

無線 LAN におけるプローブ要求を用いた混雑度推定

中田恵史^{†1} 岡本東^{†1} 堀川三好^{†1}

概要: 無線 LAN とスマートフォンの普及により、スマートフォンなどの無線 LAN 搭載端末から発信されるプローブ要求を利用した行動分析技術の研究がさかんに行われている。既存の研究では、MAC アドレスのみを用いて、同一端末から送信されたプローブ要求を推定し、分析していた。しかし、最新のスマートフォンの一部にはランダムな MAC アドレスを生成する機能が追加され、既存の手法を用いることが困難となっている。本研究では、ランダムな MAC アドレスを含むプローブ要求に対しても、タイムスタンプ、MAC アドレス、受信信号強度、パケット長、シーケンス番号から同一端末から送信されたものを推測する同一利用者推定を行う。それを用いて、その場の端末数と各端末の滞在時間を求め、混雑度を推定する手法を提案し、システムプロトタイプを作成した。また、システムプロトタイプを用いて、プローブ要求を用いた混雑度推定が可能であるかを調べる実験を岩手県立大学の学生食堂で行った。結果は、平均人数誤差 7.2 人、標準偏差は 4.7 人であり、実際の人数に合わせて推定結果も変動した。

キーワード: Wi-Fi, スマートフォン, 行動分析

Congestion Degree Estimation using Probe Request in Wireless LAN

SATOSHI NAKATA^{†1} AZUMA OKAMOTO^{†1}
MITSUYOSHI HORIKAWA^{†1}

Abstract: Due to the spread of wireless LAN and smartphone, behavior analysis technology using probe requests sent from wireless LAN terminals is studied and developed. In existing research, it analyzes using only MAC address for combining probe requests sent from same terminal. However, some of the latest smartphones have ability to generate random MAC addresses. Therefore using existing methods is difficult. In this research, it estimates same terminal by use of time stamp, MAC address, received signal strength, packet length, and sequence number. In order to estimate congestion degree, it finds number of terminals at that location and staying time of each terminal by that estimate. And we create system prototype. Then, at Iwate Prefectural University student cafeteria, we conducted an experiment to investigate whether this approach is possible. This experimental results showed that average human error was 7.2 people and standard deviation was 4.7 people and varied according to the actual number of people.

Keywords: Wi-Fi, Smart Phone, Behavior Analysis

1. はじめに

近年、無線 LAN (Local Area Network) の 1 つである Wi-Fi を利用できるスマートフォンが急速に普及している。2010 年は 9.7% だった保有率は、2017 年現在 71.8% まで増加しており [1]、今後も増加すると考えられる。スマートフォンの普及につれ、公衆無線 LAN サービスも増加しており、利用者は 5000 万人まで増加した [2]。行政では、2020 年の東京オリンピックを背景に、訪日外国人の利便性を高めるため、無線 LAN 環境を全国整備させるための取り組みを強化しており、今後、無線 LAN の利用者はさらに増加する見込みである。また、2011 年の東日本大震災以降、駅構内などの特に人が集中する都心部で安全性、混雑解消、都市計画のために、混雑度、人流等をリアルタイムで把握する重要性が高まっている。

一方で、IT (Information Technology) 技術を活用した行動分析手法として、設置型のカメラを用いた行動分析 [4] やスマートフォンの加速度センサを利用した混雑度推定 [5]

などがある。しかし、カメラを用いた手法では、コストが高い点、プライバシー保護の観点などの問題がある。また加速度センサを利用した手法では、対象者が専用のアプリを起動している必要がある。そのため、実環境への導入実現性が低いと考えられる。

本研究では、近年急速に普及が進んでいるスマートフォンなどの無線 LAN 搭載端末から発信される Wi-Fi のプローブ要求を用いて安価かつ施設利用者等の手続きが不要である混雑度推定手法を提案する。

2. 関連研究

2.1 Wi-Fi プローブ要求を用いた店舗待ち時間予測

岡村ら [6] は、スマートフォンに手を加えず、アクセスポイントを用いて収集されたプローブ要求から、事前学習の必要のない簡易な位置推定を用いて店舗内外の判別を行った。その後、滞在時間からサービス中の利用者サービス待ちの利用者の判別を行い、サービス待ち利用者の人数から待ち時間を求める手法を提案した。評価実験では、シミ

^{†1} 岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科
Graduate School of Software and Information Science,
Iwate Prefectural University

