

Bluetooth Low Energy アドバタイズ信号の 受信信号強度差分の観測を利用した人流分析手法の提案と評価

内田 由浩[†] 金 智恩[†] 別所 正博[†]

東洋大学 情報連携学部 情報連携学科[†]

1. はじめに

多くの利用者がいる施設では、人の滞在や移動の認識が重要な課題である。大学キャンパスはその一例で、学生や教職員など多くの利用者が、共有スペースでの学習や交流、教室間の移動を行う。このような施設を安全かつ快適で効率的に利用・運営するためには、人流情報の適切な分析が重要である。これまでも、人流や混雑状況の認識に向けた様々な研究が行われてきた。屋外では、スマートフォンの位置情報を利用したサービス[1]が知られている。屋内では、Bluetooth Low Energy (BLE) アドバタイズ信号を利用した研究が注目されている。BLE ビーコンを活用し、アプリケーションでの接触確認と混雑度推定を行う研究[2]や、接触確認アプリケーション「COCOA」の BLE 信号を利用し、街中の密集度を検知する研究[3]などがある。しかし、先行研究では、特定の空間での滞在や移動元と移動先の認識に焦点が当てられてきた。

本研究では、利用者のデバイスが発信する BLE アドバタイズ信号を複数端末で観測したとき、その信号強度の比較差分が移動に伴って変化することに着目した。この情報を活用し、特定の空間への人の出入りを検出する手法を検討した。

2. 提案手法

提案手法では、観測対象の空間内外に複数の BLE アドバタイズ信号を観測する端末（以下、観測端末）を設置し、収集データから移動の検出および移動パターンの推定を行う。提案手法は、観測端末で収集したタイムスタンプ、端末 ID、RSSI 値を入力として、以下の手順で移動パターンを推定する。なお、端末 ID は、MAC アドレスのハッシュ値を用いた。

1. データの前処理: データを、設置場所のラベルと ID のペアでグループ化し、1 秒あたりの観測数の閾値に基づいてフィルタリングする。

Proposal and evaluation of a human flow analysis method by observing received signal strength difference of Bluetooth Low Energy advertisements

[†] Uchida Yoshihiro, Kim Jee-Eun, Bessho Masahiro

[†] Toyo University

表 1 移動パターンの処理

現在の時間枠	次の時間枠	処理
[None, x, None]	未使用	移動なし
[None]	[None, ...]	移動なし
[None, x]	[x, None]/[x]	移動なし
[x]	[x, None]	移動なし
[..., x]	[x, None]	x の RSSI 値が大きい時間枠で x out
[None, x]	[x, ...]	x の RSSI 値が大きい時間枠で x in
[None]	[x, ...]	移動なし、次の時間枠の先頭に None を追加
[..., x]	[None]	現在の時間枠で x out
[None, x, ...]	未使用	現在の時間枠で x in
[..., x, None]	未使用	現在の時間枠で x out

観測頻度が低いと値の変化を捉えにくく、データの信頼性が下がるため、ノイズとして除去する。また、ID は複数端末で観測されたものを採用する。これは、単一地点では入退出を確認できないためである。

- データの平滑化:** RSSI 値の移動最大値と移動平均を計算してデータを平滑化し、本質的な形状と時系列推移を抽出する。
- 移動の検出:** 2 の処理後の RSSI 値の移動標準偏差を計算し、特定の時間枠で閾値を超えた場合、その時間枠に移動があったと判定する。
- 移動パターンの推定:** 移動と判定された時間枠について、各観測端末の RSSI 値の最大値を比較し、最大かつ閾値以上のものを選択し、表 1 の移動パターンを適用して入退出を推定する。「x」は特定の出入口を、「None」は全ての観測端末で閾値を下回る場合を示す。

3. 評価

提案手法の有効性を検証するため、実際に東洋大学赤羽台キャンパス INIAD HUB-1 の 1 階学生食堂で実験を行った。

3.1 実験手順

本実験では、Android 10 の AQUOS sense4 SH-M15 を用いて、BLE スキャンアプリケーションを実装した。この観測端末を、食堂内中央、出入

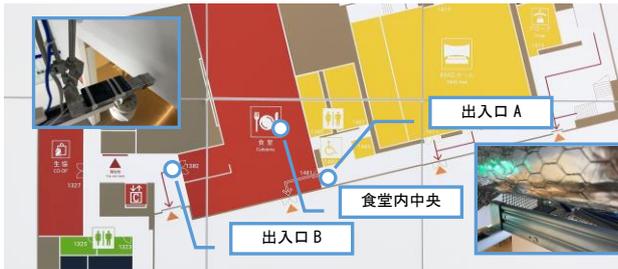


図 1 1階食堂内の各観測端末の設置位置

口 A・B の 3 か所に設置した (図 1) . 期間は, 11 月 28 日・30 日, 12 月 1 日の 3 日間, 11 時から 14 時までの 3 時間実施し, 実際の移動人数を目視で計測した. 実験では, 収集データを用いて, 2 か所の出入口での入退出 (in/out) を推定した. これらの結果を一定時間ごとに集計し, 推定結果と実際の移動人数の相関を評価した. さらに, 移動人数は通過した BLE デバイス数に比例すると想定されることから, 推定結果を説明変数, 実際の移動人数を目的変数として原点を通る線形回帰を行った.

