

6V-01

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

水谷 優秀^{*1} 内山 彰^{*1} 東野 輝夫^{*1} 村上 友規^{*2} アベセカラ ヒランタ^{*2}

^{*1} 大阪大学 大学院情報科学研究科

^{*2} NTT アクセスサービスシステム研究所

{m-mizutani, uchiyama, higashino}@ist.osaka-u.ac.jp

{tomoki.murakami.nm, hirantha.abeysekera.eu}@hco.ntt.co.jp

1 はじめに

ショッピングモールや駅、空港など多くの人が利用する公共施設において、場所ごとの混雑状況を把握することは、マーケティングや避難誘導において重要である。これまでカメラ映像や Wi-Fi プローブ情報を用いたものなど混雑状況を推定する様々な手法が提案されているが、プライバシーを侵害せず安価な手法として Wi-Fi のチャンネル状態情報 (Channel State Information: CSI) を利用したものが注目されている [1, 2]。

CSI は 802.11n 以降で規定された Multiple-Input and Multiple-Output(MIMO) を実現するために送受信機間で取得される情報であり、アンテナ間での位相および振幅が OFDM サブキャリアごとに取得可能である。文献 [1] では Transfer Kernel Learning(TKL) を用いることで室内での人数推定を実現しており、0 から 7 人の分類ではおよそ 96% の正解率を達成している。多くの既存手法では、送信機と受信機を固定して CSI を取得し、教師あり学習によって、人数推定を行っている。しかし、CSI による人数推定が可能な範囲は、送受信機間の電波伝搬に影響を与える範囲となるため、広い範囲を対象とする場合には、多数の基地局を設置する必要があり、設置や維持管理のコストを考えると現実的でない。

そこで、本研究では受信機としてスマートフォン等のモバイル端末を用いて、Wi-Fi 基地局 (AP) との通信から得られる CSI を利用することで広範囲の混雑推定を少数の基地局で実現することを目標としている。本稿では基礎検討として、モバイル端末が移動中と静止時での CSI の違いに関する実験結果を報告する。

2 Channel State Information

IEEE 802.11n 以降では、送信機と受信機のそれぞれで複数のアンテナを用いた送受信が行われる Multiple-Input and Multiple-Output(MIMO) を採用しており、また直交周波数分割多重方式 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM) によってデータを複数のサブキャリアに乗せて送る。CSI では OFDM 変調におけるサブキャリアごとの振幅やアンテナ間の位相差を取得することができる。したがって、 N_{T_x} 本の送信アンテナ、 N_{R_x} 本の受信アンテナに対して、サブキャリア数を S とすると、CSI を取得する度に $N_{T_x} * N_{R_x} * S$ 個の振幅および位相差の情報得られる。これによって、従来用いられてきた RSSI に比べて非常に多くの電波状況に関する情報を得ることができ、通信性能の向上という本来の目的に加えて、混雑状況推定や人の行動認識への応用が期待されている。

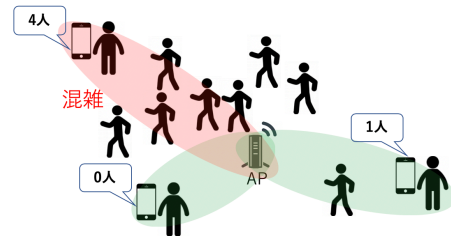


図1 モバイル端末連携による人数推定

3 モバイル端末連携による人数推定

本研究では、ショッピングモールなどにいくつかの AP が設置されている環境を想定する。来客や警備員が保持するスマートフォン等のモバイル端末を近隣の AP に接続し、その端末と AP 間で CSI を取得する。なお、Wi-Fi Fingerprint などの位置推定方式により、モバイル端末の位置は誤差数 $m \sim 10$ 数 m 程度で分かるものとする。モバイル端末と AP 間で得られた CSI をあらかじめ構築しておいた人数推定モデルに入力することで、AP とモバイル端末間の推定人数を得る。このとき得られる推定人数は、各モバイル端末と AP 間の通信経路付近の人数を表していると考えられる。このため、モバイル端末の推定位置と、得られた推定人数を地図上に統合することによって、対象領域の人数分布を得る。

上記の手法を実現するにあたり、人数推定モデルの構築方法が最大の課題となる。電波伝搬に影響を与えるあらゆる要因によって CSI は変化する可能性がある。このため、ある場所で様々な人数に対する CSI を取得し、機械学習によって人数推定モデルを構築したとしても、そのモデルをそのまま別の場所に利用できるとは限らない。文献 [2] では、一つの部屋で構築した人数推定モデルをそのまま別の部屋で利用しても大幅な精度低下が見られないことが報告されているが、同一の人数推定モデルが利用可能な条件は明らかにされていない。このため、本研究では我々が想定する環境において、CSI に大きな影響を与えると予想される端末の位置や移動の有無といった条件を変化させて実験を行い、モバイル端末連携による人数推定を実現するための基礎検討を行う。