ユーザを用いて行い、非常に混雑しているときを除き、高い精度での推定を可能とした。

2.2 Wi-Fi パケット人流解析システム

望月ら[7]は、プローブ要求を収集し、MAC (Media Access Control) アドレスを匿名化する AMP センサを作成した。AMP (Anonymous MAC address Probe) センサを施設内複数個所に設置し、収集されたプローブ要求の MAC アドレスを用いて同一端末から送信されたパケットの紐づけを行い、それを元に人流を解析し、実証実験結果の報告をした。

2.3 本研究の位置づけ

岡村らのプローブ要求を用いた店舗待ち時間予測では、スマートフォン保有率を考慮していない。実環境では、座席数や収容人数が少なく、客層が変化するような店舗では不規則的にスマートフォン保有率が変化する。そのため、正常な待ち時間予測が出来ないと考えられる。また、両研究において施設利用者等の判別には MAC アドレスを用いている。しかしながら、後述で説明する最新のスマートフォンの一部に実装されているプローブ要求に含まれる MAC アドレスをランダムに生成したものを扱うランダム MAC アドレス機能により、利用者の判別は困難だと考えられる。

これらの点を踏まえて、本研究ではランダム MAC アドレス機能を有する端末を含めて、同一端末から送信されたパケットを推定する利用者推定を行う。具体的には、MAC アドレス、パケット長を利用して、プローブ要求の種類ごとに分類し、RSSI (Received Signal Strength Indication)、シーケンス番号を用いて同一端末から送信されたパケットを推定する。また、スマートフォン保有率の変化を考慮して各端末の滞在時間とその場の端末数を利用した混雑度推定を提案する。

3. プローブ要求

3.1 プローブ要求の概要

スマートフォン、携帯用ゲーム機などの Wi-Fi 対応の無線 LAN 搭載端末は、周囲のアクセスポイントを検索するために Wi-Fi 通信の標準規格 IEEE802.11[8]で定義されたプローブ要求を送信する。プローブ要求は Wi-Fi 機能を有効にしている場合、接続の有無に関わらず、数秒から数分間隔で自動的に送信されており、管理フレームには、送信端末の MAC アドレス、シーケンス番号などが含まれている。

3.2 プローブ要求の種類

市場に出回っているスマートフォン (8 機種) を対象として、プローブ要求のパケットの内容や送信タイミングなどについて調査を行った。その結果、送信されるプローブ要求のパケット情報を元に大きく 3 種類に分類した。多くの機種は、ユニークな MAC アドレスを使用する「MAC アドレス固定型」と、MAC アドレスが条件 (受信するたび、または 1 分から 10 分以内) によって変化する「MAC アド

レスランダム型」の 2 種類であった。これらは、いずれも送信間隔は一定、または規則性があり、シーケンス番号は送信する度、徐々に増加していき、4095 を超えると 0 に戻る。このため、「MAC アドレスランダム型」で MAC アドレスが変化しても、同一の端末であることがある程度推定可能である。しかし、2017 年以降のスマートフォンの一部 (iPhone8, iPhoneX, Pixel など) に、MAC アドレス、送信間隔、シーケンス番号がすべてランダムな値を取る「完全ランダム型」も存在する。

一方、全てのスマートフォンにおいて、アクセスポイントに接続している場合には、端末固有の MAC アドレスがそのまま使用される。

3.2.1 MAC アドレス固定型プローブ要求

MAC アドレス固定型のプローブ要求を送信するスマートフォンの OS は、全て Android であり、2014 年以降の iOS の機種 (iPhone6, iPhone6s, iPhoneSE, iPhone8) では確認出来なかった。この型のプローブ要求の MAC アドレスには、端末固有のものがそのまま使用されている。このアドレスは端末情報表示画面で確認出来る。そして通信の通し番号であるシーケンス番号は、送信ごとに増加していく。

実際に 1 台の端末から受信したプローブ要求の例を表 1 に示す。

表 1 MAC アドレス固定型プローブ要求の例

Time	MAC	RSSI	Length	SN
15:03:48	c4:7d:46:f8:60:d7	-35	107	21
15:04:39	c4:7d:46:f8:60:d7	-33	107	57
15:06:40	c4:7d:46:f8:60:d7	-37	107	93
15:08:42	c4:7d:46:f8:60:d7	-38	107	128
15:10:42	c4:7d:46:f8:60:d7	-34	107	165

