

## 電波強度の変遷と深層学習を用いた実験室内の環境変化の定量的評価

主原 愛<sup>†</sup> 小野 悟<sup>††</sup><sup>†</sup> 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 <sup>††</sup> 放射線影響研究所 情報技術部

## 1 はじめに

感染症拡大防止の観点から三密を避けた活動環境の確保が求められる中、居室内の人の動線などの環境変化を簡便に測定する汎用的な手法が求められている。本研究では、特に研究機関における実験室での安全管理の観点から、室内の人の動線をリアルタイムに把握し、インシデントの早期発見もしくは発生の抑止に繋げられる予兆情報の動的把握を検討する。室内での混雑度等に関する既存の研究として、公共交通機関や商業施設などを対象に、GPS, Bluetooth[1], Channel state information[2], 画像, 赤外線などの媒体を解析手法に用いた検討がなされている。これら解析手法の一つである電波は、計算機ネットワークを構成するための通信媒体として広く利用されるが、近年では電波リソースの有効活用手段として、Backscatter 通信のようにアンテナのインピーダンスを高速に切り替えることにより既存の電波に対して変調をかけ、電波の二次利用によるデータ伝送を可能とする技術が研究されている [3]。本研究では、WiFi で利用される 2.4GHz 帯の既存の電波強度の変動を把握することにより、実験室内の人の動線を動的に検出し、内部の環境変化を推定することを目的とする。

前回の著者らの報告 [4] では、居室内に配置した無線センサ間をモノ（人・金属・紙）が通過した際に生じる電波強度の変化を観測した。その結果、人と金属が通下した際に有意な電波強度の変化を観測できることが示唆された。本研究では、環境変化の検知に Wifi で用いられている 2.4GHz 帯の電波を利用する。Wifi は室内での無線通信の用途として汎用的に用いられており、電波強度の測定が容易にできることが見込まれ、かつ、観測対象とする人間が特段のデバイスなどを携帯する必要がないことから導入のハードルが低い。そこで、室内の電波強度を測定し、その時系列的変遷が示す特異的なパターンを機械学習によって類推することにより、室内の環境変化を動的に検知する手法の基

礎的検討を行う。

本稿では、室内での電波強度の測定とその測定結果を深層学習を用いて分類した結果について報告する。

## 2 実験の手法

無線センサの設置方法や電波強度の測定方法、センサの仕様等については前回の報告 [4] を参照された。今回の実験では、電波強度である RSSI (Received Signal Strength Indicator) の変動が明示される 2 つのセンサ間の距離および設置高について検討した。高さは、0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4m を設定した。2.4m は天井等高所に設置される AP を想定している。2m 以下は、所謂野良 AP と言われる机上や棚上に設置されている AP を想定した。センサ間の距離については、観察対象としている居室の大きさを考慮し、2m と 4m を設定した。これらの高さや距離の組み合わせ中、もっとも電波強度の変化が有意に観察できるものを調べた。結果の一部を図 1 に示す。この結果から、有意な電波強度の変化が捉えられるのは、高さ 1.6m、距離 4m と判断した。この高さおよび距離に 2 つのセンサを設置した上で、「センサ間で停止」「センサ間を通過」という 2 つの挙動を人が繰り返す。一回の測定は 3 分間とし、停止の際は 30 秒停止後に移動、通過の場合は 5 秒で通過としている。

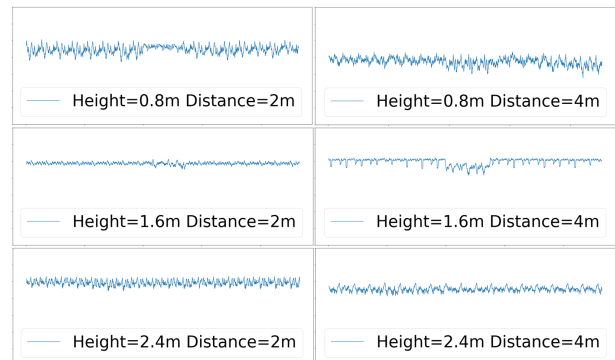


図 1: 条件別の電波強度

## 3 結果と考察

センサが出力するログは RSSI のラスタ値の集合体であるが、これら測定値の分散は概ね 15 程度であることから、値の変遷が unsigned 8bit 内に収束することが可能であると考え、測定ログを画像化することとした。画像化することにより、RSSI の変遷を視覚的

Quantitative evaluation of environmental changes in the laboratory using radio wave strength transitions and deep learning

<sup>†</sup> Ai Shuhara (a-shuhara@k.u-tokyo.ac.jp)

<sup>††</sup> Satoru Ono (ono@rerf.or.jp)

Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

(†) Department of Information Technology, Radiation Effects Research Foundation (††)

