

Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサー情報による 人流把握手法の開発と実践

一瀬恭平*¹ 小宮粹史*¹ 堀口良太*²

株式会社 アイ・トランスポート・ラボ 技術部開発課*¹

株式会社 アイ・トランスポート・ラボ 代表取締役*²

本研究は、パケットセンサーから取得される歩行者が持つモバイルデバイスの Wi-Fi/Bluetooth の通信情報から人流把握を行う手法の開発を目的とする。モバイルデバイスから得られる情報としては、アドレスと受信強度があるが、アドレスは一定時間でランダム化される仕様となっているため、特定の個人・モバイルデバイスを長時間捕捉しながらの経路探索が難しい。そのため、ランダム化の影響を考慮しながら歩行者の経路を推定する手法の開発のため、基礎分析としてランダム化の影響を受けていないアドレスの追跡を行い、移動・滞在のパターンの把握を行った。

Development and implementation of a method to grasp people flow using Wi-Fi/Bluetooth packet sensor information

Kyohei Ichinose*¹ Tadashi Komiya*¹ Ryota Horiguchi*²

i-Transport Lab Co., Ltd. Researcher of Development Section, Technical Department*¹

i-Transport Lab Co., Ltd.*²

This study aims to develop a method for monitoring pedestrian flow by utilizing communication data from Wi-Fi and Bluetooth signals of mobile devices obtained through packet sensors. The data from mobile devices include the device address and signal strength. However, since device addresses are randomized periodically, it is challenging to continuously track a specific individual or device over time. Therefore, to account for the impact of randomization, we conducted a foundational analysis by tracking addresses unaffected by randomization to capture movement and stay patterns. This foundational analysis serves as a basis for developing a method to estimate pedestrian paths while considering the effects of address randomization.

Wi-Fi/Bluetooth, Crowd flow analysis, MAC Address Randomization:

1 はじめに

近年に積極的に取り組まれているスマートシティの実現に向けた取り組みは、ICTの活用による社会問題解決を目指している。土木計画学の分野においても人の流動実態把握や回遊性を目指した取り組みが見られる。スマートシティ実現のためには、人の行動データに基づいたプランニングが必要になる。人の流動性把握を行う手法として、パーソントリップ調査や交通量調査などがあるが、取得した人流データを活用した解析方法や活用方法については課題がある。

本研究では、パケットセンサーから取得される歩行者のモバイルデバイスのWi-Fi/Bluetoothの通信情報から、人流把握を行う手法の開発を目的とする。本稿では、ソレイユの丘¹⁾(神奈川県横須賀市)をケーススタディとし、園内に配置したパケットセンサーから取得できたデータを元に、回遊行動の分析を行い、人流把握手法の提案を行う。

2 既往研究

人流の把握手法としては、ゼンリンデータコム²⁾では、NTTドコモが提供しているモバイルGPSデータを集計した人流統計データを作成している。これは、5分毎に測位されるGPSデータから移動追跡データを用いて作成されている。年齢や性別、居住地などの属性データと移動経路、交通手段、立ち寄りなどの行動データを組み合わせたデータであり、GPSによる測位なので、数m程度の空間解像度がある。しかしながら、数分毎の測位では歩行空間内の軌跡を追跡するには時間解像度が粗いと考えられる。

末木ら³⁾の研究では、Wi-Fiのパケットセンサーから歩行者のOD交通量の推定を行っている。これはWi-Fiパケットセンサーで観測された部分的なOD交通量と経路交通量を利用し、歩行者交通量調査結果から歩行者OD交通量を推計するものである。この手法は数km程度の市街地エリア内での移動経路や回遊行動を追跡することに主眼を置くものであり、歩行空間内の軌跡を追跡するような空間解像度は持たないと考えられる。

ランダムイズされたBluetoothアドレスの同定手段について秋山ら⁴⁾の研究では、パケットの受診時刻とRSSIから同定する手法を提案している。しかしながら、この手法では複数のセンサー間で移動を取得する場合に同定するのは難しいと考えられる。

