

間欠的人流センシングにおける回遊状況推定

高柳 健司¹ 村尾 和哉² 望月 祐洋³ 西尾 信彦²

概要：近年、都市計画や交通計画、災害時の避難・救出活動、マーケティングでの利用を目的として、人の分布や流動状況をリアルタイムに把握する技術が求められている。本研究では、スマートフォンなどの端末から発信される Wi-Fi パケットを用いて人の分布や流動状況をオフライン解析で把握する。回遊状況として、(i) 任意時刻に人流センサ付近で観測された端末総数、(ii) 任意時刻に人流センサ付近に存在した端末が N 分前にいた地点、(iii) 端末が解析領域内に出現した地点から消失した地点までの経路のうち利用者が多い経路、を算出し、施設関係者に提供することを目的とする。これらの回遊状況を知るために、端末ごとに人流センサ付近に滞在していた時間を考慮して、端末が発信する Wi-Fi パケットを観測した人流センサの時系列情報を作成する。本研究の評価として、作成した時系列情報の正確さを検証するために、Wi-Fi パケットを頻発的に発信する端末と任意の送信間隔で発信する端末を用いて、停留を含まない移動と停留を含んだ移動の 2 パターンで適合率と再現率、F 値を算出した。2 パターンともに適合率は 90%以上を超えており、人流センサを通過した順序は正しい結果となった。加えて、通路上に配置されている人流センサの 1 日のデータを見ると、通勤時間帯での人数の尤もらしさを確認することができた。また、ある時刻に人流センサで観測された端末の N 分前の地点を発見することができた。さらに、利用者が多い経路のうちどの人流センサを経由した経路が多いかを発見することができた。

1. はじめに

近年、都市計画や交通計画、災害時の避難・救出活動、マーケティングでの利用を目的として、人の分布や流動状況を把握する技術が求められている [1]。人の分布や流動状況を把握する技術の中では、ステレオカメラやレーザレンジスキャナを用いた研究が盛んに行われている [2][3]。しかし、ステレオカメラやレーザレンジスキャナを複数台用いて人の分布や流動状況を把握する場合、センサ単体では個人を識別することが可能であるが、機器間で個人を識別し、移動軌跡を抽出することは容易ではない。

一方でスマートフォンの普及に伴い、スマートフォンに搭載されたセンサを活用して人の分布や流動状況を把握する研究がある [4][5][6][7][8]。中でも、Bluetooth を用いて、人流解析を行った例も報告されている [8]。これは、阿波踊りをするグループ（以下、連）の先頭を歩く高張提灯（たかばりちょうちん）に iBeacon を取り付けて、専用のアプリ

をインストールしている端末の位置情報と連動することで、連の追跡を行える仕組みになっている。ビーコンを検出した端末から送られてきた位置情報をサーバに蓄積し、後に取得したデータから分析をしている。分析することで、阿波踊り開催中の人の流れや、混雑具合等を把握することが可能になり、イベントの計画段階への活用も可能になる。

人々が持ち歩いているスマートフォンなどの Wi-Fi 機能を有する機器（以下、ユーザ端末）が周辺の Wi-Fi 基地局を探索するために定期的に発信している Probe Request フレーム（以下、Wi-Fi パケット）を、解析対象空間内に配置した AMP（Anonymous MAC address Probe）センサで収集することで、ユーザ端末に手を加えることなく、個人の移動に注目した人の分布や流動状況を把握できる。しかし、ユーザ端末が発信する Wi-Fi パケットの送信間隔は、機種や端末の状態によって 30 秒から 120 秒程度とばらつきがあり間欠的である。そのため、ユーザ端末が AMP センサの Wi-Fi パケット観測領域内に存在したとしても、Wi-Fi パケットを観測できずにユーザ端末の位置が不明である場合がある。筆者らは、このことを間欠的人流センシングと呼ぶ。

本研究では、回遊状況として、(i) 任意時刻に AMP センサ付近で観測されたユーザ端末総数、(ii) 任意時刻に AMP センサ付近に存在したユーザ端末が N 分前にいた地

¹ 立命館大学大学院情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

² 立命館大学情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Rit-
sumeikan University

³ 立命館大学総合科学技術研究機構
Research Organization of Science and Technology, Rit-
sumeikan University

点, (iii) ユーザ端末が解析領域内に出現した地点から消失した地点までの経路のうち利用者が多い経路, を算出し, 施設関係者に3種類の回遊状況の統計情報を提供することを目的とする。これらの回遊状況を知るために, ユーザ端末ごとにAMPセンサ付近に滞在していた時間を考慮して, ユーザ端末のWi-Fiパケットを観測したAMPセンサの時系列情報(以下, 移動シーケンス)を作成する手法を提案する。

2. 関連研究

2.1 人流統計情報を抽出する研究

西田ら[10]は, Wi-Fiパケットを収集するセンサを高速道路や一般道路などの路側に配置し, センサから得られたWi-Fiパケットから自動車交通の流動解析や人流解析で活用できる可能性が高いことを示している。高速道路の路側において, 近傍の2地点間に配置されているWi-Fiパケットを収集するセンサから車両の走行速度の計測をし, 近傍の2地点間に配置されているトラフィックカウンターが計測した走行速度の傾向と一致していることを確認し, Wi-Fiパケットを収集するセンサが有用であることを示している。統計情報として, 同一の端末IDが1分以上連続して観測される時間を滞留時間として滞留時間分布を測定していた。サービスエリア内での110分間での滞留時間分布として, 食事をする利用者は長時間の滞留をしており, 自動販売機で飲料水のみを買う利用者は短時間の滞留となっていたことが確認されている。