3.2.2 MAC アドレスランダム型プローブ要求

MAC アドレスランダム型のプローブ要求を送信するスマートフォンは、Android の一部と、iPhone8, iPhoneX を除く、近年の iOS の全てに使用されている。ここでは、MAC アドレスランダム型のプローブ要求を、さらに「ベンダーID 固定型」、「全体ランダム型」の 2 種類に分類した。

「ベンダーID 固定型」とは、MAC アドレスの上位 3 バイトである OUI (Organizationally Unique Identifier) または CID (Company ID) と呼ばれる製造メーカーごとの識別子が固定で、下位 3 バイトのみがランダム化されているプローブ要求である。この型の多くは Android のスマートフォンである。実際に 1 台の端末から受信したプローブ要求の例を表 2 に示す。「全体ランダム型」とは、MAC アドレスの 6 バイト全体がランダムになっているものである。

いずれも、通信の通し番号であるシーケンス番号は送信ごとに増加していく。実際に 1 台の端末から受信したプロ

ープ要求の例を表3に示す。

表2 MACアドレスランダム型プローブ要求
(バンダーID固定型)の例

Time	MAC	RSSI	Length	SN
15:46:55	da:a1:19:02:70:b8	-13	107	703
15:49:55	da:a1:19:79:3f:be	-11	107	758
15:52:35	da:a1:19:bd:11:48	-19	107	805
15:55:56	da:a1:19:db:e4:b7	-15	107	859
15:58:36	da:a1:19:e3:f6:53	-17	107	914

表3 MACアドレスランダム型プローブ要求
(全体ランダム型)の例

Time	MAC	RSSI	Length	SN
12:46:04	26:db:e6:42:94:96	-19	144	1803
12:46:07	8a:e6:da:3c:89:ca	-19	144	1843
12:46:12	fa:95:3f:9f:7b:da	-19	144	1869
12:46:16	76:91:8d:dc:dc:dd	-17	144	1911
12:46:21	8a:95:cf:0f:4e:fb	-17	144	1944

3.2.3 完全ランダム型プローブ要求

「完全ランダム型」のプローブ要求を送信するスマートフォンには、AndroidのPixelシリーズとNexus5X、iOSのiPhone8、iPhoneXなどがある。この型では、MACアドレス、送信間隔、シーケンス番号にランダムな値が用いられる。MACアドレスは、MACアドレスランダム型プローブ要求の全体ランダム型と同様に6バイト全体がランダムな値を取っている。実際に1台の端末から受信したプローブ要求の例を表4に示す。

表4 完全ランダム型プローブ要求の例

Time	MAC	RSSI	Length	SN
13:50:02	be:cb:e1:63:37:38	-27	167	706
13:50:06	5a:a0:ac:e3:52:3b	-27	167	2292
13:50:10	de:40:c3:96:12:1c	-23	167	3895
13:50:13	9e:44:e4:1c:5d:39	-23	167	2075
13:50:21	1e:9d:a8:fd:54:d4	-25	167	1029

3.3 プローブ要求の分類方法

主なMACアドレスの形式を図1に示す。MACアドレスの第一オクテット(上位1バイト)の下位2ビットをG/Lビット、I/Gビットと呼ぶ。I/Gビットが0の場合は、1つの宛先に対して通信を行うアドレスであり、1の場合は複数の端末に対して通信を行うアドレスであることを示す。またG/Lビットが0の場合は世界で唯一のアドレスであり、1の場合は局所的に用いられていることを示す。I/Gビットを用いてアクセスポイント、Wi-Fi子機に分類し、G/Lビットを用いて固定MACアドレス、ランダムMACアドレスを判別することが出来る。識別表を表5に示す。

G/L, I/Gビットで分類後、ランダムMACアドレスのプローブ要求をMACアドレスのパターン、パケット長を用いて、バンダーID固定型、全体ランダム型、完全ランダム型に分類する。パケット長とは、プローブ要求の通信の大きさを示しており、機種ごとに1~3パターンで固定されている。表6に実際に測定した機種別のプローブ要求とパケット長一覧を示す。

