

令和元年6月3日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18236

研究課題名(和文)WiFi検出履歴とフィルタリング精査によるバス利用客数の推定手法

研究課題名(英文)Examining WiFi activity and filtering method to estimate bus passenger population

研究代表者

西出 亮(Nishide, Ryo)

神戸大学・システム情報学研究科・特命助教

研究者番号：10546906

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：バス利用における混雑は、座席を確保できない乗客にとって移動時間における活動や経験を劣化させる。混雑負荷を分散するには、乗車中の客とバス停に待機中の客の混雑状況を知る必要がある。

本研究では、乗客の混雑負荷を計測するための小型機器を用いて、この機器から乗客が携帯しているスマートフォンに搭載したWiFi機器の定期的な通信活動を検出して乗客数の変化や行動を推定した。すれ違う歩行者や自転車、周囲の建造物等から検出した情報を除外し、乗客端末のみを抽出するための適切なフィルタリング条件を追究した。また、個々のフィルタリング条件におけるパラメータを精査し、データの偏りを是正する手法についても検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果をバス会社に提供することで、日常的に繰り返される混雑時間帯や乗客のフローを特定し、早急に対応策を検討しダイヤ改正に反映できる。バス停で待つ客はバスの混雑状況を知ることで、乗車するか後続車を待つかが判断するための参考にできる。このように、バスの利用者・事業者双方に役立つ情報システムの実現を目指しており、成果を地域や社会にも還元できる研究である。

技術面でのメリットとしては、他の大きな機器やアプリケーションを必要とせず、乗客のWiFiサービスを阻害しない点が挙げられる。また、乗客自身に機器やアプリケーションの操作を要求せず、シームレスで半自動的にデータ収集が行える点も本研究の特色である。

研究成果の概要(英文)：Congestion in the bus degrades travel experience for passengers who cannot get their seats. To alleviate the congestion, it is necessary to balance the population of passengers on buses as well as those waiting at the bus stop.

In this project, WiFi sensor was developed to detect and record WiFi activities, and the collected data was examined to precisely grasp the pedestrian population at the bus stop. At the bus stop, unnecessary signals from passing cars and bicycles, surrounding buildings, etc. can also be detected even though they are not related to the potential passengers. To eliminate such signals, filtering parameters were examined carefully to accurately extract only the bus passengers' data.

Such information may be useful for remote passengers who would like to schedule the departure time to avoid congestion. Drivers can contact each other to exchange the information about congestion, and the company can modify the timetable based on the daily or weekly congested time.

研究分野：ネットワーク

キーワード：モバイルコンピューティング モバイルセンシング 人流解析 携帯電話 モバイル通信 無線ネットワーク 高度交通システム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

公共交通機関において利用客のフローや混雑を検出する技術として、無線通信を用いる手法が盛んである。特に、電車内で乗客の携帯端末が発信する無線通信要求を観測する手法が数多く登場している。電車内で観測できる WiFi パケットは、車外を走行する車や歩行者の携帯端末や、沿線の住宅・店舗の固定 WiFi 端末などをすれ違った瞬間だけでなくに検出するが、同じ電車内の乗客の端末は長期的に空間を共有しているため容易に判別できる。これに対して、市街地を走行する交通機関に関しては、多種多様な WiFi パケットが周辺に混在しているため、乗客データのみを抽出するには、さらなる研究や手法の開発が必要である。一方、ビデオカメラを用いた静止画・動画から歩行者を認識する技術や研究もあるが、バス車内やバス停にカメラを設置するのはプライバシーに関する懸念が多く望ましくないため、それに代わる手法を検討する必要がある。

本研究代表者は、これまでの研究において様々な環境における人々のフローを把握するために、歩行者の周辺に偏在する Bluetooth や WiFi 端末の検出履歴を解析し、生活行動との関連性を追究してきた。さらに市バスの乗客が携帯しているスマートフォンに搭載した WiFi 通信機器を検出し、その検出履歴を解析する手法の研究にも取り組んでいる。乗客の快適性・利便性に焦点を当てた研究としては、利用者のスケジュールやバスのダイヤを考慮して最寄りのバス停を提示する Onebusaway や UbiBus 等もあるが、道路交通情報を用いており不規則に行動する歩行者フローは対象にしていない。本研究は、乗客を検出するための簡易小型機器 (Raspberry Pi) をバス停に設置し、この機器から乗客が携帯しているスマートフォンに搭載した WiFi 機器の定期的な通信活動を検出して、乗客数や行動の変化を推定しようとするものである。

