



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	路線バスにおけるカメラ画像を用いたバス乗客OD推定システムに関する研究
Author(s)	西浦, 翼
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16985号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16985
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99829
Type	doctoral thesis
File Information	Tsubasa_Nishiura_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 西浦 翼

学 位 論 文 題 名

路線バスにおけるカメラ画像を用いたバス乗客 OD 推定システムに関する研究
(A Study on an OD Estimation System for Route Buses Using Onboard Camera Images)

人手不足と赤字が深刻化する路線バス事業において、運行計画や経路再編の基礎となるバス乗客 OD(Origin-Destination) データの収集は喫緊の課題である。従来の収集方法である調査票・IC カード・RFID タグ等はコストや適用範囲に制約があるため、近年、安全・防犯目的で普及が進んでいる車載カメラの活用が期待されている。

画像認識技術による人物計測では、人物検出と Re-ID を組み合わせた人物追跡を用いるのが一般的である。人物追跡では対象とする環境が屋内環境か屋外環境かによって中心的な課題が異なるが、路線バスは屋内環境に分類される一方で屋外環境のような課題を併せ持っている環境であり、画像認識タスクとしては高難度な環境である。また、カメラ画像を用いた OD データ収集の分野では、理想環境下での研究や発生・集中交通量の取得（利用人数のカウント）に留まる研究が多く、実運用環境において発生・集中交通量だけでなく分布交通量まで取得（利用者の乗車地点と降車地点の特定）する実装と検証は十分ではない。

以上の背景から本論文では、路線バスにおけるカメラ画像を用いたバス乗客 OD データの収集を研究目的とする。本研究で想定する状況は、全国の路線バスを対象として車載カメラの動画データからその地域・時期の OD データを推定し、運行計画の立案や経路の最適化、サービス改善に活用するというものである。対象とする路線バスは全国的に最も一般的な 12 m サイズの 2 ドアで中乗り前降りタイプのものである。車載カメラの動画を用いたバス OD 推定システムとして、BAIRD-OD(Boarding-Aligning Identification, Re-identification and Data Association for OD Estimation) を開発した。実際に運行している路線バスで動画データを収集し、開発したシステムの有効性を検証した。

第 1 章では、本論文の研究背景と研究目的、学位論文の構成について示した。

第 2 章では、関連研究について示した。

第 3 章では、実環境におけるデータ収集とシステムの全体設計についての研究成果を示した。2021 年 12 月に札幌市内で実際に運行している路線バスにて、乗車口と降車口にそれぞれカメラを取り付けて動画データを収集した。提案システム BAIRD-OD は各カメラの動画を入力として、個人識別、乗降判定、同一判定を行い、バス停別乗降者数と乗車区間別乗降者数を出力する。個人識別では要素技術を検討した上で、人物検出器 YOLOR と人物追跡器 MPNTrack を採用し、入力動画から人物軌跡を推定する。乗降判定では人物軌跡に対してそのバス停で乗車または降車したかどうかをルールベースで判定する。各バス停において乗車人物と降車人物を数え上げてバス停別乗降者数を推定する。同一判定では乗車人物の軌跡と降車人物の軌跡の類似度をメトリックラーニングによって計算し、割当アルゴリズムによって同一人物を判定する。乗降ペアの乗車バス停と降車バス停から乗車区間別乗降者数を推定する。収集した動画データセットを用いて実験を行い、システムの推定精度を評価した。実験の結果からシステムの有効性を示した。

第4章では,BAIRD-ODにおける個人識別の精度向上についての研究成果を示した. 個人識別の推定精度を低下させる要因を分析した結果, 人物検出における体の一部のみの検出・無関係な車外人物の検出・白飛びや逆光による検出ミス, 人物追跡における軌跡の断片化とIDスイッチであることがわかった. これらの課題に対して, コスト効率やプライバシーへの配慮などの実用的な制約を充足しつつ対処する手法として, 不適データセグメントの処理を提案した. 人物検出へのアプローチとして, 不自然な検出のフィルタリングを行った. 人物追跡へのアプローチとして, 軌跡の結合と短軌跡の除去を行った. 追加のデータセットを用いて提案手法の精度と汎化性の評価実験を行った. バス停別乗降者数推定の実験の結果, 誤差率が乗車口では13.3%, 降車口では5.24%となった. また, アブレーションスタディの結果, 提案した各処理がすべて有効に機能していることが確認でき, 提案手法の有効性を示した. 最終出力である乗車区間別乗降者数推定の実験では, Recall0.77, Precision0.83, F-measure0.80となった.

第5章では,BAIRD-ODにおける乗降判定の精度向上についての研究成果を示した. ルールベースでの乗降判定には精度に限界があるため, 必要最低限の機械学習を導入した.DNNモデルに矩形情報と時間情報を入力し, バス車内クラスとバス車外クラスの確率を出力することで, 人物矩形がバス車内かバス車外かを二値分類した. このモデルを用いて乗車口では1フレーム目がバス車外と判定された人物を乗車人物, 降車口では最終フレームがバス車外と判定された人物を降車人物とする乗降判定を提案した. 新たにデータセットを作成し,DNNモデルの層数と活性化関数についてグリッドサーチを行った. 実験の結果, 乗車口では5層×sigmoid, 降車口では3層×tanhが最適であった. 人物検出器は既存モデルのYOLORと最新モデルのYOLOv10, 乗降判定は既存のルールベースの手法と提案したDNNモデルの手法を比較する実験を行った. その結果, バス停別乗降者数推定の誤差率が乗車口ではYOLOv10とDNNモデルを組み合わせた手法で11.7%, 降車口ではYOLORとDNNモデルを組み合わせた手法で0.8%となり, 提案手法の有効性を示した. 乗車区間別乗降者数推定の実験では, Recall0.79, Precision0.93, F-measure0.85となり, 第4章のシステムを上回る精度を達成した.

第6章では, 本論文のまとめと今後の展望を示した.