また、吉村ら⁵⁾の研究では、BLEのランダムMACアドレスを用いたODデータ推定に向けた検討を行

っている。この研究は、バスの乗降をBluetoothアドレスの記録から推定するものであり、今回の目的である園内の歩行者を対象とした推計に利用することは難しいと考えられる。

3 計測方法

人流把握をするために、歩行者の所持するモバイルデバイスのWi-Fi/Bluetoothの通信情報を取得する必要がある。そのため、歩行者のWi-Fi/Bluetoothの通信情報を取得するパケットセンサー(図3-1)を製作した。

制作したパケットセンサーはRaspberry Pi 4bを使用し、Raspberry Pi内部のBluetoothのセンサーを使用して通信情報を取得する。Wi-Fiの取得には別のアンテナ型センサーを使用した。

制作したパケットセンサーを今回のケーススタディであるソレイユの丘にて、図3-2の位置に設置した。設置位置は、パケットセンサーが配置可能な位置から回遊行動ログを確認するために必要な位置を選定した。

設置したパケットセンサーは、表3-1に記載された情報をモバイルデバイスから取得している。取得したデータは内部メモリに蓄積され、日毎にオンラインでサーバに送られるようにシステムの構築を行った。



図 3-1 Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサー構成

表 3-1 パケットセンサー取得情報

名称	内容説明
時刻	モバイルデバイスを取得した時刻
アドレス	Wi-Fi/Bluetooth デバイスアドレス
RSSI	受信強度(Received Signal Strength Indicator)

4 集計内容

4-1 全体集計

計測したモバイルデバイスのデータを集計した結果を示す。

初めに、各パケットセンサーから検知した Bluetooth のデバイスアドレスから、Bluetooth のランダムアドレスの仕様より、そのアドレスタイプを分類・集計を行った。集計対象期間は休日の1日分で、その日の Bluetooth アドレスをアドレス種別に集計した。集計結果を表 4-1 に示す。この表から、ランダムアドレスされていないアドレスであるパブリックアドレスは非常に少ないことが分かる。他のランダムアドレスされているアドレスについて、計測数は定期的にアドレスが変更されており、実際のデバイス数よりも多いことを考慮する必要がある。

パケットセンサーで検知したモバイルデバイスのアドレスごとに、検知された最初の時刻と最後の時刻の差分の時間を生存時間とし、検知されたパケットセンサーの種類の数(以降、被検知数)と生存時間を箱髭図で集計した。結果を図 4-1 に示す。被検知数が少ない箇所において、多くのモバイルデバイスの生存時間は非常に短い傾向が見られる。これは、



図 3-2 センサー設置位置(背景は国土地理院地図)