2. 研究の目的

バス利用における混雑は、座席を確保できない乗客にとって貴重な移動時間における活動や乗車経験を劣化させる。混雑を避けて乗車する機会を得るためには、乗車中の客とバス停に待機中の客の混雑状況をリアルタイムで知る必要がある。本研究では、乗客の混雑負荷を計測するための小型機器をバス停に設置し、この機器から乗客が携帯しているスマートフォンに搭載した WiFi 機器の定期的な通信活動を検出して乗客数の変化や乗客の行動を推定する。収集データの解析に基づき、混雑時間帯を特定してダイヤ改正を行うバス会社、バス相互間で連絡し乗客数を調整する運転手、取得したバスの混雑情報を判断材料として乗車・見送りを決断する乗客に役立つシステム開発を目指す。

3. 研究の方法

大学構内やまちなかにおける WiFi 機能を搭載したスマートフォンが普及し、大学や公共の施設、自宅等で WiFi サービスを受けるために、バス停留所周辺においても WiFi 機能を常時 ON にしたまま歩いている利用者が増えている。本研究課題では、図 1 のようなそれぞれのスマートフォンが既設のネットワークにパケットを送信する WiFi アクティビティを検出して、バス利用者のフロー推定に用いる。そのために、Linux Ubuntu の無線ネットワークコントローラをモニタリングモードに設定し、airodump-ng を用いてフレームをキャプチャーし、リンク層ヘッダー情報を記録する。airodump-ng により、周辺で通信している歩行者端末の MAC アドレス、発見・消失時間、送信パケット数、電波強度に関するデータを収集し、周囲の歩行者フローについて分析する。

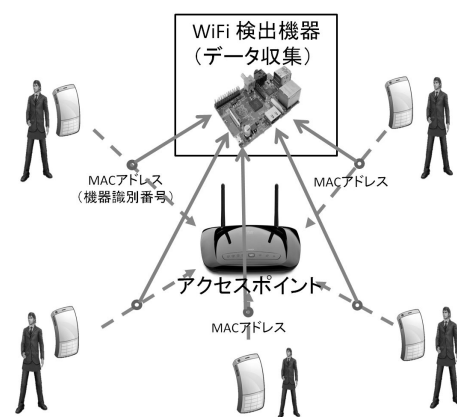


図 1. システム構成

これまでの研究において、勤務大学と最寄り駅間を運行しているバスの車内及びバス停で、周囲の乗客が携帯しているスマートフォンの WiFi 通信処理に関するデータを収集する予備的試行実験を行った。予備実験では、バス利用者の行動の変化や混雑状況は把握できたが、実際の乗客数と歩行者端末の検出率は 25% ~ 95% と安定しなかった。これは、乗客とは関係のないノイズデータが混在しているためと考えられる。そこで、以下のようなノイズデータを分別・除去し乗客データのみを抽出するために、本研究課題ではフィルタリングを実施することにした。

- ・複数回検出される端末は、何度もすれ違った歩行者の可能性が高い
 - ・長期継続的に検出される端末は、属地デバイス (固定アクセスポイント) の可能性が高い
 - ・短期検出される端末は、すれ違った人・自転車・車両の可能性が高い
 - ・電波強度が低い端末は、観測機器 (バス停) から離れた場所にある端末の可能性が高い
- このようなデータをフィルタリングすることで、乗客データの抽出精度を向上できると考え

る。

以上のような考察に基づき、本研究課題では、さらに複数の停留所で試行実験を行い、バスの混雑状況と乗客の検出精度、利用者フローの全容をリアルタイムで解明することを目指す。

実験には、軽量・省電力・安価なマイコンボードの Raspberry Pi を用いることを考えている。Raspberry Pi はマイコンの一種で、コンピュータに接続せずとも自律的に稼働しプログラムを組み込むことができる。また、バッテリーや電池等で電力を供給し、どこからでもプログラムを動かすことができる。さらに、WiFi Module を取り付けることにより、スマートフォンを含めた無線ネットワークとの通信機能を実現する(図2)。