に確認することができることに加え、深層学習による畳み込みネットワークを容易に適用することができる。

センサが出力するログから RSSI のデータを時系列に抽出し、8bit GrayScale の画像データに変換を行った。センシングのポーリング間隔が約 13Hz、一回の測定時間が 3 分間であるため 2300 程度の RSSI 値が生成されることから、画像サイズは  $48 \times 48$  ピクセルとした。生成された画像データは図 2 のようになる。RSSI の変化として、画像中央に帯のようなものを目視することができる。

「センサ間で停止」「センサ間を通過」「何もない状態」の 3 つの状態を観測した時系列データをそれぞれ画像化し、畳み込みネットワークを用いた深層学習によって、これらの画像の分類を試みた。用意した画像データはそれぞれ 400 合計 1200 とし、学習用に 900、検証用に 300 とした。なお、深層学習における学習モデルの実装には、pytorch (version 1.8.0) を利用した。また、計算処理効率を考慮し、CUDA Toolkit (V11.8.89) を用いた GPU プラットフォームを準備した。

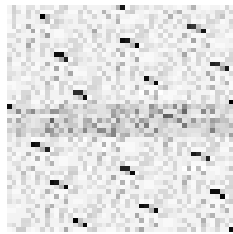


図 2: 生成画像

図 3 に正解率、図 4 に損失の変遷を示す。横軸は学習時の epoch 数である。epoch 数の進捗に応じて順調に学習が進み、今回の 3 値分類では概ね 9 割以上の正解率が得られていることがわかる。同様に損失も正解率に反比例する形で収束する様子が観測できる。よって、今回構築した畳み込みネットワークの学習モデルは、画像化された RSSI の変遷を適切に分類できるものであると考えている。

今回の実験では 2 つのセンサを用いて 2 つの動作を観測するというもっともシンプルな環境で評価を行った。その過程において、RSSI を測定するためのセンサ間の距離と設置する高さを検討した。得られた RSSI の時系列的な変遷を効果的に評価するために測定値の画像化を行い、それらの分類のために畳み込みネットワークを用いた深層学習を利用した。今後の計画としては、室内におけるヒトの動線をより実践的に捕捉するために、複数のセンサを用いて測定・評価を行うことを考えている。具体的には、センサの数とそれらを構成するトポロジの検討を行う。例えば、センサの数を 3 つとした場合、トポロジを構成するエッジは 2 辺もしくは 3 辺となる。各エッジにおいて複数の人が通過・停止した場合にそれぞれに観測された RSSI の変遷およびそれらの相関について評価を行いたい。

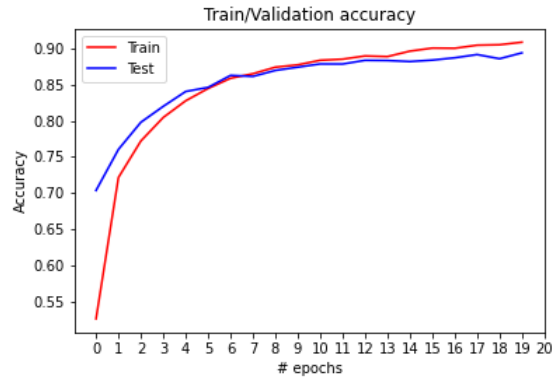


図 3: The trend of accuracy

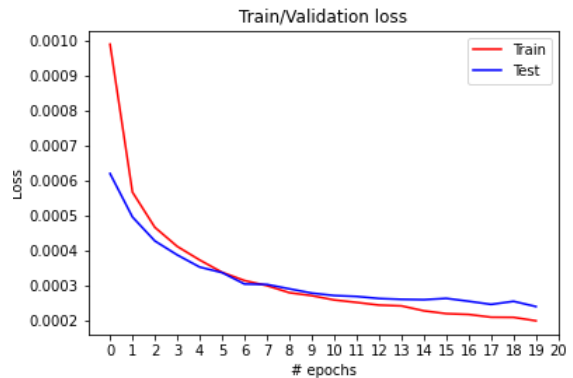


図 4: The trend of loss value

#### 参考文献

- [1] Blanke et al.: Proceedings of Capturing crowd dynamics at large scale events using participatory gps-localization, International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, IEEE, pp. 1-7 (2014).
- [2] Biswas, J. et al.: Localization and navigation for autonomous indoor mobile robots, in Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation (ICRA'10), IEEE, pp. 4379-4384 (2010).
- [3] Yohei Konishi et al.: Harmonics-Controlled Frequency Division Multiple Access without Harmonics and Sidebands Interference in Backscatter Communications, IEEE International Conference on Communications, pp.1-6, (2022).
- [4] Ai Shuhara, Satoru Ono: A Fundamental study on quantitative evaluation of indoor environmental changes using radio wave intensity, Information Processing Society of Japan The 84th National Convention of IPSJ, pp-465-466, March 2022.