3.2 評価結果

表 2 は, 各集計間隔の評価結果を示す. 集計間隔が長くなるにつれ, 各入退出における相関係数は増加した. 各集計間隔での相関係数の平均値は, 1 分で 0.53, 2 分で 0.62, 5 分で 0.73, 10 分で 0.80 となり, 5 分以上の集計間隔では, 0.7 を超える強い正の相関が示された. さらに, 各集計間隔では, 「B in」の精度が最も高く, 1 分で 0.64, 2 分で 0.78, 5 分で 0.87, 10 分で 0.91 となった.

図 2 は, 5 分間隔の推定結果と実際の移動人数の散布図および回帰直線を示し, 「A in/out」, 「B in/out」の 4 つの移動パターンを含む. 各散布図からも概ね強い正の相関が見られ, その結果は出入口 B で顕著であった. 一方, 「A in」では中程度の正の相関が見られた.

3.3 考察

評価の結果, 5 分以上の集計間隔では, 推定結果と実際の移動人数との間に強い正の相関が見られ, 精度が向上した. このことから, 提案手法は一定の人流傾向を捉え, 集計間隔を 5 分以上に設定することで, 実用的な人流分析が可能になると考えられる. また, 図 2 より, 回帰直線の傾きは「A in」を除いて概ね 1 以上であり, 推定結果は実際の移動人数よりも小さく見積もられた. これは, 全てのデバイスが BLE アドバタイズ信号を発信しているわけではないことを考慮すると, 現実的な結果と考えられる. 一方で, 「A in」の精度が低かった原因は, 元々の移動人数が少なかったためと推測される.

表 2 相関係数の評価結果

集計間隔	A in	A out	B in	B out
1 分	0.332463	0.529200	0.639661	0.628866
2 分	0.376041	0.633663	0.784857	0.692396
5 分	0.487491	0.774298	0.872726	0.788693
10 分	0.587036	0.852657	0.905676	0.844162

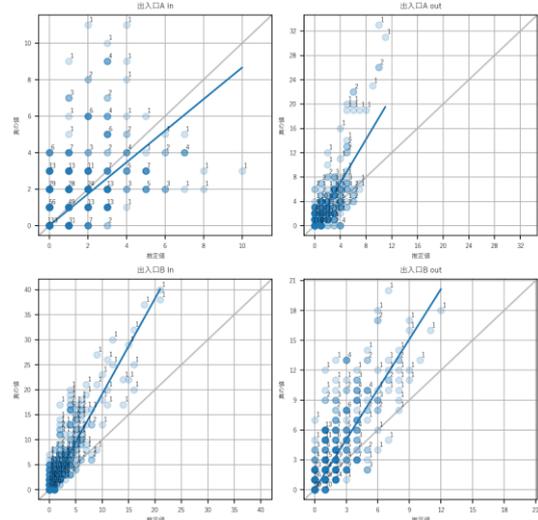


図 2 5分間隔の評価結果

4. おわりに

本研究では, 特定の空間における人の移動に着目し, 空間内外の複数端末から BLE アドバタイズ信号を観測し, 人の出入りを推定する手法を提案した. 提案手法では, 一定の精度で空間への入退出を把握できることが示された.

今後の展望として, 閾値, 観測端末の設置位置, 計測時間を変更した場合の精度評価や, 機械学習による移動パターンの検出を行うことで, より高精度な人流分析が可能になると考えられる.

参考文献

- [1] 株式会社 NTT ドコモ, "モバイル空間統計 人口マップ", <https://mobakumap.jp/>. (参照 2023-12-22)
- [2] Yuuki Nishiyama, Hiroaki Murakami, Ryoto Suzuki, Kazusato Oko, Issey Sakeda, Kaoru Sezaki, Yoshihiro Kawahara, "MOCHA: mobiBLE check-in application for university campuses beyond COVID-19", *MobiHoc '22: Proceedings of the Twenty-Third International Symposium on Theory, Algorithmic Foundations, and Protocol Design for Mobile Networks and Mobile Computing*, pp. 253–258, 2022.
- [3] Masahiro Bessho, Ken Sakamura, "Sensing Street-level Crowd Density by Observing Public Bluetooth Low Energy Advertisements from Contact Tracing Applications", *2021 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, pp. 1-7, 2021.