5a:a0:ac:e3:52:3b

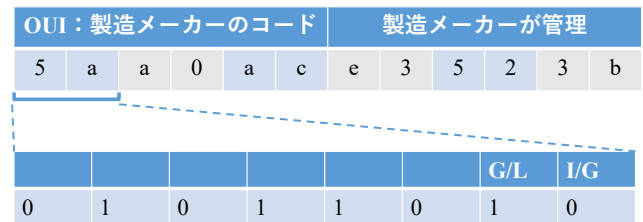


図1 MACアドレスの形式

表5 MACアドレスの識別表

G/L	I/G	種類
0	0	固定MACアドレス子機
1	0	ランダムMACアドレス子機
0	1	アクセスポイント
1	1	テザリングアクセスポイント

表6 機種別プローブ要求, パケット長一覧

機種	OS	プローブ要求	パケット長
iPhone6	iOS 10.3.3	MACアドレス ランダム型	144, 176
iPhone6	iOS 11.0.3	MACアドレス ランダム型	144, 176
iPhone8	iOS 11.0.3	完全ランダム型	122, 135, 167
ZenFone	Android 6.0.1	MACアドレス ランダム型	60, 104, 107
Nexus5X	Android 8.0.0	完全ランダム型	53
MotoZplay	Android 7.1.1	MACアドレス ランダム型	60, 107
Arrows M03	Android 6.0.1	MACアドレス固定型	107
XperiaZ3	Android 6.0.1	MACアドレス固定型	120

4. 同一利用者推定

4.1 概要

収集されたプローブ要求から、同一端末から送信された

パケットを推定する。手順として、まず、前処理でプローブ要求を G/L, I/G ビット, ベンダーID, パケット長を用いて種類ごとに分類する。その後、各種類に適した手法で同一端末から送信されたパケットを結び付ける。これにより、各端末の初めて受信した時間と最後に受信した時間が算出でき、各端末の滞在時間やその場の端末数を推定することが可能となる。概要図を図2に示す。

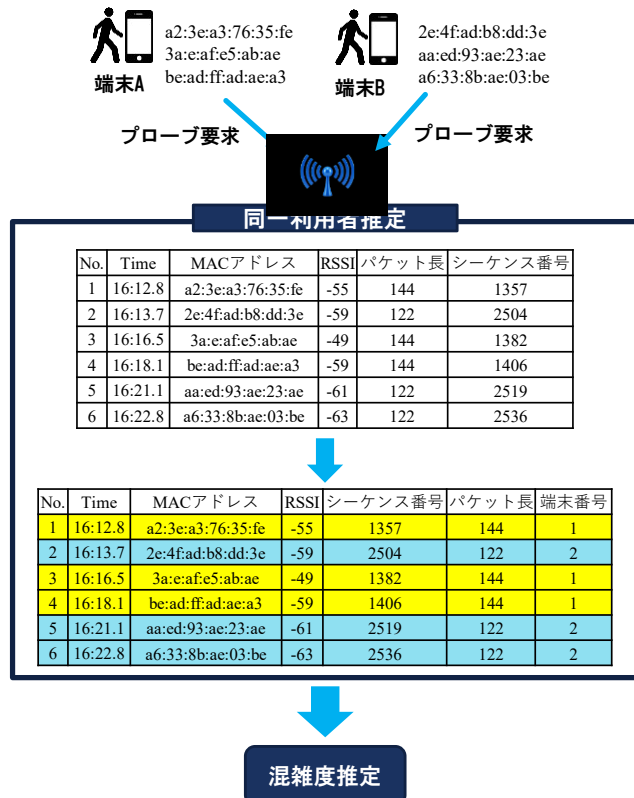


図2 同一利用者推定

4.2 前処理

前処理として、プローブ要求を分類する。まず、3.3節で述べたように、G/L, I/G ビットを用いて、MACアドレス固定型とMACアドレスランダム型を分類する(①)。次にMACアドレスランダム型をOUIと呼ばれるMACアドレスの上位3バイトが固定のベンダーID固定型とMACアドレスの6バイト全体がランダムである全体ランダム型に分類する(②)。全体ランダム型はパケット長を用いて、MACアドレスランダム型と完全ランダム型に分類する(③)。ベンダーID固定型はベンダーIDごとに、全体ランダム型は、さらにパケット長ごとに分類する(④)。3.4節で述べたように、スマートフォンから発信されるプローブ要求のパケット長は、機種ごとにある程度固定されており、また数種類のパケット長を持っている場合でも、パケット長の変化は頻繁に発生しない。そのためパケット長ごとに分類することにより、プローブ要求をある程度の機種別に分類することが出来る。プローブ要求の分類図を図3に示す。