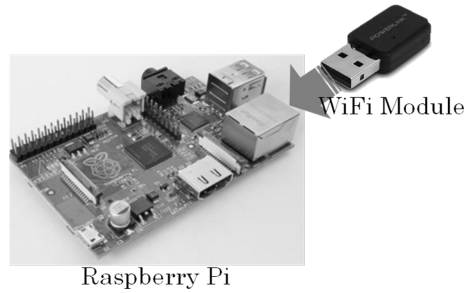


図2. Raspberry Pi と WiFi Module

WiFi パケットを検出・記録するプログラムを設計し、複数のバス停に設置した Raspberry Pi と WiFi Module で収集したデータから乗客端末データのみを抽出するために、端末の電波強度・パケット数・通信時間等を基準に適切なパラメータを設定しフィルタリングを行う。さらに、乗客層、道路状況、すれ違う歩行者や自転車、周囲の建造物等を考慮した上で、乗客数が推定可能なバス停の特徴や性質、Raspberry Pi の設置場所・方向・台数、フィルタリングのための適切なパラメータについて更に検証し、データの偏りを是正する。

さらに、乗客層、道路状況、すれ違う歩行者や自転車、周囲の建造物等を考慮した上で、乗客数が推定可能なバス停の特徴や性質、Raspberry Pi の設置場所・方向・台数、フィルタリングのための適切なパラメータについて更に検証し、データの偏りを是正する。

4. 研究成果

(1) 本研究課題の主要な目的である「フィルタリング精査」を重視し、当初から検討していたフィルタリングパラメータを個別的/総合的に分析し、パラメータの適切性や必要性について追究した。具体的には、データ収集実験と同時に目視で観測したバス利用客の実測人数を正解データとして、各種パラメータによるフィルタリング結果との相関関係を分析した。実験環境として、周囲に WiFi 通信機が少ない大学キャンパスのバス停留所と、交差点や建造物によるノイズが多い街中のバス停留所で比較分析を行った。

その結果、いずれのバス停においても、収集したデータ全てを対象に推定した場合よりも、フィルタリング手法を適用することで、推定精度が予想通り向上することが確認できた。特に街中では、周囲のノイズが多くパラメータ設定が不十分なため高い精度は見込めなかったが、フィルタリング手法を適用することで大幅に結果が改善されることが分かった。

また、個々のパラメータを精査したところ、WiFi 電波強度や短時間検出によるフィルタリング処理が推定精度向上に大きく貢献していることが分かった。一方、検出回数は検出時間と重複し、バス停留所周辺を往復する歩行者も少ないため、検出回数は比較的不要なパラメータであることも分かった。更に、ノイズの多い街中の停留所では乗客の列の並び方や周辺環境が異なるため、パラメータを変更することで結果が改善されることも分かった。

(2) さらに、乗客端末数と実測した乗客数の相関関係に注目し、線形回帰分析を適用した乗客数の推定精度の改善/向上に取り組んだ。具体的には、乗客数の増加に伴い乗客端末数も増加する特徴を捉え、線形回帰式により乗客端末数から乗客数を求めた。また、評価指標として決定係数を用いることで、回帰直線とデータの当てはまり度合を調べ、データの偏りを是正するための適切なパラメータを調べた。

図3は、線形回帰を用いて、フィルタリングの有無による結果を比較したものである。ここでは、実験前の事前調査で得られる情報(バス停留所ゾーンから推定した電波強度値、バスの時刻表から求めた停留所の最大待機時間間隔等)をもとに、フィルタリングの条件を設定した。

橙点は1日1時間の実験において生成した履歴データ内の検出端末総数を扱っており、青点は履歴データに対してフィルタリングを実施し乗客端末と推定した端末数を扱っている。このデータに対して回帰直線を生成し、線形回帰式と決定係数 R^2 を求める。この決定係数を比較することで、本手法の有効性を評価する。

決定係数は1に近いほど回帰は適合しており、本手法が有効であるといえる。図3では、フィルタなしの決定係数が0.5798であり、フィルタありは0.8984であるため、回帰が適合している。また、線形回帰式を用いて端末数から乗客人数を推定した結果と実測人数との誤差率を検証するために平均絶対誤差率(MAPE)で確認したところ、フィルタなしは8.17%、フィルタありは3.86%となり、フィルタリング適用に