4 実験

4.1 実験環境

実験では、モバイル端末として PC(Lenovo x200), AP には ELECOM WRC-1167GHBK-S を用いた。

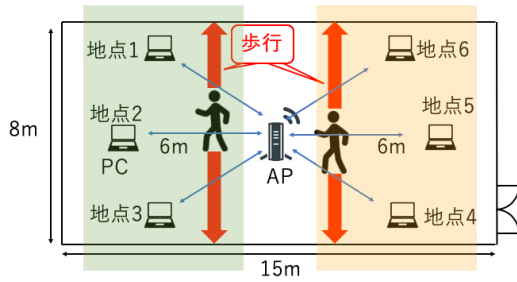


図2 実験環境（端末移動なし）

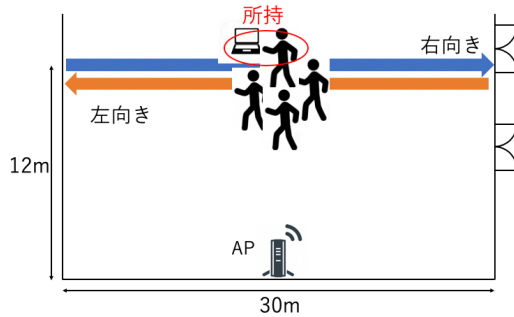


図3 実験環境（端末移動あり）

振幅						
	地点1	地点2	地点3	地点4	地点5	地点6
0人	0.0076	0.0165	0.0072	0.0026	0.0082	0.0198
1人	0.0563	0.0754	0.0566	0.0235	0.1925	0.1262
3人	0.8283	1.2239	0.9595	2.2374	1.7399	1.0172

位相						
	地点1	地点2	地点3	地点4	地点5	地点6
0人	0.1417	0.18	0.1803	0.2478	0.2981	0.114
1人	0.9955	0.9524	1.537	1.124	0.8073	0.9955
3人	1.3854	2.12	1.707	1.5223	1.1053	1.6118

表1 CSIの分散（端末移動なし）

Linux802.11n CSI Tool*をPCにインストールし、pingコマンドを用いて1msごとにCSIを取得した。位置変化による影響を調べる実験ではAPとPCの両方を固定し、その間を集団が歩行した場合のCSIを6地点において取得した(図2)。また、モバイル端末が移動中の場合での影響を調べる実験ではAPを固定してPCを所持した人が集団と共に歩行した場合のCSIを取得した(図3)。

4.2 実験結果

4.2.1 送受信機の位置関係の影響

まず、端末移動がない場合を想定し、モバイル端末の位置とCSIの関係性を調べるため、PCを図2の6地点に固定し、CSIを取得した。歩行者の数は0, 1, 3人の3通りとした。表1は歩行者が2往復する間に取得したCSIの振幅と位相の分散を表している。6地点全てにおいて、歩行者数の増加に伴って振幅・位相の分散は増加する結果が見られる。このことから、端末が静止している場合では、送受

	振幅		位相	
	右向き	左向き	右向き	左向き
2人	44.743582	49.11146	0.969211	0.208476
4人	85.481361	54.239021	0.858507	0.683773
6人	75.372531	55.32489	0.859764	0.454081
8人	59.37834	57.636241	0.858301	0.566374
11人	64.592732	59.209831	0.686854	0.569406

表2 CSIの分散（端末移動あり）

信機の位置関係の変化に依らず、CSIから得られた振幅・位相の分散は周囲の人数が増加するほど増加することがわかる。

4.2.2 端末移動の影響

モバイル端末が移動することでCSIに及ぼす影響を調べるため、図3のようにPCを所持した歩行者が集団と一緒に移動した場合のCSIを取得した。集団の人数は2, 4, 6, 8, 11人の5通りである。

表2は振幅と位相の分散を移動方向別に示している。この結果より、振幅・位相共に周囲の人数と分散の値の相関は見られず、また、歩く向きによる類似性も見られないことが分かる。この要因の一つとして、CSIが歩行動作の影響を受け、変化することが考えられる。CSIを利用した既存研究では、様々な行動認識を行う物も多数存在することから、歩行動作や端末の移動はCSIに大きく影響を与える。したがって、移動中に取得したCSIから周囲の人数を推定することは困難である。

以上より、4.2.1節の端末移動が無い場合の結果と合わせて考えると、モバイル端末連携による人数推定を実現するためには、モバイル端末が静止している間にCSIを取得し、人数推定を行うことが必須と考えられる。

5 おわりに

本稿では、モバイル端末連携によるCSIを用いた人数推定を実現するための基礎検討として、端末移動の有無がCSIに与える影響を調査した。実験結果より、端末の移動はCSIに大きな影響を与えるため、モバイル端末が静止していることを前提に、人数推定法を設計する必要があることが分かった。今後、単一の人数推定モデルを異なる地点で利用した場合の影響について検討を行ったうえで、人数推定法全体の設計を行う計画である。

参考文献

- [1] Zou, H., Zhou, Y., Yang, J., Gu, W., Xie, L. and Spanos, C.: Freecount: Device-free crowd counting with commodity wifi, *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*, IEEE, pp. 1–6 (2017).
- [2] Di Domenico, S., De Sanctis, M., Cianca, E. and Bianchi, G.: A trained-once crowd counting method using differential wifi channel state information, *Proceedings of the 3rd International on Workshop on Physical Analytics*, ACM, pp. 37–42 (2016).

*<https://dhalperi.github.io/linux-80211n-csitool/installation.html>