表 4-1 Bluetooth アドレスタイプ集計結果

アドレス種別	計測数
パブリックアドレス	54
ランダムアドレス	63236

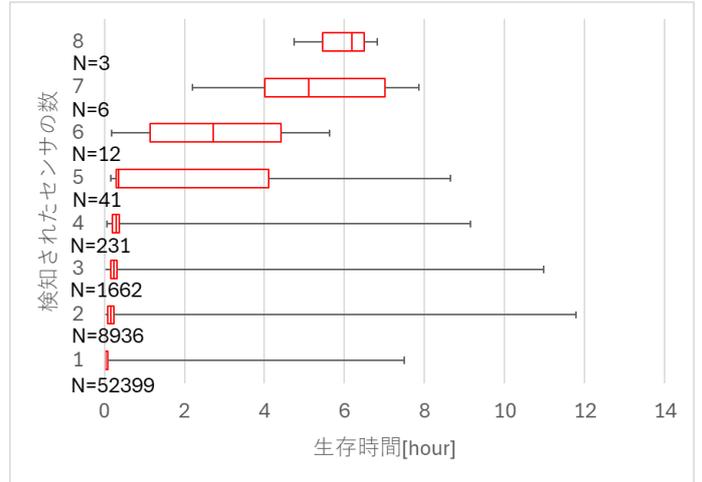


図 4-1 センター被検知数と生存時間



図 4-2 メインゲートからの行動傾向可視化

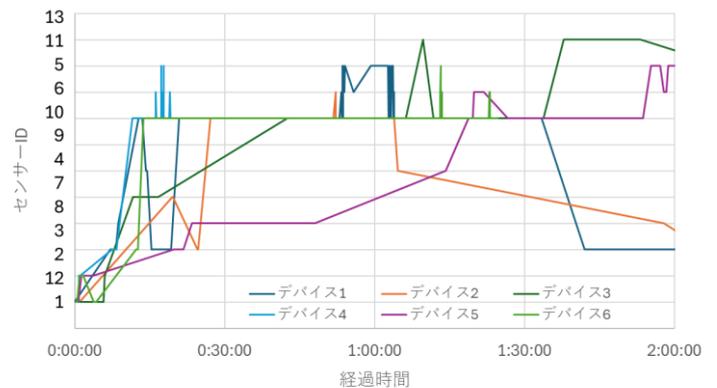


図 4-3 メインゲートからの行動傾向

ランダムアドレスのアドレス変更の周期が影響していると考えられる。被検知数が多い箇所においては生存時間が長いアドレスが多くなる傾向が見られる。多くのセンサーに検知されるためには長時間の移動を行う必要があるため、このような傾向が表れたと考えられる。

4-2 個別アドレス追跡調査

図 4-1 に示したセンサーの被検知数と生存時間の図の内、被検知数が 6 以上のアドレス計 21 種に対して、個別に追跡調査を行った。今後分析の際に特徴を把握するため、追跡結果から回遊行動の傾向を分析する。

1 つ目の傾向としては、図 4-2 園内のメインゲートから正面の通路を通過して冒険島(図中▲)、アニマルヴィレッジ(図中×)付近まで向かうケースである。図 4-3 に、ポケットセンサーに初めて検知された時間を 0 として、経過時間とアドレスがどのセンサーで検知されたかのタイムスペース図を示す。到着までの時間に差はあるが、メインゲートにて最初に検知されたモバイルデバイスの多くはこのような傾向が見られた。

2 つ目の傾向としては、冒険島、アニマルヴィレッジで滞在しているとみられるデバイスについて、図 4-4 の様に滞在後の行動が直接メインゲートに戻るか、メリーゴーランド(図中★)、GoGo カート(図中◆)付近で滞在するケースである。図 4-5 に冒険島付近で最後にとれた時間の記録を 0 としたタイムスペース図を示す。デバイス 1 やデバイス 3 の様にメリーゴーランド(センサーID2)付近での滞在が確認され、滞在しないデバイスにおいてもメリーゴーランド付近を通過していることを確認した。メインゲートのセンサーが最後の記録になるケースは、個別アドレス追跡を実施したアドレスの中では少ない中、滞在後の移動傾向が見られた。

3 つ目の傾向としては、多くが冒険島、アニマルヴィレッジ付近で滞在する傾向にあったことである。表 4-2 に冒険島、アニマルヴィレッジ付近で滞在した時間を示す。今回取得できた滞在は、大半が 12 時までの記録であり、平均滞在時間は 44 分である。40~60 分が一番多い傾向が見られ、他の場所と比較して長い時間滞在していることが分かる。



図 4-4 冒険島滞在後の行動傾向可視化

表 4-2 冒険島付近の滞在時間

サンプル	滞在開始時刻	滞在終了時刻	滞在時間[min]
1	9:40	10:53	73
2	11:23	12:20	57
3	12:56	13:37	41
4	9:45	10:22	37
5	10:52	11:14	22
6	10:31	11:27	56
7	11:08	12:00	52
8	10:26	11:07	41
9	8:49	10:00	71
10	11:55	12:11	16
11	11:08	12:14	66
12	9:37	9:58	21
13	9:26	9:45	19
14	10:00	10:46	46

