

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：14603
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2020～2023
課題番号：20K11789
研究課題名（和文）路線バス搭載機器のセンサフュージョンによる高品質ODデータ生成システムの開発

研究課題名（英文）A fine-grained OD estimating system fusing sensors in buses

研究代表者
新井 イスマイル（Arai, Ismail）
奈良先端科学技術大学院大学・総合情報基盤センター・准教授

研究者番号：60512572
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：路線バス乗客の起点・終点情報（ODデータ）を高精度で取得すべく、乗客が所有する無線LANやBluetooth機器、あるいは車内カメラ映像それぞれを情報源とした場合のODデータ生成可能性について評価した上で、それらの融合に加えて気象情報等、間接的な情報も加味することでより高精度にODデータを生成できることを期待した。

結果としてはBluetoothとカメラ映像を単一情報源として利用した場合のODデータ生成評価結果を得られた。情報源の融合については研究期間内に解が得られず課題が残ったが、基礎検証時にはカメラ映像が支配的であるため、他の単一情報源の取得手法の改善が必要であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的な成果は乗降客数の推定においては機械学習モデルの新たな考案や複数情報源による特徴量の策定によって高精度化を実現したことにある。ODデータ生成については複数情報源の活用手法の確立までには至らなかったが、常時取得可能であることから本研究結果の再現率が低く見えても、そもそもパーソントリップ調査に比べて飛躍的に量が増えるため、実用性向上に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：To achieve high-precision acquisition of origin-destination (OD) data for bus passengers, we evaluated the potential for generating OD data using each of the following information sources: WLAN or Bluetooth devices possessed by passengers, and in-vehicle camera footage. We aimed to enhance the accuracy of OD data generation by integrating these sources and considering indirect information such as weather conditions.

As a result, we obtained evaluation results for OD data generation using Bluetooth and camera footage as single information sources. However, during the research period, we did not achieve a solution for integrating multiple information sources, leaving this as a remaining challenge. The foundational validation indicated that camera footage was dominant, revealing the need for improvements in the acquisition methods of other single information sources.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ITS

1. 研究開始当初の背景

街の施設（店舗、駅、公共施設等）にとって、どの辺りからどのくらいの来客があるかという情報は商業戦略・都市計画、重要な情報である。このような情報は行政によるパーソントリップ調査の OD データから得られるが、公共交通の OD データは未だに調査員の聞き取り調査や、調査票の郵送配布・回収という人手に頼る手法を用いており、原則として地方中核都市以上の規模の都市で 10 年毎（3 大都市圏の大都市交通センサスでも 5 年毎）に行われる程度の頻度に留まる。

交通系無線 IC カードにより利用者から許諾を得て複数社の利用交通機関の記録を取得することが可能になりつつあるが、路線バスにおいては、そもそもコストが高く導入できていなかったり、高齢者が身分証の提示だけで乗車できたり、定額（整理券が残らず乗車区間が不明）、現金決済など乗り入れ方法が多様だったり、電子的に確実な履歴情報が取得できない割合が大きくなり網羅的な OD データの取得は困難となる。

貸切バスや片道 100km を超える路線バスには従来タコグラフと呼ばれる速度・回転数を円盤に記録する装置の設置が義務付けられていた。これが近年、デジタル化され設置義務の対象範囲が拡大されている。本研究ではこのデジタルタコグラフに任意のデジタルセンサを容易に追加できることと、車外にセンシングデータを送信可能になる点に着目する。さらに、路線バスではドライブレコーダが車内の安全管理のためにも設置されているため活用可能である。乗客が所有しているスマートフォンから発信される無線 LAN 制御パケットや Bluetooth スキャン応答、ドライブレコーダ映像の解析機能が搭載できると、高頻度に路線バス OD データが生成できる。

従来単一の情報源を用いて人物追跡する取り組みがあるが、カメラはオクルージョンにより追跡が途切れたり、無線 LAN や Bluetooth 等の無線通信は、インタフェースが無効、あるいはそもそもスマートフォンを所持していないと追跡できなかったりと一長一短あり、各短所は単一情報源である限り克服が困難である。複数情報源による OD データ作成の研究事例はなく、どの組み合わせが最良かは未知である。

