

無線LANを用いたデバイスフリー室内混雑度推定の初期評価

松本 大生* 高橋 遼† 石田 繁巳† 荒川 豊†

*九州大学工学部電気情報工学科 †九州大学大学院システム情報科学研究所

1 はじめに

これまで、人間の存在・人数推定手法として、スマートフォンなど人間が持つ端末を利用する手法や環境に設置したカメラを用いる手法が提案されている。しかしながら、ユーザに付随する端末が存在しないデバイスフリーな環境や、プライバシーの問題などからカメラを設置することが困難な状況も存在する。このような環境下での人間検出・人数推定に向けた第1歩として、本稿では無線LANの伝搬路情報(Channel State Information: CSI)を用いて室内での混雑状況を推定する手法を提案する。CSIを用いたセンシングは、これまで車両の検出 [1, 2], 屋外人間検出 [3, 4], 浴室行動推定 [5] などを実施している。この特徴としては、一般家庭にすでに設置されているWiFiを用いることで様々な状況をセンシングできることである。本研究では、これまでに開発した手法を発展させCSIセンシングにより室内の混雑度推定を行う。

2 関連研究

混雑度推定の手法の1つとしてカメラを用いて画像処理を行うことにより群衆を検出する手法が報告されている [6]。カメラを用いる場合にはプライバシーを考慮する必要があり、例えば公衆浴場の混雑度を推定する場合などに適用することは困難である。カメラを用いず二酸化炭素センサや赤外線センサを用いた混雑度推定の手法を用いる手法も提案されているが [7], 二酸化炭素センサは推定までの時間が非常に長い点、赤外線センサは見通し環境への設置が課題となる。

また、スマートフォンに内蔵されたマイク及び加速度センサを用いた混雑度推定の手法が報告されている [8]。しかしながら、この手法ではユーザが常にスマートフォンを持ち歩くことを想定しており、オフィスや自宅など、スマートフォンの充電中や短時間の離席の際など、スマートフォンを携帯しないユーザがいる場合に推定精度が低下するという問題がある。

Initial Evaluation of Device-Free Indoor Congestion Estimation Using WLAN CSI

Taisei Matsumoto*, Ryo Takahashi†, Shigemi Ishida†, and Yutaka Arakawa†

*EECS, Kyushu University, Japan

†ISEE, Kyushu University, Japan

*matsumoto.taisei@arakawa-lab.com

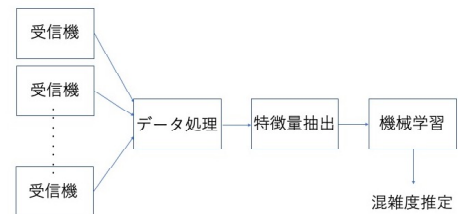


図1: 混雑度推定システム

3 CSIを用いた混雑度推定システム

本稿では、混雑度を「ある瞬間に測定室内に滞在している人数」と定義し、特に混雑度が高い状況を検知することを目的とする。オフィス空間を例にすると、全員が椅子に座っている状態は混雑しているとは考えず、打ち合わせ等で立ったり座ったり人が集まっている状態は混雑していると考える。そこで、本提案では、大きく動いている人間の存在を無線LANから得られるCSIデータから機械学習によって検出することで混雑度を推定する。

図1に提案する混雑度推定システムの概要を示す。受信機により受信したCSIデータから位相に関するデータを取り出し、取り出した位相データを用いて特徴量を抽出する。次に抽出した特徴量を入力として機械学習を用いて混雑度を推定する。

取得したCSIデータの内、1分間あたりの位相データから特徴量の抽出を行った。抽出した特徴量は、平均値、標準偏差、最小値、第1四分位数、第2四分位数、第3四分位数、最大値、尖度、歪度、平均絶対偏差、四分位範囲、二乗平均平方根の計12種とした。この12種の特徴量を2つのアンテナを持つ2台の受信機から得たCSIデータから抽出した。30個のサブキャリアから各特徴量を抽出し、合計1440個の特徴量で多クラス分類器を用いて学習を行った。本稿では使用する機械学習手法を限定しないが、特徴量の重要度を算出するためにRandom Forestを使用した。

4 評価実験

4.1 評価方法

図2に実験装置の配置を示す。1台の送信機と2台の受信機を九州大学伊都キャンパス内の研究室の机の上に設置し、それぞれの送受信機間で通信を行った。実

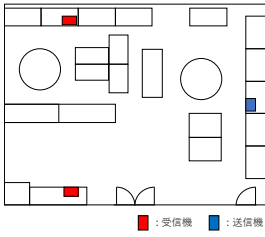


図 2: 実験装置配置図



図 3: 実験環境

験環境には図 3 に示すように金属製の机や棚などが設置されており、送受信機間には障害物が存在する状態で設置した。通信は 10 Hz 間隔で行い、各受信機において CSI データをのべ約 6 時間に渡って取得した。