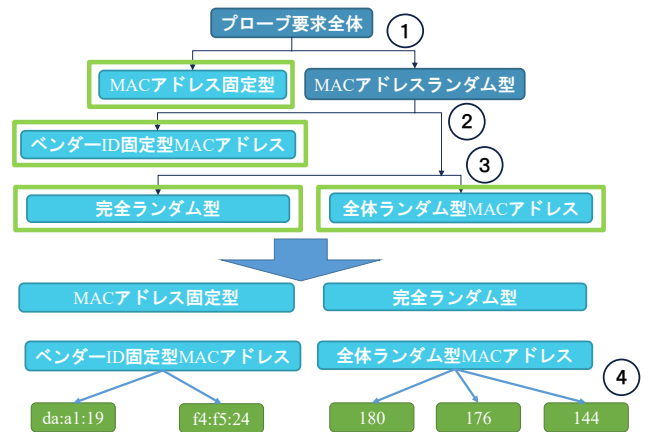


図3 プローブ要求分類

4.3 同一端末推定手法

前処理で分類した機種ごとのプローブ要求に同一端末の推定を行う。固定MACアドレス型のプローブ要求は、MACアドレスのみで同一端末を推定し、それ以外のプローブ要求は、完全ランダム型を除き、シーケンス番号, RSSI, 送信間隔を用いて推定する。フローチャートを図4に示す。完全ランダム型については、シーケンス番号がランダムで予測できないため、同一端末推定を行わない。

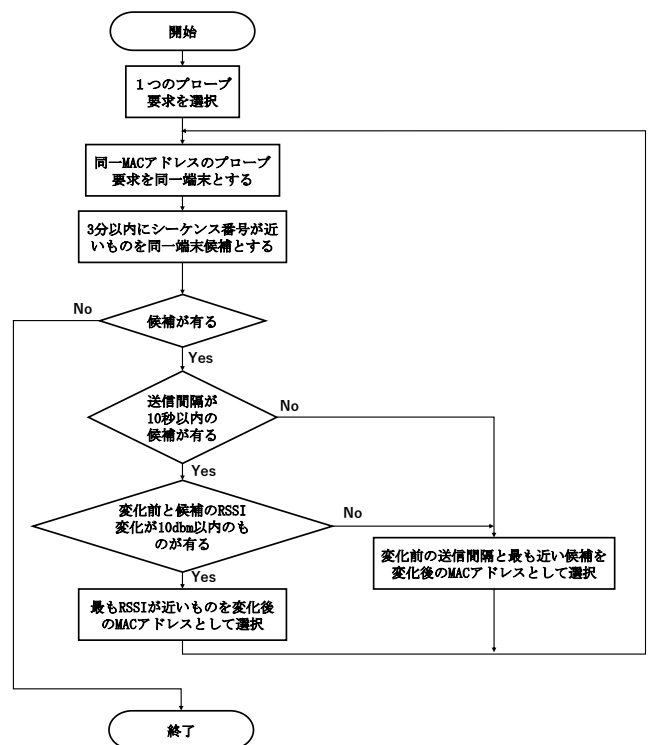


図4 同一端末推定フローチャート

4.3.1 MACアドレスによる結び付け

固定MACアドレス型のは、MACアドレスが変化しないため、同一のMACアドレスを結び付けて同一端末の推定を行う。またMACアドレスランダム型のプローブ要求も、数分から数十分変化しないものもあるため、まずMACアドレスのみで結び付ける。そして同一MACアド

レスを発見出来ない場合は、MAC アドレスが変化したと仮定して、候補を探す。

4.3.2 シーケンス番号による MAC アドレス変化後候補

完全ランダム型を除くプローブ要求には、送信ごとにシーケンス番号が増加するという性質がある。これを利用して MAC アドレスランダム型のプローブ要求から同一端末の結び付けを行う。シーケンス番号の変化間隔は、ほとんどの機種で 20~50 以内（まれに 100 以上になる場合がある）である。そのため、MAC アドレス変化前のプローブ要求のシーケンス番号に近いパケットを選択し、変化後の候補とする。