2. 研究の目的

路線バスに搭載されることを前提にできる情報源を組み合わせる（センサフュージョンする）ことで、従来の単一情報源による OD データ生成手法より正確・高頻度に OD データを作成することを目的とする。路線バスには将来ドライブレコーダやデジタルタコグラフが標準装備されることが前提にできる。タコグラフがデジタル化されたことで追加が容易になった GPS や加速度センサ、温湿度センサ、さらには別組織から公開されるデータも対象として各情報源の組み合わせ効果を検証する。

3. 研究の方法

3.1. 複数情報源による乗降者数の予測

乗降者の計数ならびに予測は OD データよりも作成が容易なため、研究の初歩段階として複数情報源の有効性を確認した。

3.2. 単一情報源による OD データの生成

単一情報源として Bluetooth を用いた。これはコロナ禍に罹患者接触確認アプリに対応したスマートフォンが Rolling Proximity Identifier（以下、RPI）を伴う匿名化されつつもしばらくは追跡可能なパケットを発していたためである。また、遠赤外線カメラも非接触温度計として多用され、一般人にとって公共空間への設置の理解が高まったことからこの映像を元に人物追跡が可能かどうかを確認した。

3.3. 複数情報源による OD データの生成

3.1 と 3.2 の結果を踏まえ、情報源組み合わせによる OD データ作成を試みる。

4. 研究成果

4.1. 複数情報源による乗降者数の予測

実験フィールドの路線バスには高精度な乗降カウンターが既設されているため、計測時の乗降者数はほぼ正解値が取得可能である。そのため、未来の乗車人数を予測する問題において複数情報源の有効性を評価した。車両から取得できる情報（車両位置、速度、走行距離、気圧、温湿度、乗降者数、運転状態）に加えて、運行情報（車両番号、路線番号、便名、運転手）が取得可能で、さらに気象台の公開データ（温度、降水、風速、気圧、天気等）の組み合わせで当時実装している機械学習モデルの比較評価と特徴量の貢献度を評価した。

図 1 の通り、古典的な機械学習である線形予測、決定木（CART）に比べてニューラルネットワークの方が平均二乗誤差（MSE）が少ない結果となった。図 2 の通り、特徴量としては気温の貢献度が高く、複数情報源は乗降者数予測に効果的であることが確認できた。

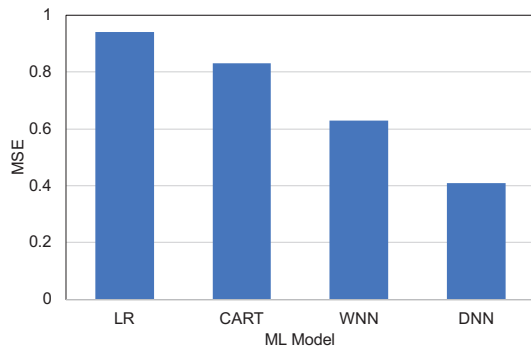


図 1. モデル毎の MSE

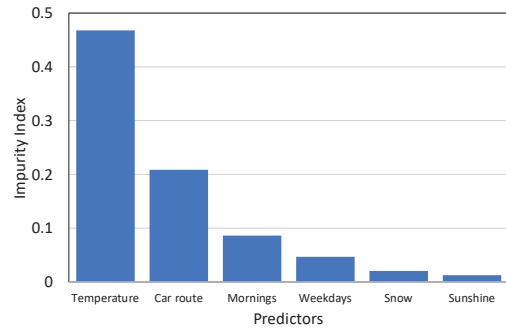


図 2. 特徴量の寄与度

上記の検証では路線や便は区別して特徴量として入力したが、実際の乗客数は同じ便内では以前のバス停での乗降客数の影響が大きいはずであるため、機械学習モデルをより詳細に設計して、また時系列データの予測に最適な LSTM (Long-Short Term Memory) を多段階に構築して性能を評価した。

モデルを変更した結果、上記の結果とは異なり気象データについては降雨と天気貢献するようになったため、寄与度を再評価した結果、バス乗客数、便名、曜日、降雨、天気を基本特徴として 1 ホットエンコーディングによって 37 次元の特徴量を入力とした (図 3)。モデルについても複数のパターンを検討したが詳細説明は出版論文に任せる。ここでは最終的に採用した他入力 LSTM の機構を図 4 で紹介する。