提案する手法の実現可能性を検証するため、室内に滞在している人数をそれぞれ「誰もいない」「1 人から 5 人滞在している」「5 人から 10 人滞在している」「11 人以上滞在している」の 4 クラスに分類し、収集した CSI データを用いて混雑度推定の初期評価実験を行った。実験は学生・教員 16 名に協力してもらい、被験者の滞り場所や行動の制限は設けずに実験を実施した。

各クラスの CSI データの量が異なるため、各クラスのデータをアンダーサンプリングしてバランスさせて上で Random Forest を用いて 10 分割交差検証を行った。Random Forest におけるパラメータは、初期評価として $n_estimators=10000$, $min_samples_leaf=3$ とした。

4.2 評価結果

図 4 に混雑度推定の評価結果の混同行列を示す。図 4 より、室内に誰もいない状況及び多数の人間がいる場合は高精度で推定できることを確認した。誰もいない状況では無線伝搬路の変化が明確に小さくなり、多数の人間がいる状況では伝搬路の変化が明確に大きくなることから高い精度で推定できたと考えられる。

一方、滞在人数が 1 人から 5 人の場合、6 人から 10 人の場合、11 人以上滞在している場合の精度はそれぞれ 79.66%, 86.44%, 98.31% であった。滞在人数が 1 人から 5 人の場合と 6 人から 10 人の場合の精度がその他 2 クラスの推定精度と比較して低くなっている原因としては、学習データにおける各クラス内の人数の偏りが考えられる。1 人から 5 人のクラスでは 5 人の場合のデータが多く、6 人から 10 人のデータでは 6 人のデータが多く存在する。このため、クラスの分類境界を定めることが困難であったと考えられる。

図 5 に、混雑度推定に用いた特徴量の重要度を示す。図 5 より、標準偏差や四分位範囲をはじめとするデータのばらつきを示す特徴量の重要度が高いことが分かる。一方で、平均値や中央値といったデータの中心を表

none	100.00	0.00	0.00	0.00
1-5	0.00	79.66	20.34	0.00
6-10	0.00	10.17	86.44	3.39
more	0.00	0.00	1.69	98.31
	none	1-5	6-10	more

図 4: 混雑度推定の評価結果の混同行列

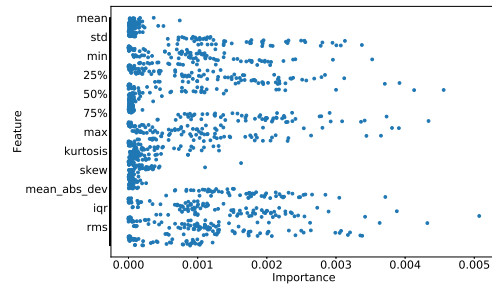


図 5: Random Forest 使用時の各特徴量重要度

している特徴量の重要度は著しく低いと言える。人間の存在による伝搬路変化の大きさを表す特徴量によって混雑度を推定できると考えられる。

今後の展望としては、特徴量重要度の低いものを取り除くことに加え、データのばらつきを示す新たな特徴量を見つけ、抽出することで、推定精度が向上することが期待される。

5 おわりに

本稿では無線 LAN に含まれる CSI 情報から室内の混雑度推定手法を提案した。評価の結果、図 4 に示す 4 クラスの混雑度の分類では、平均 91.10% という精度で室内における混雑度を推定できることを確認した。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K18041 及び JST ACT-I JPMJPR18U2 の助成で行われた。

参考文献

- [1] 折原 他: [ポスター講演] Wi-Fi 信号を用いた自動車・自転車・歩行者の検出手法の検討, IEICE 革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (2019).
- [2] M. Cong et al.: Proposal of on-road vehicle detection method using WiFi signal, IPSJ 研究報告 ITS-76-4 (2019).
- [3] M. Miyazaki et al.: Initial attempt on outdoor human detection using IEEE 802.11ac WLAN signal, IEEE SAS (2019).
- [4] R. Takahashi et al.: DNN-based outdoor NLOS human detection using IEEE 802.11ac WLAN signal, IEEE SENSORS (2019).
- [5] Z. Zhang et al.: Danger-pose detection system using commodity Wi-Fi for bathroom monitoring, Sensors (2019).
- [6] 新井 他: 群衆をマクロにとらえる画像処理技術, IPSJ 研究報告 CVIM-190-13 (2014).
- [7] 湯山 他: 赤外線・二酸化炭素センサによる車両混雑度推定システムの基礎検討, IEICE 東京支部学生会 (2009).
- [8] 西村 他: スマートフォンを活用した屋内混雑センシングの実装と評価, IPSJ 研究報告 DPS-160-9 (2014).