4.3.3 RSSI による変化後 MAC アドレス決定

シーケンス番号による候補が 2 つ以上ある場合、1 つに決定しなければならない。そのため変化前との送信間隔が 10 秒以内の候補が存在する場合は、RSSI を用いて候補を選択する。10 秒以内では、端末保有者は大きく移動するとは考えにくく、変化前のプローブ要求を送信した場所の付近で送信しているので、RSSI が大きく変化しないと考えられる。しかし、RSSI が低い場合は、広範囲で同じような値を取るため、変化前のプローブ要求を送信した場所と近いかどうか判別することは難しい。RSSI が高い場合は、パケットセンサの付近であり、同じような値を取るのは狭い範囲であるため、変化前のプローブ要求を送信した場所と近いと判断出来る。そのため、送信間隔が 10 秒以内であり、変化前の RSSI が高く、変化後の RSSI と近い値であれば、それを変化後の MAC アドレスとして選択する。この後の実装では、プローブ要求の送信間隔が 10 秒以内かつ、RSSI が -65dBm 以上で、変化値が 10dBm 以内ものを変化後の MAC アドレスとして選択する。

4.3.4 送信間隔による変化後 MAC アドレス決定

RSSI による変化後 MAC アドレス選択が出来ず、候補が 2 つ以上ある場合は、送信間隔を用いて、変化後の MAC アドレスを選択する。プローブ要求の送信間隔は、前回の送信間隔と大きく変化しない。そのため候補の中から、前回の送信間隔に最も近いものを変化後の MAC アドレスとして選択する。

5. 混雑度推定

プローブ要求を用いた混雑度推定では、収集したプローブ要求に対して、同一利用者推定を行い、その場のスマートフォンなどの端末数を推定する。そして端末数の変化を人数の増減とし、端末数と各端末の滞在時間を用いて混雑度を推定する。多くのスマートフォンはプローブ要求を 3 分間に 1 度以上送信している。そのため、ある時間の混雑度を推定するには、その時間から過去 3 分間に収集したプローブ要求を用いることで、その場の端末のほとんどのプローブ要求を 1 度以上収集できると考えられる。混雑度推定に使用するプローブ要求のサイクルを図 5 に示す。

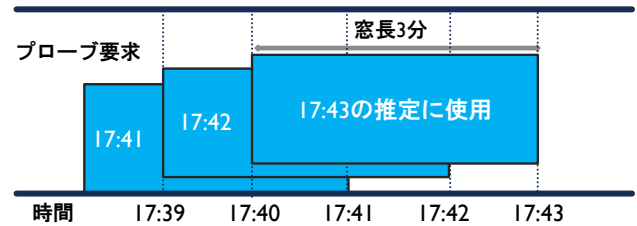


図 5 推定サイクル

6. 評価実験

6.1 実験概要

プローブ要求を用いた端末数と滞在時間推定の性能を評価するために、実環境での評価実験を行った。場所は岩手県立大学の学生食堂で、3月2日、8日の11時50分から13時20分の間、学生食堂の中心にパケットセンサを設置し、プローブ要求を収集した。実際の人数は目視で10分毎に計測し、推定結果との比較を行った。

6.2 実験目的

プローブ要求に対して同一利用者推定を行うことで得られた推定端末数と滞在時間が実際の人数とどのような関係があるのかを調べ、プローブ要求を用いた混雑度推定が可能かどうかを評価する。

6.3 実験機材

プローブ要求の収集に使用したパケットセンサについて説明する。Raspberry Pi 3 をベースに、Wi-Fi の通信パケットを受信するための monitor mode に対応した USB 無線 LAN アダプタ WLI-UC-GNM2、電源を供給するためのモバイルバッテリーで構成されている。OS は Linux ベースの Raspbian GNU/Linux8 で、キャプチャツールには tcpdump を使用した。パケットセンサの価格は 1 台 8000 円程度である。図 6 にパケットセンサの基本構成を示す。

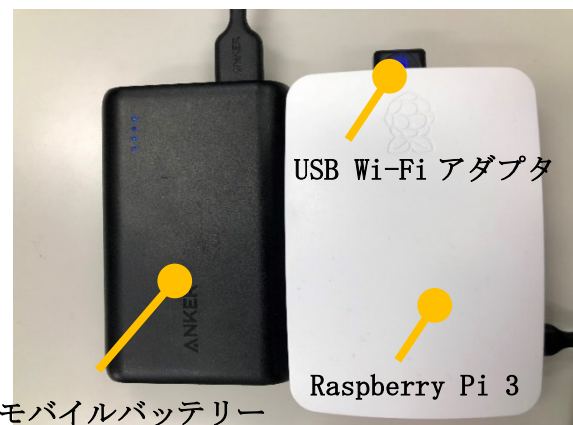


図 6 パケットセンサの構成

6.4 実験結果

実験結果を図 7, 8, 9, 10 に示す。図 7, 9 は左軸と棒グラフで実際の人数と推定端末数、右軸と折れ線グラフでプローブ要求数を表している。図 8, 10 は縦軸が滞在時間で横軸が、各端末のプローブ要求を最初に受信した時刻を表している。