バス停が 5 つの路線の日常的な乗客数の変動が図 5 の通り (ばらつきが大きい 4 番目のバス停の乗客数予測が最も困難) の場合、表 1 の通り、特徴量をバス乗客数だけしたもの、特徴量をバス運行情報に限定したもの、特徴量に気象情報を加えるが数を限定したもの、提案手法と比較したところ、提案手法の二乗平均平方根誤差 (RMSE) が最も小さくなった。

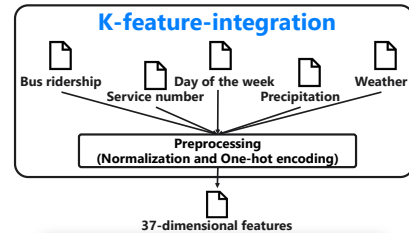


図 3. 最終選定特徴量と次元数

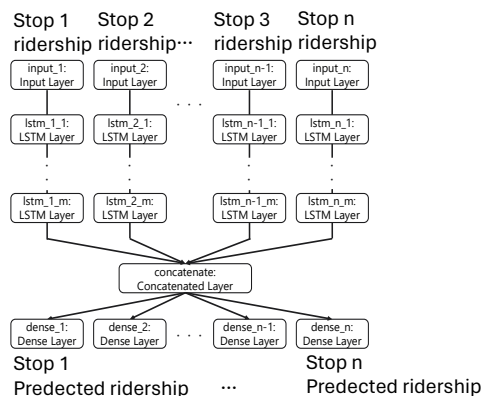


図 4. Multiple-IO LSTM

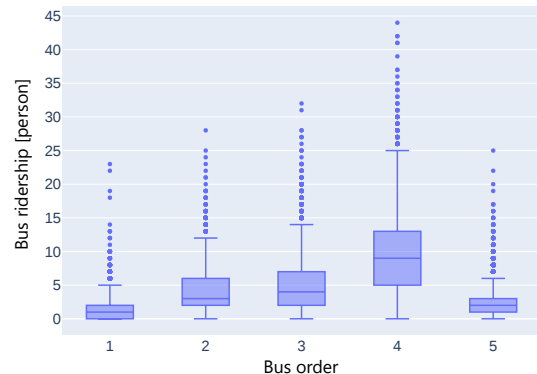


図 5. 各バス停での乗客数分布

表 1. RMSE の比較評価結果

Method	RMSE [person]				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
Proposed Method A (Bus ridership)	1.419	2.399	2.716	4.056	1.963
Proposed Method B (3-feature-integration of bus ridership, service number, and day of the week)	1.311	2.217	2.530	3.694	1.905
Proposed Method C (3-feature-integration of bus ridership, precipitation, and weather)	1.357	2.377	2.781	4.164	2.020
Proposed Method D (5-feature-integration of bus ridership, service number, day of the week, precipitation, and weather)	1.128	2.122	2.459	3.636	1.737

4. 2. 単一情報源による OD データの生成

RPI は約 15 分は維持されるが、バス乗降時にその値が維持されるとは限らないため、RPI 切り替わり時に他の値が変化しない場合に限って単一情報源による OD データ生成を実現できる。RPI に関する Bluetooth パケットの詳細を確認したが、匿名化を徹底しておりどのフィールド値も一定ではなかった。しかしながら、バス乗車中にはほとんど移動が発生しない特性を考慮して受信電波強度 (RSSI) を手がかりに追跡した RPI が消失した後に現れた RPI を含むフレームを照合した。(図 6)