大西ら[2]は, 秋葉原UDXと呼ばれる複合商業施設に配置されたステレオビジョンを利用した人流の解析を行っている。商業施設や公共空間において通常時のマーケティング支援や災害時の避難誘導支援を目的としている。ステレオビジョンから人の動線を抽出し, 類似する動線をクラスタリングすることで, 人流における統計情報を抽出している。1ヶ月間に観測された動線の時間による変化のグラフから平日の昼食時の12時付近や夕食時の18時付近の人数が多いことが確認されている。加えて, 東日本大震災時の人流解析をし, 震災前後の人流の比較やグラフによる可視化を行っている。東日本大震災が起きた日は, 通常時に観測され得ない帰宅困難者と思われる動線が多数観測されたことや震災によって停止していた地下鉄の再開に合わせた動線の観測がみられた。また, 震災直後の休日は動線量が減り, 通常時の動線量に回復するまでに3週間ほど要していることも確認されている。

2.2 間欠性を考慮した研究

関本ら[9]は, パーソントリップ調査から得られる断片的な時空間データに内挿処理を加え, 継続的な時空間データへ再構築する手法を提案した。パーソントリップ調査では, 人の動きから都市を分析することを目的とし, 年齢や

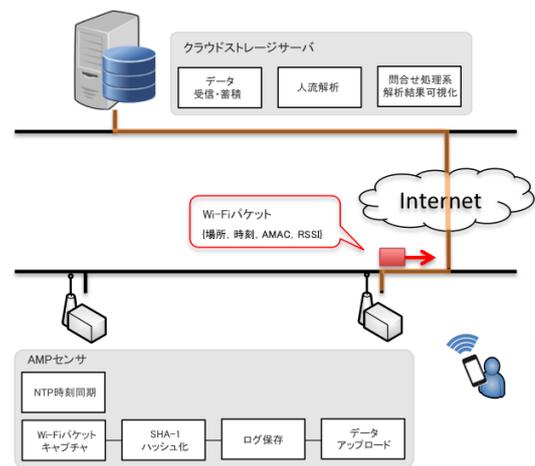


図1 Wi-Fiパケットを収集するシステム

性別, 職業, 現住所といった個人情報と指定された1日の交通行動について記載する。交通行動とは, 1つの目的に対しての移動を1トリップとして, 交通手段別に出発点とその時刻, 到着点とその時刻を調査対象者が記載したものである。しかし, パーソントリップ調査で得られる交通情報では, 地点とその時刻を断片的にしか把握できず, 任意時刻における人々の位置を把握することはできないため, 出発点と到着点の緯度経度情報を基に, 個々の経路をすべて特定している。経路特定後に, 調査対象者の1分ごとの位置を特定するために日本デジタル道路地図協会提供の道路ネットワークデータを用いて, 鉄道・道路ネットワークの形状に沿った形で時空間データの内挿処理を行っている。その結果, 1分間隔での調査対象者の位置を地図上に描画することができ, 加えて, 地点ごとの調査対象者数を算出することを可能にしている。しかし, 調査対象者の交通行動は屋外でスケールが大きく, 商業施設のようなスケールが小さい場合を考慮できていない。

3. 提案手法

3.1 Wi-Fiパケットを収集するシステム

本システムは図1のように, 複数のAMPセンサとクラウドストレージサーバから構成される。AMPセンサは, 正しい時刻へ同期するための通信プロトコルであるNTP(Network Time Protocol)を利用して, 時刻同期がされており, ユーザ端末から発信されるWi-Fiパケットを収集している。Wi-FiパケットにはMACアドレスが含まれているが, 匿名性の確保の観点から, 一方向性ハッシュ関数によって変換した値を含んでおり, この値をAMAC(AnonymousMAC)アドレスと呼んでいる。AMACアドレスによって, 個々のユーザ端末を識別できるため, AMPセンサで収集されたWi-Fiパケットをクラウドストレージサーバへアップロードし, 人の分布や流量を把握するための解析, 及び可視化を行うことができる。

3.2 移動シーケンスの作成方法

3.1章で述べた Wi-Fi パケットを収集するシステムにより収集された Wi-Fi パケットには、個々のユーザ端末を識別する AMAC アドレスが含まれている。そこで、ユーザ端末ごとに移動シーケンスを作成する。作成手順は3つのステップからなる。

- (1) 同一 AMP センサごとに矩形を作成
- (2) 重複区間の判定
- (3) AMP センサ付近に近づいた時と遠ざかった時の考慮

1 ステップ目として、同一 AMP センサで観測された Wi-Fi パケットの観測系列のうち、連続する Wi-Fi パケットの時刻差が ϵ 分未満であれば、 n 個目の Wi-Fi パケットを受信したタイムスタンプから $n+1$ 個目の Wi-Fi パケットを受信したタイムスタンプの間は同一の AMP センサの観測領域内に滞在しているとみなして、図 2 のように AMP センサごとに矩形を作成する。

