

## Wi-Fi パケットセンサを用いた混雑度推定に関する研究

## A Study on Congestion Estimation Using Wi-Fi Packet Sensors

佐藤 岳斗<sup>†</sup> 行田 弘一<sup>†</sup>Gakuto SATO<sup>†</sup> Koichi GYODA<sup>†</sup><sup>†</sup> 芝浦工業大学工学部情報通信工学科<sup>†</sup> Faculty of Engineering, Information and Communications Engineering, Shibaura Institute of Technology

## 1. はじめに

人の移動及びその結果として生じる混雑度推定は、マーケティングや感染症拡大防止において重要である。近年のスマートフォン等 Wi-Fi 機器の普及により Wi-Fi パケットセンサを用いた混雑度推定が注目を集めている。Wi-Fi パケットセンサは、人が所持する Wi-Fi 機器が周囲のアクセスポイント(AP)を検索するために送信するプローブリクエストフレームを受信し、このフレーム内に含まれる送信端末の MAC アドレスをキーとしてセンサの送受信範囲に存在する端末数をカウントすることで混雑度推定を行う。従来 MAC アドレスは、端末毎に割り当てられた不変のユニークアドレスが用いられてきたが、昨今はプライバシー及びセキュリティの観点からランダムに書き換えられるランダムアドレスが用いられている[1]。このため、従来のユニークアドレスのみを用いた混雑度推定では実際の端末数を正確にカウントできない問題がある。本研究では、正確な混雑度推定を可能にすることを目的とし、ランダムアドレスが用いられた場合の端末数推定手法を提案し、実験により有効性を評価する。

## 2. 提案手法

受信したプローブリクエストフレームから得られたデータには、端末の MAC アドレス以外にもタイムスタンプ、RSSI 値、パケット長及びシーケンス番号が含まれる。提案手法では、一定時間内に受信したフレームから得られたデータ列に対し、MAC アドレスの第一オクテット(上位1バイト)の下位2ビットによりユニークアドレス及びランダムアドレスを区別し、ユニークアドレスの場合は従来の手法通り MAC アドレスの数を端末数とし、ランダムアドレスの場合は、まず MAC アドレスの上位 24 ビットから得られるベンダーコード及びパケット長が一致したデータのうち、タイムスタンプ毎のシーケンス番号の差分が 10 以上 40 以下のデータを同一端末からのものと判断する。次に残りのデータについて、ベンダーコード及びパケット長が一致したデータのうち、端末が1分以内に送信したプローブリクエストの数が同一のデータを全て同一端末からのものと推定する。以上の手順によって推定されたユニークアドレスとランダムアドレスの端末数の和を最終的な推定端末数とする。

## 3. 提案手法の評価

## 3.1 基礎実験による有効性の確認

提案手法を用いて、Raspberry Pi を用いた Wi-Fi パケットセンサで 3 台の端末から 20 分間受信したデータの一部(データ数 10)に対し端末数推定を行った。受信データは全てランダムアドレスであり、これらを表1に示す。表1において

表1 受信データ

No	Time	MAC アドレス	RSSI	パケット長	シーケンス番号	ベンダーコード
1	18:56	5a:81:2b:c4:b9:e7	-65	167	1357	Unknown
2	18:56	5a:81:2b:c4:b9:e7	-59	167	1358	Unknown
3	18:56	5a:81:2b:c4:b9:e7	-61	167	1361	Unknown
4	19:00	8a:81:0b:c4:bc:97	-65	144	1357	Unknown
5	19:01	4e:a2:07:79:3f:be	-62	169	3112	Apple
6	19:02	7e:0e:47:f8:b5:27	-60	167	2619	Unknown
7	19:02	7e:0e:47:f8:b5:27	-61	167	2622	Unknown
8	19:02	7e:0e:47:f8:b5:27	-64	167	2624	Unknown
9	19:07	c2:a1:99:e3:f6:53	-63	169	3139	Apple
10	19:08	ce:f2:ea:8c:6c:c4	-47	144	1382	Unknown

No.4, 10 及び No.5, 9 はベンダーコード及びパケット長が一致し、シーケンス番号の差分が 10 以上 40 以下であるためそれぞれ同一端末と推定される。No.1, 2, 3 及び No.6, 7, 8 はそれぞれ同じ MAC アドレスであり、さらに1分以内のプローブリクエスト送信数が3と同一であるため、全て1台の端末からのものと推定される。最終的な推定端末数は3となり実際の端末数と一致した。

## 3.2 研究室における混雑度推定結果

前節の手法及び Wi-Fi パケットセンサを用い、研究室において 520 分間測定したデータより、従来手法及び提案手法により推定した端末数及び実人数の時間変化を図 1 に示す。従来手法の実人数との平均誤差 5.42 人に対し、提案手法の実人数との平均誤差は 1.35 人であった。

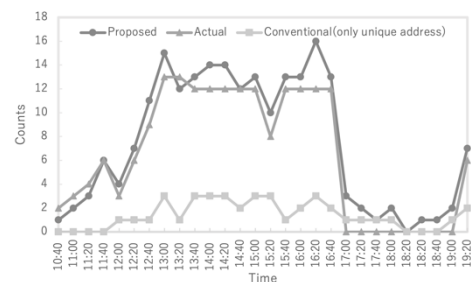


図1 推定端末数及び実人数の時間変化

## 4. まとめ

ランダムアドレスが用いられた場合の端末数推定手法を提案し、実験により性能を評価した。その結果、10 人前後の環境において誤差 11.2%で混雑度を推定することができた。今後はより広い範囲により多くの端末が存在する場合の提案手法の有効性を検証する必要がある。

## 参考文献

[1] F.Meneghello et al., "Toward Integrated Sensing and Communications in IEEE 802.11bf Wi-Fi Networks", IEEE Communications Magazine, pp.128-133, Jul. 2023.