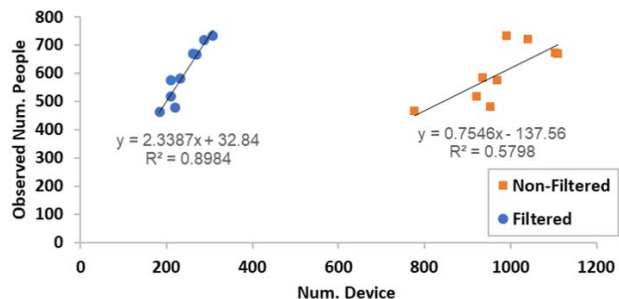


図3. フィルタ使用可否による線形回帰分析

よる提案手法，線形回帰を用いる評価手法の有効性が示された。

最後に，データ偏りの是正について，図3で設定したフィルタリングパラメータの前後の値を用いた際の決定係数や MAPE を算出し，最も精度の高い結果を得られる際のパラメータ値を確認した。図4がその結果により求められた線形回帰式及び決定係数である。この際の MAPE は3.68%であった。

図4の方が，図3のような事前調査や理論値で求められるフィルタリング条件を適用した場合よりも結果が良かったので，その原因について考察

してみた。土・コンクリート等の地表の性質，壁・人等の障害物，湿度や気圧等の環境状況，実験機器に供給される電圧等が電波強度値に影響する要因となると考えられる。つまり，距離を基準に電波強度値を決定する際は調整が必要である。時刻表を参考にバス停留所の最大待機時間においても，バスが混んでいる場合や満員で乗車できない場合が考えられ，バスを見送るケースもある。また，職種・年齢・性別等が共通しない乗客が多いケースや，周辺環境がバス停留所ごとに異なるケースもあり，フィルタリング条件のパラメータ値を一意に決定できない。そこで，本研究で示したように線形モデルが最も当てはまるパラメータ値を求めて，乗客人数を推定するような手法が現実的であるとも言える。

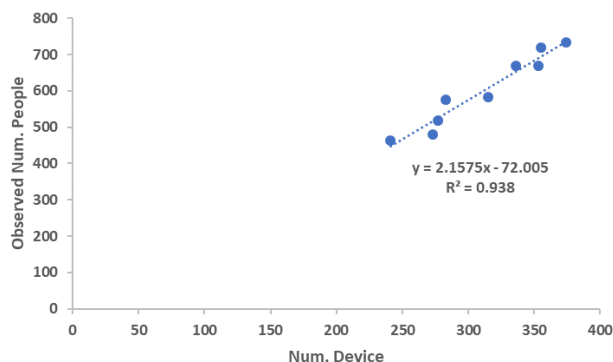


図4．最良フィルタ適用による線形回帰分析

(3) 本課題で検証した際，実験を実施した日数が少なく，データ数が十分取得できないことが問題であった。それは，研究開始初年度に勤務先を異動することになって，異動先においてはデータの収集が困難な研究環境であったことが挙げられる。今後さらに多くのデータを準備できれば，訓練データとテストデータに分けたり機械学習を用いたりするような手法での検証も可能であると考えられる。また，実測データを生成する際にバス停留所で目視調査を行っていたが，バス車内に設置したカメラ映像や各種センサーデータ等によって乗客数を高精度で得られる手法も多数存在しており，これらの手法を併用することにより目視調査の手間も省けると考えられる。

(4) 当初の計画では，プロトタイプシステムによる実験も目指していたが，既述したように，研究開始初年度に勤務先を異動することになり，研究実施体制や実験環境の変更により，研究の進捗が遅れた。しかし，異動先では本課題と類似した手法で対象物を検出する研究に取り組み，本務として参画した JST-CREST の研究課題で複数の研究成果を国際学会や学術誌で発表することができた。その間，JST が開催した AIP 若手研究交流会において，本研究テーマに関するポスター発表を行う機会を得て，研究内容を紹介するとともに，他機関の研究者と有益な議論を行うことができた。

本務との関係で，本課題に関する研究成果を国際会議や学術誌等で発表する機会はなかったが，データの収集・分析，研究資料の渉猟，関連分野の研究者との研究交流，研究成果の執筆準備は，研究の進捗とともに進めてきており，本報告書に記した成果は，本年度の ICISP 国際学会等で発表する予定である。

研究年度2年目後半に，再び別の職場に異動が決まり，その準備のため年度内の論文投稿は不可能であったが，本研究課題に取り組んで得られた知見を，新しい職場における新しい学問分野のデータサイエンス教育研究に活かすことにより，更なる研究の展開が期待できると確信している。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

西出亮，“WiFi 検出履歴とフィルタリング精査によるバス利用客数の推定手法”，AIP 若手研究交流会（ポスター発表）CREST「人工知能」領域，コクヨホール，2017 年 12 月．

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8 桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。