2 ステップ目として、図 2 の矩形に着目すると、複数の AMP センサで Wi-Fi パケットを観測している区間（以下、重複区間）がある。重複区間内を一意的 AMP センサ付近にいたと判定するために、複数の AMP センサで同時に観測した（以下、同時観測）系列を作成する。そして、同時観測した Wi-Fi パケットの RSSI（受信電波強度）を比較して、RSSI が強い Wi-Fi パケット系列を抜き出す。重複区間で RSSI が強い Wi-Fi パケット系列の図例を図 3 に示す。重複区間で AMP c で Wi-Fi パケットを観測した最初の時刻と Wi-Fi パケットを観測した最後の時刻を抜き出し、それらの時刻間に AMP b で Wi-Fi パケットを観測した最初の時刻と Wi-Fi パケットを観測した最後の時刻の一方があれば、重なっている時間の平均値を取って AMP b、AMP c と区別した（図 3 左）。これに対して、それらの時刻間に AMP b で Wi-Fi パケットを観測した最初の時刻と Wi-Fi パケットを観測した最後の時刻が共にあれば、AMP b に存在した時間は極小となるので、その区間は AMP c に存在したと判定する（図 3 右）。

3 ステップ目として、ユーザ端末が AMP センサ付近に近づいた時と遠ざかった時の考慮をし、図 4 のような移動シーケンスを作成する。ここで、不明とラベル付けされているのは、ユーザ端末が AMP センサの観測領域内に存在しているが、パケットを送信していないために位置が不明であるか、または、ユーザ端末が観測領域外に存在しているかのいずれかである。

4. 評価

作成された移動シーケンスに関して、ユーザ端末が実際に移動した経路を把握できない場合、その移動シーケンスが正しい経路であるかを確認することができない。そこで、大規模商業施設に配置されている AMP センサを利用し、筆者が実際に移動した経路と比較してどれくらい移動

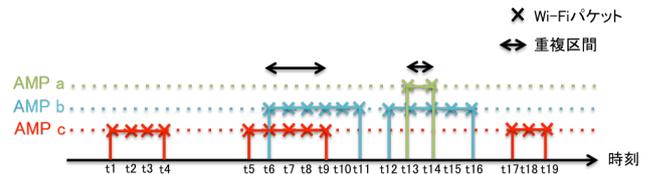


図 2 同一 AMP センサごとの矩形

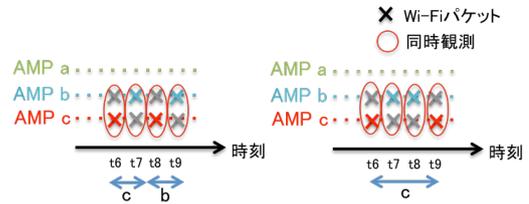


図 3 重複区間の解消

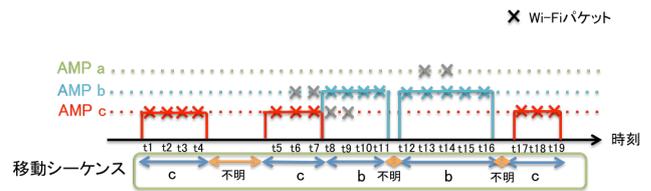


図 4 あるユーザの移動シーケンス

シーケンスが正しいかを評価する。

4.1 実験環境と正解経路の作成

実験環境を図 5、図 6 に示す。AMP センサは、大規模商業施設のフロア*1 に配置している。図 5 の 2F に配置されており、正解経路として含める AMP センサは 5 つである。次に、図 6 の 1F に配置されており、正解経路として含める AMP センサは 4 つである。吹き抜け構造となっている付近に配置されている AMP センサは、移動シーケンスに重複区間が発生する可能性が高い。加えて、隣り合う AMP センサの距離が近い場合も同様に、重複区間が発生する可能性が高い。以上を踏まえて、停留を含めない移動と停留を含めた移動の 2 パターンで正解経路を作成した。

図 5 の AMP14 を開始地点とし、矢印の方向へ移動した。AMP20 の付近に 1F へつながるエスカレータがあるので、それを利用して 1F へ移動する。図 6 の AMP7 から矢印の方向へ移動し、AMP6 付近の出入り口でユーザ端末の Wi-Fi 機能を OFF にした。停留を含めない移動の正解経路を図 7 に示し、停留を含めた移動の正解経路を図 8 に示す。通過した AMP センサとセンサ前で記録した時刻、センサ間の移動時間が示されている。停留を含めない移動の総時間は 5 分 28 秒であり、停留を含めた移動の総時間は 13 分 40 秒である。1 箇所目の停留箇所は、図 5 の 2F に配置されている AMP センサ間で停留 1 と示されている。これは、移動シーケンスにどちらの AMP センサに停留していた傾向が見られるかを確認するためである。2 箇所目の停留箇所は、図 6 の 1F に配置されている AMP11 のセ

*1 大規模商業施設フロアマップ, <http://www.gfo-sc.jp/floorguide>

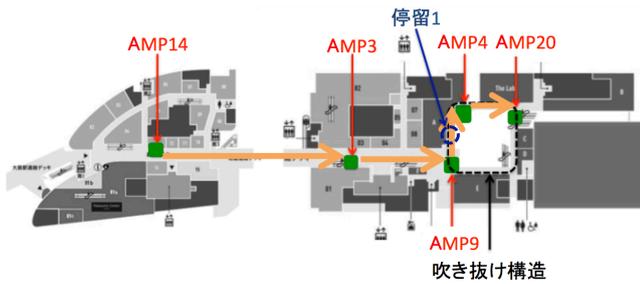


図 5 大規模商業施設 2F

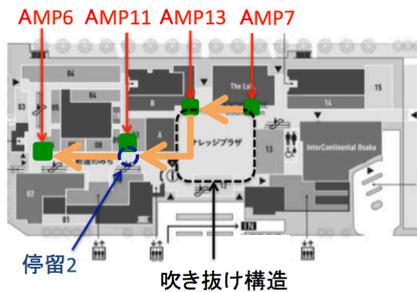


図 6 大規模商業施設 1F

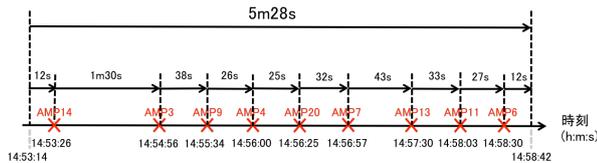


図 7 正解経路 (停留を含めない移動)