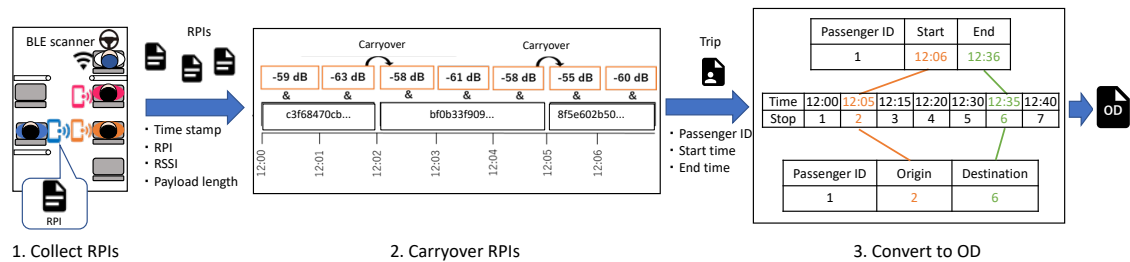


図 6. RPI をキャリーオーバーする OD データ生成手法

京都市内で約 1 時間かけて 33 停留所を経由する京都バスで実験した結果、再現率が 9~22%となり、罹患者接触確認アプリの当時の普及率 17%と概ね一致した。適合率は 60~100%という結果が得られた。図 7 は実験中の全 OD を青色、提案手法で検出できたものを緑色で表している。

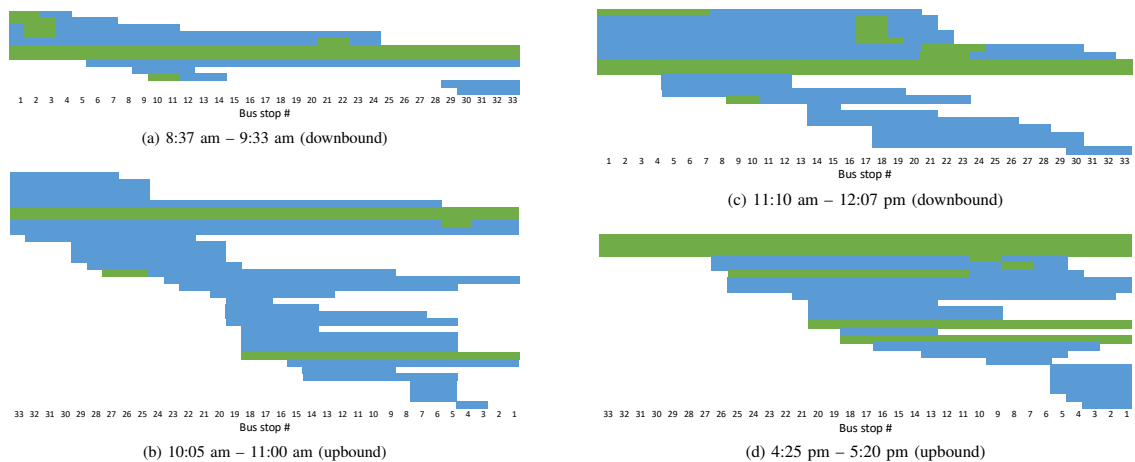


図 7. 生成された OD データ

実験環境の都合により人物追跡可能性の実験が可能な映像がバス停に設置して歩道を撮影している可視光カメラと遠赤外線カメラのもののみとなった。図 8 のようなカメラを設置して両映像の単独あるいは融合画像による人物追跡性能を評価した結果、表 2 の通り、昼間の雨天時を除いて、融合映像が最も高精度となった。車内の方が歩道より照度が低いいため、融合映像を利用した方が人物追跡性能は高いと予測される。



図 8. バス停に設置したカメラの構成

表 2. 各画像の人物追跡性能（単位：人）

	昼間		夜間	
	晴天時	雨天時	晴天時	雨天時
可視光映像 (%)	4.9 (+)	3.1 (+)	7.0 (-)	7.6 (-)
遠赤外線映像 (%)	7.3 (-)	16.2 (-)	14.3 (-)	14.0 (-)
融合映像 (%)	3.4 (+)	5.1 (+)	6.7 (-)	6.6 (-)

4. 3. 複数情報源による OD データの生成

車内の映像解析結果の導出が研究期間に完了しなかったため、複数情報源による OD データの生成実験は完全には終了していないが、映像データを元にした OD データ生成の方が明らかに再現率も適合率も高くなるのが基礎検証で明らかになった。Bluetooth 信号による OD データ生成は罹患者接触確認アプリの普及状況からして再現率が低いため、現状の技術では映像データによる OD 情報が支配的となると結論づけられた。