プローブ要求の割合としては、両日ともに、固定 MAC アドレスの割合が高い結果となりました。

3月2日の結果(図7)では、平均人数誤差8.4人、標準偏差4.8人であり、全体的に実際の人数と推定端末数は近い値を取り、実際の人数の推移に合わせて推定端末数も変動した。13時10分以降、推定端末数が増加している。この日は就活イベントがあり、休憩時間になった参加者たちが食堂に来店してきたためだと考えられる。滞在時間(図8)に関しては、平均滞在時間16分37秒であり、時間が経つにつれ減少していくという結果になった。

3月8日の結果(図9)では、平均誤差6人、標準偏差は4.6人であり、全体的に実際の人数と推定端末数は近い値を取り、実際の人数の推移に合わせて推定端末数も変動した。この日は特にイベントもなく、お昼休みの中心である12時20分以降に客数が増加している。滞在時間(図10)に関しては、平均滞在時間15分32秒であり、この日も時間が経つにつれ減少していくという結果になった。

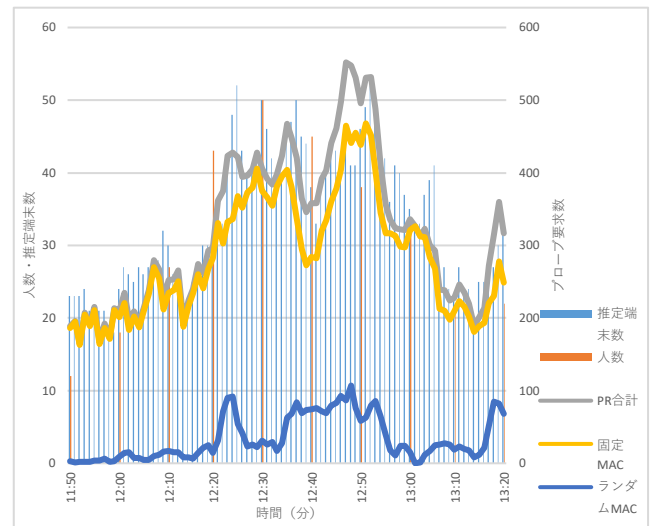


図9 推定端末数・プローブ要求数(3月8日)

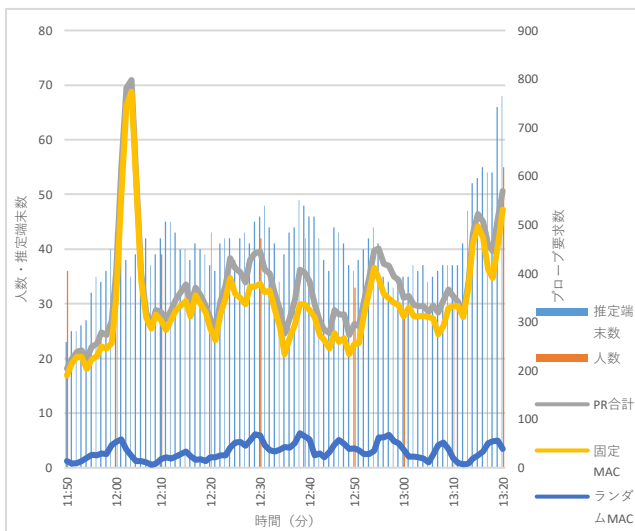


図7 推定端末数・プローブ要求数(3月2日)

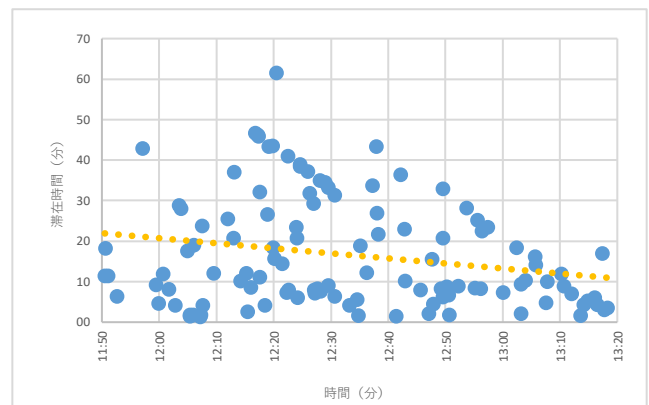


図10 滞在時間(3月8日)