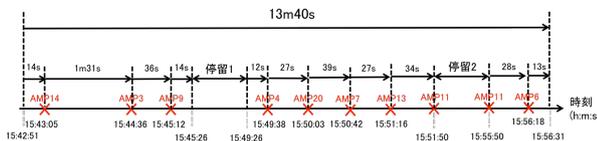


図 8 正解経路 (停留を含めた移動)

ンサ前で停留 2 と示されている。停留 1, 停留 2 のそれぞれで 4 分間停留した。

4.2 送信間隔ごとの移動シーケンスとその評価

頻発的に発信する端末と 1 分間隔, 2 分間隔で発信する端末の 3 つの端末が存在すると仮定して, 停留を含めない移動と停留を含めた移動のそれぞれに対して作られた移動シーケンスの評価を行う。評価に関しては, ユーザ端末が通過した AMP センサの組に着目し, 適合率 (式 1) と再現率 (式 2) を求める。通過した AMP センサの組とは, 通過した AMP センサの順序を考慮した組のことで, 正解経路において順序通りに通過した AMP センサの組を正解とし, 順序通りに通過していない AMP センサの組を不正解としている。

$$\text{適合率} = \frac{\text{正解した AMP センサの組数}}{\text{移動シーケンスの AMP センサの組数}} \quad (1)$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{正解した AMP センサの組数}}{\text{正解経路の AMP センサの組数}} \quad (2)$$

加えて, ユーザ端末が AMP センサを通過したかに着目し, 適合率 (式 3) と再現率 (式 4) を求める。

$$\text{適合率} = \frac{\text{正解した AMP センサ数}}{\text{移動シーケンスの AMP センサ数}} \quad (3)$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{正解した AMP センサ数}}{\text{正解経路の AMP センサ数}} \quad (4)$$

そして, 適合率と再現率を求めた後, F 値 (式 5) を求める。

$$F \text{ 値} = \frac{2 \times \text{適合率} \times \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}} \quad (5)$$

3 つの端末に対して, 停留を含めない移動シーケンスを作成した。AMP センサの通過順序と観測開始時刻, 観測終了時刻, 総移動時間を示した図をそれぞれ図 9, 図 10, 図 11 に示す。ユーザ端末が通過した AMP センサの組に着目した適合率と再現率, F 値を求めた結果を表 1 に示し, 加えて, ユーザ端末が AMP センサを通過したかに着目し, 適合率と再現率, F 値を求めた結果を表 2 に示す。

はじめに, 頻発的に発信する端末に関して, 図 9 より, 総移動時間は 5 分 43 秒で正解経路の総移動時間と比較すると, 誤差は 15 秒であった。加えて, 表 1 より, 通過した AMP センサの組の適合率および再現率, F 値はそれぞれ 94.4%であった。これは, 通過した AMP センサの組が確からしいことを示している。加えて, 表 2 より, 通過した AMP センサの適合率および再現率, F 値はそれぞれ 100%であった。これは, AMP センサをすべて通過したことを示している。

次に, 1 分間隔で発信する端末に関して, 図 10 より, 総移動時間は 6 分 10 秒で正解経路の総移動時間と比較すると, 誤差は 42 秒であった。加えて, 表 1 より, 通過した AMP センサの組の適合率は 100%であった。これは, 通過した AMP センサの組が正しいことを示している。しかし, 再現率は 41.7%であった。これは, 移動シーケンスの通過した AMP センサの組が少ないことが原因である。したがって, F 値が 58.8%と低くなっている。加えて, 表 2 より, 通過した AMP センサの適合率は 100%であった。これは, 通過した AMP センサが正解経路の AMP センサとすべて一致していることを指している。しかし, 再現率は 66.7%であり, AMP センサを通過したけれども, その間に端末が Wi-Fi パケットを送信しなかった場合, 移動シーケンスには通過順序として現れないのが原因である。したがって, F 値は 80.0%となっている。

最後に, 2 分間隔で発信する端末に関して, 図 11 より, 総移動時間は 6 分 07 秒で正解経路の総移動時間と比較すると, 誤差は 39 秒であった。AMP14, AMP3, AMP13 だけ Wi-Fi パケットを観測していないことが見て取れる。加えて, 表 1 より, 通過した AMP センサの組の再現率は