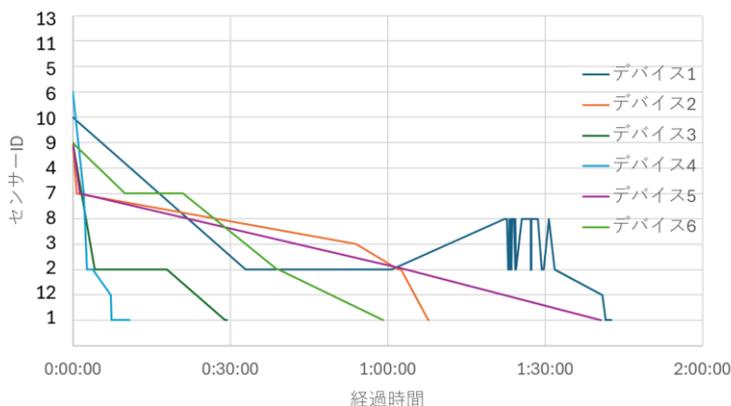


図 4-5 冒険島滞在後の行動傾向

5 結果・考察

回遊行動の個別アドレス追跡結果から、多くのセンサーで検知できたモバイルデバイスの回遊行動の傾向を確認できた。今回、追跡調査を行った対象期間は休日の1日分のデータのみであり、今後より多くの日から行動の分析を行うことで、より傾向が見えると考えられる。

また、個別アドレス追跡調査を行った結果、デバイスの情報を一定期間取得できていないケースがあることを確認した。これは、園内の屋内施設に入ったか、センサーの検知範囲外に移動した可能性がある。そのため、回遊行動を分析する際、記録がされていない期間についてどこに移動したか推測する必要がある。また、今回の傾向の調査ではRSSIを考慮した分析を行っていないため、RSSIの値を考慮した分析を行うことでより傾向を把握できると考えている。

今後、より分析しやすいように回遊の状態を記号化するなどして回遊行動の傾向の把握を引き続き行いたい。

6 まとめ

ソレイユの丘にて、取得したWi-Fi/Bluetoothのデータからアドレス毎に追跡調査を行った。追跡調査の結果から、回遊行動の推定を行うために把握する必要のある特徴を収集した。

入場、退場、滞在の3つの項目で回遊行動の特徴を得ることが出来、これを足掛かりにして回遊行動の分析を行い、人流把握手法の提案手法を考案する。

今後分析を行い、人流把握手法を開発する上で、どのように人流の推定やダミーの人流を生成できるかについては検討を行う必要がある。

謝辞：本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究「[Beyond 5G 研究開発促進事業(一般型) ShonanFutureVerse:仮想都市未来像にもとづく超解像度バックキャストイング CPS 基盤」(JPJ012368C08201)により得られた成果である。関係者各位に深く謝意を示す。

また、ソレイユの丘にて、計測機器の設置・計測に許可をいただいた日比谷花壇様の関係者各位に深く謝意を示す。

- 1) ソレイユの丘公式サイト, <https://soleil-park.jp/>
- 2) Zenrin DataCom, 混雑統計, <https://www.zenrindatacom.net/solution/congestion>
- 3) 末木祐多, 佐々木邦明, Wi-Fi パケットセンサから得られるデータを用いた市街地における歩行者 OD 交通量の推計, 日本都市計画学会, 都市計画論文集, Vol.54, No.3, 2019 年 10 月
- 4) 秋山周平, 森本涼也, 谷口義明, MAC アドレスがランダム化された BLE 機器の同定手法, 2021 年度情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集
- 5) 吉村太斗, 林虎太郎, 新井イスマイル, 松田裕貴, BLE のランダム MAC アドレスを用いた OD データ推定に向けた初期検討, 2024 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集
- 6) 国土交通省, 国土地理院地図, <https://www.gsi.go.jp/>