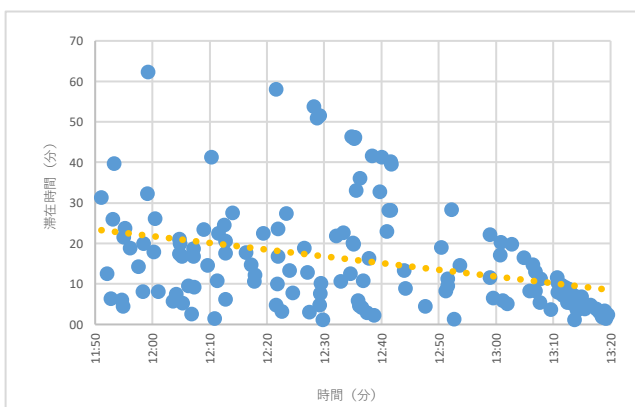


図8 滞在時間(3月2日)

6.5 考察

2日間の実験で固定 MAC アドレスを用いるプローブ要求の割合が高かった。これは、学内には教職員、学生が自由に利用できるアクセスポイントがあり、スマートフォンはアクセスポイントに接続している場合、ランダムな MAC アドレスを扱う機種であっても、端末固有の MAC アドレスを含むプローブ要求を送信しており、食堂の利用者の多くは、このアクセスポイントに接続していたためだと考えられる。

滞在時間に関して、両日ともに時間が経つにつれ減少していくという結果になった。理由としては、お昼休みが12時から13時の間であり、12時付近の人たちは時間に余裕があるが、13時に近づくにつれ余裕がなくなっていく、滞在時間が減少していき、滞りが減っていると考えられる。

実際の人数と端末数に関しては、関係性が見られたが、滞在時間と混雑度ではあまり見られなかった。理由としては、混雑のピーク時でも学生食堂の席には空きがあり、混雑しているからといって、早く席を立つ必要がないためだと考えられる。そのため本学の学生食堂では、推定端末数のみで混雑の把握が可能だと考えられる。しかし、もう少

し規模が小さく人数が少ないようなファミリーレストランの待合室などでは、その時のスマートフォンの保有率の影響を受け、端末数のみでは混雑の把握は困難である。そのような場合に滞在時間を利用することでそれらを解決できると考えられる。

7. おわりに

本稿では、Wi-Fi プローブ要求を用いた行動分析手法の提案として、ランダム MAC アドレスを含むプローブ要求からの同一利用者推定手法を提案し、それを用いた混雑度推定のプロトタイプを実装した。評価実験では、混雑度推定で得られた端末数と実際の人数との比較、滞在時間の算出を行い、誤差の標準偏差の2日間の平均は、7.2人と高精度であり、混雑度を示すには十分な結果であるといえる。

しかし、推定端末数のみでの混雑度推定では、スマートフォン保有率が推定結果に影響を及ぼすと考えられる。そのため、今後は様々な場所で検証実験を行い、推定端末数と滞在時間を組み合わせた混雑度算出モデルの構築を進める予定である。

参考文献

- [1] 総務省：数字で見たスマホの爆発的普及（5年間の量的拡大）、入手先
(<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc111110.html>)
- [2] 総務省：公衆無線 LAN セキュリティの現状について、入手先
(http://www.soumu.go.jp/main_content/000519238.pdf)
- [3] 総務省：全国的な Wi-Fi 環境の整備に向けた方策の概要、入手先
(http://www.soumu.go.jp/main_content/000354236.pdf)
- [4] 原田典明, 石寺永記, 大網亮磨, 中尾敏康：人物行動を把握する画像解析技術と適応例, NEC 技報, Vol.63, No.3 (2010)
- [5] 橋本武法, 田島直嗣, 福島雄太, 中山功一：加速度センサによる混雑度推定手法の提案と実装, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-MBL-67, No.05 (2013)
- [6] 岡村健太, 沼尾雅之：無線 LAN アクセスポイントを用いた店舗待ち時間予測, DEIM Forum 2016, H4-2 (2016)
- [7] 望月祐洋, 鬼倉隆志, 福崎雄生, 西尾信彦：Wi-Fi パケット人流解析システムの実環境への適応, DICOMO2014, pp.1249-1257 (2014)
- [8] Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, IEEE802.11TM-2012