一方で乗客数の予測には Bluetooth の情報や天候や渋滞等のプライバシーフリー情報も効果が見込める。

今後は映像データ以外の情報源での追跡性能を電波の発信源を特定するような手法（複数の受信機を車内に取り付けて特定したり、UWB のようなミリ波を用いたデバイスの普及を考慮した高精度な位置推定が考えられる）で向上させたり、目標を乗降客数の予測(数日先等の長期予測は未達成)に一旦敷居を下げて取り組む。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

1 . 発表者名 Takumi Niwa, Ismail Arai, Arata Endo, Masatoshi Kakiuchi, Kazutoshi Fujikawa
2 . 発表標題 Improving Bus Arrival Time Prediction Accuracy with Daily Periodic Based Transportation Data Imputation
3 . 学会等名 2023 International Conference on Smart Mobility (SM) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Takumi Fukuda, Ismail Arai, Arata Endo, Masatoshi Kakiuchi, Kazutoshi Fujikawa
2 . 発表標題 Benchmark of Deep Learning Visual and Far-Infrared Videos Toward Weather-tolerant Pedestrian Traffic Monitoring
3 . 学会等名 023 International Conference on Smart Mobility (SM) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Tatsuya Yamamura, Ismail Arai, Masatoshi Kakiuchi, Arata Endo, Kazutoshi Fujikawa
2 . 発表標題 Bus Ridership Prediction with Time Section, Weather, and Ridership Trend Aware Multiple LSTM
3 . 学会等名 2023 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Masato Kawashima, Ismail Arai, Arata Endo, Masatoshi Kakiuchi, Kazutoshi Fujikawa
2 . 発表標題 Origin Destination Estimation Carrying over Rolling Proximity Identifiers with RSSI
3 . 学会等名 022 IEEE Global Conference on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 山村 竜也, 新井 イスマイル, 遠藤 新, 垣内 正年, 藤川 和利
2. 発表標題 同一便と同一バス停における乗客数の変動特性を考慮したLSTMによる路線バス乗客数予測
3. 学会等名 マルチメディア, 分散協調とモバイル2022シンポジウム論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ismail Arai, Ahmad Elnoshokaty, Samy El-Tawab, Ahmad Salman
2. 発表標題 The Effect of COVID-19 on the Transit System in Two Regions: Japan and USA
3. 学会等名 2021 IEEE Global Conference on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川島 将渡, 遠藤 新, 垣内 正年, 新井 イスマイル, 藤川 和利
2. 発表標題 複数スマートフォンのMACアドレスランダム化の非同期性を用いたODデータ自動取得手法の提案と評価
3. 学会等名 情報処理学会研究報告コピキタスコンピューティングシステム研究発表会 (UBI)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ahmed Elnoshokaty, Ismail Arai, Samy El-Tawab and Ahmad Salman
2. 発表標題 Transit System Prediction for Real-time Weather Conditions: Fleet Management and Weather-related Ridership
3. 学会等名 2022 International Conference on Smart Mobility (SM) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ismail Arai, Ahmed Elnoshokaty, Samy El-Tawab
2. 発表標題 Leveraging IoT and Weather Conditions to Estimate the Riders Waiting for the Bus Transit on Campus
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Atsuto Ishinaga, Ismail Arai, Kazutoshi Fujikawa
2. 発表標題 Route-Bus Driver Evaluation System Using Digital Tachograph Data and Static Route Features
3. 学会等名 2020 IEEE Global Conference on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ismail Arai, Masahiro Kametani, Norihiko Honda, and Toyokazu Akiyama
2. 発表標題 DOCOR: Sensing Everything From Route Buses
3. 学会等名 2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石長 篤人, 新井 イスマイル, 垣内 正年, 藤川 和利
2. 発表標題 運行情報と気象情報の畳み込みによるバス到着時刻予測手法
3. 学会等名 情報処理学会研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ研究発表会 (ITS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新井イスマイル
2. 発表標題 バス車両に搭載されたセンサを用いた乗降客数予測とその活用
3. 学会等名 第47回インターネット技術第163委員会研究会 (ITRC meet47)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

公共交通ビッグデータ解析 https://inet-lab.naist.jp/project/12/

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関