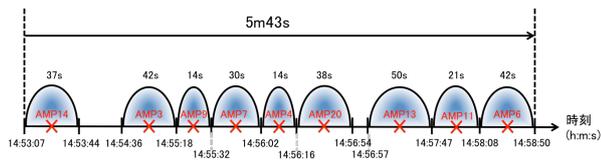


図 9 頻発的に発信する端末の停留を含めない移動シーケンス

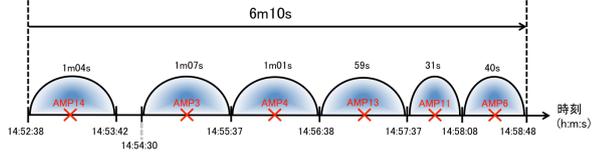


図 10 1 分間隔で発信する端末の停留を含めない移動シーケンス

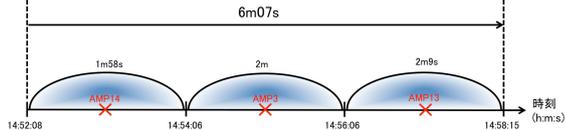


図 11 2 分間隔で発信する端末の停留を含めない移動シーケンス

表 1 停留を含めない移動シーケンスの通過した AMP センサの組の適合率, 再現率, F 値

	適合率 (%)	再現率 (%)	F 値 (%)
頻発端末	94.4	94.4	94.4
1 分間隔端末	100	41.7	58.8
2 分間隔端末	100	8.3	15.4

表 2 停留を含めない移動シーケンスの通過した AMP センサの適合率, 再現率, F 値

	適合率 (%)	再現率 (%)	F 値 (%)
頻発端末	100	100	100
1 分間隔端末	100	66.7	80.0
2 分間隔端末	100	33.3	50.0

8.3%であり、移動シーケンスの通過した AMP センサの組が著しく少ないことが原因である。したがって、F 値が 15.4%という低い値になっている。加えて、表 2 も同様に低い結果となっている。

3つの端末に対して、停留を含めた移動シーケンスを作成した。AMP センサの通過順序と観測開始時刻、観測終了時刻、総移動時間を示した図をそれぞれ図 12、図 13、図 14 に示す。それぞれの AMP センサで観測開始時刻と観測終了時刻を結んだ線の上に記されている時間がその AMP センサでの観測時間である。ユーザ端末が通過した AMP センサの組に着目した適合率と再現率、F 値を求めた結果を表 3 に示し、加えて、ユーザ端末が AMP センサを通過したかに着目し、適合率と再現率、F 値を求めた結果を表 4 に示す。

はじめに、頻発的に発信する端末に関して、図 12 より、総移動時間は 14 分 02 秒で正解経路の総移動時間と比較すると、誤差は 22 秒であった。加えて、表 3 より、通過した AMP センサの組の適合率は 95.2%で、再現率は 71.4%、F 値は 81.6%であった。吹き抜け構造付近に配置されている AMP20、AMP7、AMP13 がユーザ端末から

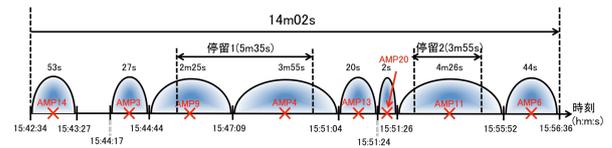


図 12 頻発的に発信する端末の停留を含めた移動シーケンス

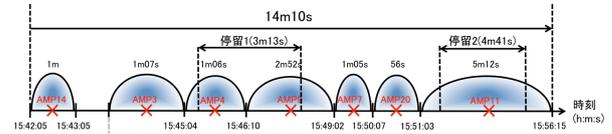


図 13 1 分間隔で発信する端末の停留を含めた移動シーケンス

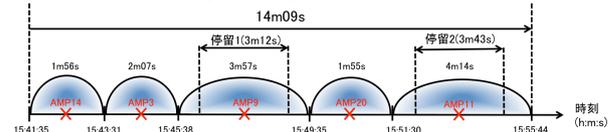


図 14 2 分間隔で発信する端末の停留を含めた移動シーケンス

発信される Wi-Fi パケットを観測し、重複区間の判定で AMP13、AMP20 が判定されたため、適合率が 100%ではなかった。加えて、表 2 より、通過した AMP センサの適合率は 100%で、再現率は 88.9%、F 値は 94.1%であった。通過した AMP センサとして、AMP7 がなかったため、停留を含めない移動の場合の結果よりも再現率が低く、F 値も低くなっている。

次に、1 分間隔で発信する端末に関して、図 13 より、総移動時間は 14 分 10 秒で正解経路の総移動時間と比較すると、誤差は 30 秒であった。加えて、表 3 より、通過した AMP センサの組の適合率は 93.3%で、再現率は 50.0%、F 値は 65.1%であった。停留箇所のうち、1 箇所は吹き抜け構造になっている付近であったので、吹き抜け構造付近に配置されている通過した AMP センサの組が異なっていることがある。そのため、再現率が低くなっている。加えて、表 4 より、通過した AMP センサの適合率は 100%で、再現率は 77.8%、F 値は 87.5%であった。停留箇所が AMP9 と AMP4 の間であり、両 AMP センサを通過したとみなされたため、停留を含めない移動の場合の結果よりも再現率が高く、F 値も高くなっている。

最後に、図 14 より、総移動時間は 14 分 09 秒で正解経路の総移動時間と比較すると、誤差は 29 秒であった。加えて、表 3 より、通過した AMP センサの組の適合率は 100%で、再現率は 35.7%、F 値は 52.6%であった。停留箇所が 2 箇所あるため、停留を含めない移動に比べて、移動シーケンスの通過した AMP センサの組の数は多くなっている。そのため、F 値が高くなっている。加えて、表 4 より、通過した AMP センサの適合率は 100%で、再現率は 55.6%、F 値は 71.4%であった。停留箇所が 2 箇所あるため、停留を含めない移動に比べて、通過した AMP センサの数は多くなっている。そのため、停留を含めない移動の場合の結果よりも再現率が高く、F 値が高くなっている。

