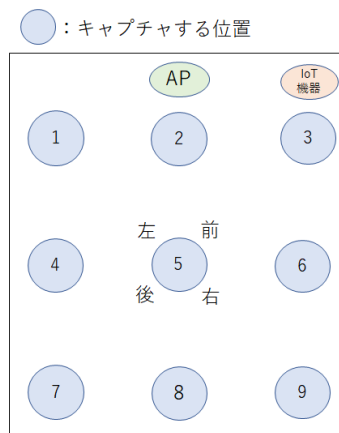
### 5.1 機器位置情報表示機能の基礎評価

まず、機器位置情報表示機能が実現可能かどうかを検証するための実験を行った。実験では、図4のように、部屋に無線アクセスポイントとIoT機器を設置した。図中の1から9それぞれの地点でノートPCを設置し、IoT機器から送信される無線フレームの受信電波強度を5分ずつ計測した。なお、受信電波強度には外れ値が含まれることがある。本評価においては、機器類は移動せず、また、全ての機器が互いに直視環境の状態の固定的な環境で実験を行っている。そのため、単純に受信電波強度がある閾値以上に変化した場合は外れ値として除去するものとして評価を行った。閾値としては6 [dBm]を用いた。

それぞれの地点で得られた受信電波強度の変化を図5に、その平均と標準偏差をまとめたものを表1に示す。これらの結果



(a) 部屋の写真



(b) 計測地点

図4 実験環境

に示されるように、IoT機器から最も近い地点3における受信電波強度が最も高かった。また、IoT機器から遠い地点である地点4、地点7、地点8では受信電波強度が弱かった。このことからIoT機器とノートPCとの距離によって受信電波強度が変わること、距離が近いほど受信電波強度が高いことがわかる。なお、本結果は、ノートPCとIoT機器が直視環境にある環境での結果であるが、位置情報表示機能は目の前にあり所在を把握しているIoT機器を対象に使用することを想定していることから、本実験環境は実際のシステムの利用環境と大きく変わらないと考えられる。以上より、無線フレームの電波強度を用いた位置情報表示機能は実現可能であると考えられる。

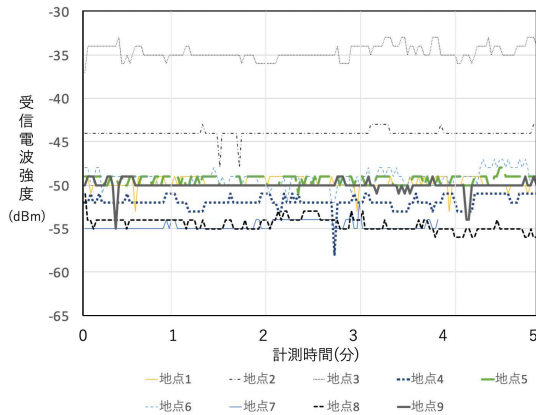


図5 計測地点と受信電波強度の変化

表1 ノート PC の位置を変えた場合の基礎評価結果

地点	平均受信電波強度 [dBm]	標準偏差
1	-49.78	0.77
2	-43.95	0.58
3	-34.55	0.78
4	-51.88	0.78
5	-49.34	0.51
6	-49.20	0.91
7	-54.70	0.51
8	-54.52	0.76
9	-49.98	0.68

本報告で検討した位置情報表示機能を用いることにより、最も近くにある直視環境にある IoT 機器を把握することが可能となる。一方、IoT 機器を探す上では、単純に受信電波強度を GUI 上に表示するだけでなく、直視環境か非直視環境かという情報も併せて表記できると有用であると考えられる。そのような機能の拡張と実験評価については今後の課題とする。

## 5.2 ナビゲーション機能の基礎評価

次に、ナビゲーション機能が実現可能かどうかを検証するための実験を行った。実験環境における図 4 の地点 5 においてノート PC を持ち、IoT 機器に対して前、右、左、後の 4 方向の向きを取った。前向きの時に IoT 機器と正対する。それぞれの向きにおいて、IoT 機器から送信される無線フレームの受信電波強度を 5 分ずつ計測した。

それぞれの向きで得られた受信電波強度の変化を図 6 に、その平均と標準偏差をまとめたものを表 2 に示す。これらの結果に示されるように、ユーザが IoT 機器と反対側の後ろに向いている場合に、受信電波強度が最も低くなった。このことから、ユーザが向きを変更することで受信電波強度が変化すること、ユーザが IoT 機器と反対側に向いていることを推定できることがわかる。この実験結果から、無線フレームの電波強度を用いたナビゲーション機能は実現可能であると考えられる。

しかしながら、本実験では、IoT 機器とノート PC が互いに直視環境にある状態を想定している。実際のシステムの利用環境においては、ユーザが把握していない IoT 機器はユーザの視界の外にある可能性がある。ユーザの視界の外にある IoT 機器

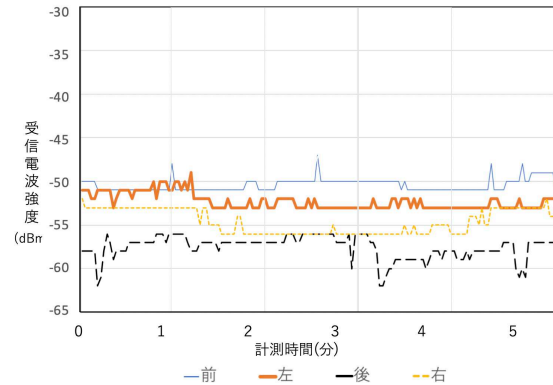


図6 ユーザの向きと受信電波強度の変化

表2 ユーザの向きを変えた場合の基礎評価結果

向き	平均受信電波強度 [dBm]	標準偏差
前	-50.35	0.79
後	-57.60	1.52
右	-54.55	1.39
左	-52.29	0.91

は、ノート PC からみて非直視環境にある可能性が高い。そのため、非直視環境にある IoT 機器のナビゲーションも重要であると考えられる。今後、非直視環境にある IoT 機器のナビゲーションに関する基礎評価とナビゲーションの実現可能性の考察を行う予定である。

## 6. まとめと今後の課題

本報告では、我々がこれまで開発してきた IoT 機器一覧表示システムにおける機器位置の把握支援機能導入の検討をした。本機能は具体的には目の前にあり所在を把握している IoT 機器とシステム上に表示された IoT 機器一覧の対応付けを容易とするための機器位置情報表示機能と、ユーザが把握していない IoT 機器の位置にユーザを誘導するナビゲーション機能の二つの機能からなる。本報告では、基礎実験評価を行い、検討したそれぞれの機能の実現可能性を検証した。

今後の課題として、非直視環境にある IoT 機器に対する評価や、本報告で検討した機器位置の把握支援機能の実装、各機能の精度評価が挙げられる。また、CSI を利用したより高度な機器位置の把握支援機能の拡張も予定している。

## 謝辞

本研究の一部は科学研究費（課題番号 16K00146, 19K11934）の補助を受けている。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.idcc.or.jp/renkei/whats\\_new/6\\_iot\\_s\\_iwasaki\\_gakuen.pdf](http://www.idcc.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化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, “Counter-ACT,” <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] 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.
- [7] 古舘達也, 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.
- [8] 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.
- [9] T. Yoshida and Y. Taniguchi, “Estimating the number of people using existing WiFi access point in indoor environment,” in *Proceedings of ECCS 2014*, Nov. 2014, pp. 46–53.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 水谷優秀, 内山彰, 東野輝夫, 村上友規, ヒラントアベセカラ, “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.