表 3 停留を含めた移動シーケンスの通過した AMP センサの組の適合率, 再現率, F 値

	適合率 (%)	再現率 (%)	F 値 (%)
頻発端末	95.2	71.4	81.6
1 分間隔端末	93.3	50.0	65.1
2 分間隔端末	100	35.7	52.6

表 4 停留を含めた移動シーケンスの通過した AMP センサの適合率, 再現率, F 値

	適合率 (%)	再現率 (%)	F 値 (%)
頻発端末	100	88.9	94.1
1 分間隔端末	100	77.8	87.5
2 分間隔端末	100	55.6	71.4

5. 回遊状況推定結果の考察

移動シーケンスを作成することで、ユーザ端末が「いつ、どの AMP センサ付近に、どの程度の期間存在したか」の情報を得られる。この情報から、本研究では 3 つの回遊状況を推定する。

1 つ目は、任意時刻に AMP センサ付近で観測されたユーザ端末総数の推定である。AMP センサが任意時刻で観測したユーザ端末総数を出すことによって、どの時間帯にどの AMP センサ付近で人が多く集まっているのかわかる。この情報から例えば、施設関係者は継続的にユーザ端末数が多い AMP センサ付近に広告などを配置することによって、商品に興味を持ってもらう機会を与えることができる可能性がある。

2 つ目は、任意時刻に AMP センサ付近に存在したユーザ端末が N 分前にいた地点である。通路に配置されている AMP センサに注目することによって、任意時刻から近い過去に遡ると、移動の方向とその流量を知ることができ、任意時刻から遠い過去に遡ると、停留している人を把握することができる。

3 つ目は、ユーザ端末が解析領域内に出現した地点から消失した地点までの経路のうち、利用者が多い経路を算出することである。今回は、利用者が多い上位 3 つの経路を算出した。通路が交差しているような場所に配置されている AMP センサが出現地点あるいは消失地点となっている場合に着目し、ユーザ端末がどの経路を利用して出現地点から消失地点に行くのかを把握することができる。

5.1 利用するデータ

大阪の地下街*2 の平日 1 日分のデータである。AMP センサは、図 15 に示すように、青のピンの箇所に配置されている。北の方角には、阪急梅田駅があり、南の方角には地下鉄谷町線東梅田駅があり、西の方角には、JR 大阪駅、地下鉄御堂筋線梅田駅、阪神梅田駅がある。

*2 大阪の地下街の地図 (Google Maps), <https://www.google.co.jp/maps/place/WhityUmeda>

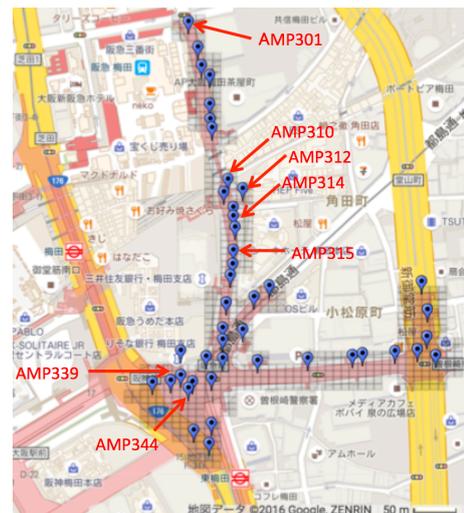


図 15 大阪の地下街の AMP センサの設置位置

5.2 任意時刻に AMP センサ付近で観測されたユーザ端末総数

AMP310 は、北の阪急梅田駅と南の地下鉄谷町線東梅田駅との間にあるセンサである。図 16 に AMP310 の午前 6 時から翌日の午前 0 時までの 30 分ごとの人数の変遷を示す。大阪の地下街の営業開始時間が午前 10 時で、営業終了時間が午後 10 時である。営業開始時間前は、他の時間帯と比較すると、人数が少ない傾向にある。しかし、通勤時間帯が午前 7 時から午前 9 時だとすると、この AMP センサ付近を通過する経路を利用していない人が多いと推測される。そこで、この推測が尤もらしいかどうかを確認するために、近隣の AMP312 と AMP314 の午前 7 時から午前 9 時の人数をそれぞれ図 17、図 18 に示し、人数を比較する。図 15 にも示されている通り、少し広場になっているところに AMP312 は配置されている。AMP310 と人数を比較すると、AMP312 の観測数は少ない。これは、AMP312 付近を通過して地下から地上へ、また、地上から地下へ移動する人だと推測され、AMP310 付近を通過する人のうち何割かが AMP312 を通過するのではないかと推測される。つまり、通路上にある AMP314 での観測も少ないことが予想される。次に、図 15 にも示されている通り、AMP314 は AMP センサが多数配置されている経路上にある。AMP310 と人数を比較すると、AMP314 で観測している人数も少ない。つまり、AMP310 から AMP314 へ移動した人が少なくなっているため、その間で地上へ出た可能性があるかと推測される。したがって、午前 7 時から午前 9 時で AMP310 を通過する経路を利用している人が少ないと言える。続いて、営業開始時間後の人数を見ると、営業開始時間から増加傾向にあり、一番多く観測されているのが 18 時 30 分台である。これは、帰宅時間と夕食時間が重なっていたため、多くなっていたことが推測される。そして、営業終了時間後は、30 分ごとに人が減る様子が確認できる。

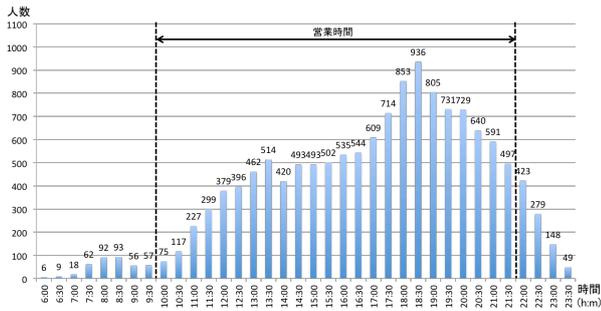


図 16 AMP310 で観測した 1 日のデータ

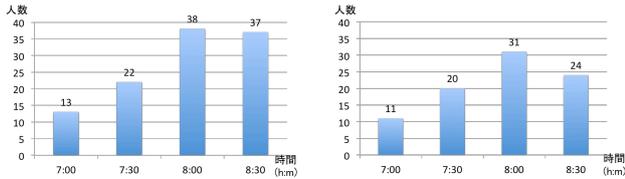


図 17 AMP312 での観測数 (7:00 - 8:30)

図 18 AMP314 での観測数 (7:00 - 8:30)

5.3 任意時刻に AMP センサ付近に存在したユーザ端末が N 分前にいた地点

5.2 節で述べた通り、AMP310 で観測された人数が一番多い時間帯は 18 時 30 分台である。この 18 時 30 分台をさらに細かく見ると、一番多い時間帯は 18 時 44 分台で 146 人を観測している。図 19 より、NA はその時間帯に位置が不明のユーザ端末を指し、NEW はその時間帯に現れたユーザ端末のことを指す。1 分から 6 分前の NA に注目すると、時間を過去に遡るにつれて、NA の人数が増加している。NA の人数が過去に遡ると増加するということは、その分だけ短時間での移動をしているユーザ端末が多いと言える。例えば、1 分前では、南の方角に配置されている AMP315 から来ているユーザ端末が 15 人である。このことから、AMP315 から AMP310 へ移動するときは 1 分ほどで移動できると推測できるとともに、それよりも以前から AMP315 で観測されていれば、AMP315 から AMP310 の間でユーザ端末が停留をしていたらと推測できる。このことから、停留を含まない移動端末と停留を含んだ移動端末を判別できることが確認できた。

5.4 出現地点から消失地点へ至る経路

AMP339 と AMP310 との経路間の移動に注目する。AMP310 は、5.2 節でも述べたように、北の阪急梅田駅と南の地下鉄谷町線東梅田駅との間にあるセンサである。したがって、AMP339 で初めて観測されたユーザ端末が AMP310 を通過する人数は多く、その逆も多いと予想される。出現地点を Origin、消失地点を Destination とした OD (Origin Destination) 表を用いて表 5 に示す。表 5 より、同一 AMP センサを出現地点、消失地点としているユーザ端末の人数が多いことがわかる。これは、その AMP セ

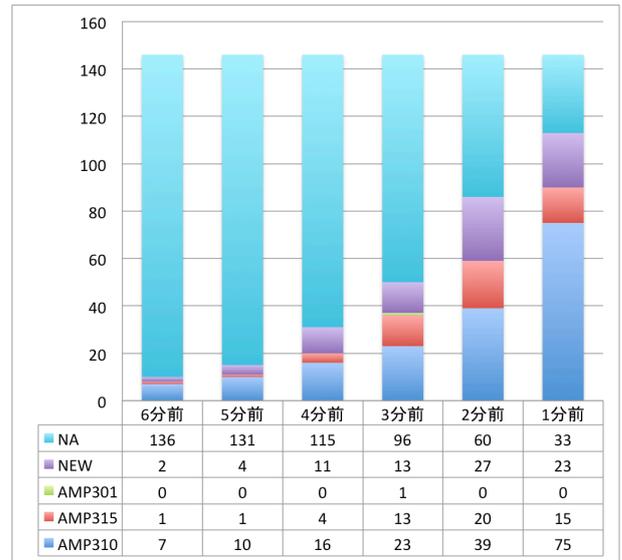


図 19 18:44 に AMP310 で観測されたユーザ端末の 1 分前から 6 分前にいた地点

表 5 1 日の OD 表

O \ D	AMP310	AMP339
AMP310	6539	303
AMP339	498	14792



図 20 AMP339 を出現地点とし AMP310 を消失地点とするユーザ端末数が多い上位 3 つの経路

ンサ付近を通過し地上へ出た人、あるいは、送信間隔が長かったため、観測できなかったユーザ端末、停留し続けているユーザ端末のいずれかであると推測される。図 15 より、AMP センサの設置位置を考えると、AMP339 は各社の駅が密集している地点であるので、人数が多いことは尤もらしいと言える。AMP339 を出現地点とし、北に配置されている AMP310 を消失地点としているユーザ端末数は 498 人であった。このうち、ユーザ端末数が多い上位 3 つの経路を図 20 に示す。図 20 より、AMP315 を経由しているユーザ端末数が 172 人であった。これは、南から北へ向かう途中で地上へ出たユーザ端末ではなく、地下街を通過して南から北へ向かうユーザ端末が 172 人いたと考え



図 21 AMP310 を出現地点とし AMP339 を消失地点とするユーザ端末数が多い上位 3 つの経路

られる。次いで、経路なしのユーザ端末数が 118 人であった。これは、地下街を通ったのか、地上を通ったのかわからない。地下街を通ったユーザ端末だとすると、送信間隔が長いことが推測される。次いで、AMP344, AMP315 を経由しているユーザ端末数が 15 人であった。上位 2 つの経路のうち、ユーザ端末が AMP344 を通過したにも関わらず、AMP344 でユーザ端末を観測できていないため、AMP344 を通過していない移動シーケンスが作られている場合があると考えられる。AMP センサを経由している数が多いということは、ユーザ端末が地下街にいる時間が長いから、それともユーザ端末の送信間隔が短かったためかのいずれかである。

次に、AMP339 を消失地点とし、AMP310 を出現地点とするユーザ端末数は 303 人であった。このうち、ユーザ端末数が多い上位 3 つの経路を図 21 に示す。図 21 より、AMP315 を経由しているユーザ端末数が 132 人であった。次いで、経路なしのユーザ端末数が 54 人であった。確かに、上位 2 経路に関しては、図 20 で示した上位 2 経路よりも少ない。つまり、表 5 で示した通り、AMP339 から AMP310 へ移動したユーザ端末数が多いということは、同じ経路で比較した場合でも同様の結果が得られることを確認した。次いで、AMP314, AMP315 を経由して AMP339 へ向かうユーザ端末数が 17 人であった。AMP315 のみを経由している 132 人のうち停留を含まない移動をしているユーザ端末は必ず AMP314 を経由していると考えられる。しかし、AMP314 を経由しているユーザ端末は少なかった。原因としては、AMP314 でユーザ端末が発信する Wi-Fi パケットを観測しなかったためである。この原因を解決するために、通過した AMP センサを補間することが重要となる。

6. まとめと今後

本研究では、Wi-Fi パケットの間欠性を考慮する補間ア

ルゴリズムを提案し、ユーザ端末ごとに適用した。評価では、提案した補間アルゴリズムがどれほど正しいかを頻発端末と 1 分間隔、2 分間隔の端末を使用し、停留を含まない移動と停留を含んだ移動の 2 パターンでセンサの順序の組み合わせの適合率と再現率、F 値を算出した。また、通過したセンサの適合率と再現率、F 値も算出した。2 パターンともに適合率は 90% を超えており、AMP センサを通過した順序は正しいと言える。しかし、再現率が低くなっており、通過した AMP センサの観測範囲内でユーザ端末が Wi-Fi パケットを発信しなかったのが原因である。今後、この原因はユーザ端末の移動を予測することによって解決できると考えられる。回遊状況として、通勤時間帯のセンサ付近での人数の尤もらしさを確認できたとともに、移動している端末、停留している端末に対しての尤もらしさを確認することができた。今後は、ユーザ端末の移動シーケンスを確率的手法を用いて作成し、より粒度の細かい移動シーケンスから新たな回遊状況を発見する予定である。

参考文献

- [1] NTT コミュニケーションズ科学基礎研究所リアルタイムな状況予測で集団を快適に誘導. <http://www.kecl.ntt.co.jp/openhouse/2015/exhibition/7/index.html>.
- [2] 大西正輝, 依田育士, 山下倫央, 野田五十樹. 【緊急報告】あの日秋葉原では何が起きていたか 東日本大震災時の秋葉原における人流解析. 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011) 論文集, 第 2011 巻, pp. 808-813, Jul 2011.
- [3] 和田悠佑, 中村嘉隆, 東野輝夫. 障害物の存在する空間におけるレンジスキャナを用いた人流モデル化手法の提案. マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2011 論文集, 第 2011 巻, pp. 1183-1192, Jun 2011.
- [4] 福崎雄生, 望月祐洋, 村尾和哉, 西尾信彦. Wi-fi パケット人流センシングにおける統計的実数解析. マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム 2015 論文集, 第 2015 巻, pp. 7-14, Jul 2015.
- [5] 森本哲郎, 辻本悠佑, 白浜勝太, 上善恒雄. Wi-fi パケットセンサを用いた人流解析と可視化. データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2015) 論文集, Mar 2015.
- [6] 中野隆介, 沼尾雅之. 無線 lan アクセスポイントへの検索要求を用いた屋内混雑度推定手法. 日本データベース学会論文誌, Vol. 12, No. 1, pp. 121-126, Jun 2013.
- [7] A. B. M. Musa and Jakob Eriksson. Tracking unmodified smartphones using wi-fi monitors. In *Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, SenSys '12, pp. 281-294, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [8] スマートリンク株式会社 iBeacon を活用した阿波おどり連立跡の実証実験のご報告. <http://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000004.000014435.html>.
- [9] Yoshihide Sekimoto, Ryosuke Shibasaki, Hiroshi Kanasugi, Tomotaka Usui, and Yasunobu Shimazaki. Pflow: Reconstructing people flow recycling large-scale social survey data. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 10, No. 4, pp. 27-35, 2011.
- [10] 西田純二, 足立智之, 牧村和彦, 森本哲郎, 上善恒雄. Wi-fi パケットセンサーによる交通流動解析. 土木学会第 49 回土木計画学研究発表会春大会, Jun 2014.