

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06608

研究課題名（和文）バスドライブレコーダの映像解析による人流推定と運行計画最適化への応用

研究課題名（英文）Person flow estimation by the analysis of bus drive-recorder videos for bus operation planning

研究代表者

谷口 行信（Taniguchi, Yukinobu）

東京理科大学・工学部情報工学科・教授

研究者番号：70759422

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：バスの効率的な運行を実現するためには、バスの利用実態を定量的に調査し、データに基づいて運行計画を策定する必要がある。本研究では、多くのバスに既に設置されているドライブレコーダに着目し、そのカメラ映像を解析することで人流情報を自動的に把握し、バスの利用実態調査を自動化することを目的としている。本研究では主に、カメラ映像から乗車区間を自動推定する手法について検討した。画像処理手法の改良に加え、バスという狭領域・閉空間の制約を活用することで人流推定の精度を向上させた。バス会社の協力を得て、実走時のバスのドライブレコーダ映像を使用した評価を行い、人の認識精度に迫る認識精度が得られることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果によって得られる人流情報は、当初計画どおり、バスの運行計画最適化に資するものであり、バス会社における顧客サービスの向上に貢献することが期待される。バス車内での人の行動認識という観点では、バス車内での転倒事故や痴漢などの事故・犯罪の予防にも役立つことも期待される。さらに、開発した人流推定手法は、行動範囲が限定された閉空間（例えば、鉄道車両）への展開や、人以外の動物・物体（例えば、乳牛や車両）への展開も可能である。

研究成果の概要（英文）：A bus transportation system provides social and economic advantages and plays a key role in our daily lives. This study aims at utilizing videos recorded by cameras installed in buses to improve and optimize bus services, where the required basic and important information is bus passenger flow. We mainly explored a method for automatically estimating the boarding section from camera images. The accuracy was improved by leveraging the bus-specific properties or constraints. With the collaboration with a bus company, we evaluated our methods using the drive-recorder videos and showed that the proposed method can achieve almost the same accuracy as that obtained via human visual inspection.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：ドライブレコーダ バス 人物同定 人流推定 映像アラインメント

1. 研究開始当初の背景

近年、バスへのドライブレコーダの導入が進み、平成 31 年 3 月時点で乗合バスの 92.5% にドライブレコーダが設置されている(2019 年度版日本バス協会調べ)。平成 28 年 1 月に起きた軽井沢スキーバス事故をきっかけとして、貸し切りバスへのドライブレコーダ設置が国土交通省によって義務化されるなど、ドライブレコーダの重要性が再認識されている。

ドライブレコーダの主な用途は、現状、安全教育・事故処理・防犯等であるが、ドライブレコーダには経営効率化やサービス改善に有益なデータが豊富に記録されている。GPS、加速度センサのデータに加えて、車外・車内を捉えるカメラ映像(図 1)が常時・死角なくバスの運行状況と乗客の様子を記録している。バス・ビッグデータとも呼ぶことができるこのようなデータは、運行計画の最適化、バス車内での転倒事故や痴漢などの事故・犯罪に予防、顧客サービスの向上などにも役立つと考えられる。



図 1 バス車載カメラ画像サンプル(4 画面合成、 が車内向きカメラ)

2. 研究の目的

路線バスの効率的な運行を実現するための運行計画最適化には、バスの利用実態の定量的調査が必要不可欠である。現在は調査員がバスに乗り込み乗降客数をカウントする、人手に頼った調査手法が主流であるが、コストが高いため、調査頻度が少なくなり、高度な分析が困難であるという問題がある。

本研究の目的は、多くのバスに既に設置されているドライブレコーダに着目し、そのカメラ映像を解析することで「人流情報」(どのバス停で乗車した人がどのバス停で降車したか)を自動的に把握する人流推定の手法を確立することである。

3. 研究の方法

本研究では、アルピコ交通(株)の協力の下、個人情報・プライバシー保護に配慮しながら、実際のバスで撮影されたカメラ映像を実験に使用した。図 1 に示すように、4 台のカメラが搭載されており、そのうち乗車口を撮影するカメラ と、降車口を撮影するカメラ を実験に使用した。

図 2 にドライブレコーダの映像解析の流れを示す：(S1)乗降口を写すカメラ映像から、乗車口・降車口付近に写っている人物を検出する、(S2)検出した人物を追跡することで、乗車・降車する人物を検出し人物画像列を抽出する、(S3)人物画像列から特徴量を抽出し、(S4)乗車口・降車口の人物画像のマッチング(対応づけ)を行うことで乗降区間を検出する、(S5)後処理として動作認識等の分析処理を実行する。

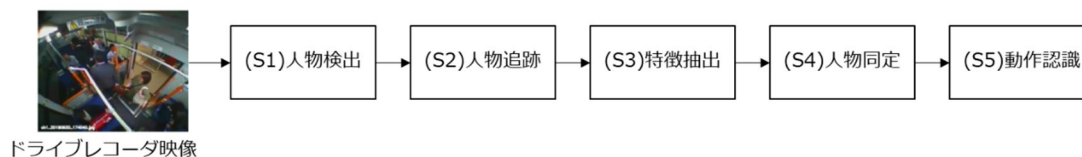


図 2 ドライブレコーダ映像解析処理の流れ

本研究では、乗車区間推定の精度向上に向けて以下のアプローチを検討した：

- (1) 人物姿勢推定と人物追跡の利用(S1, S2) ,
- (2) 偏相関係数を用いた類似度定義(S3) ,
- (3) 近赤外線を含むカラー画像の色調補正(S3) ,
- (4) バス車内特有の制約の利用(S4) .

さらに、映像解析の高度化を狙いとして、

- (5) 人物動作の時系列アライメント、弱教師付き Human-Object Interaction 検出(S5) についても検討した。

4. 研究成果

以下に研究成果の概要を報告する。

(1) 人物姿勢推定と人物追跡を用いた乗車区間推定

人物姿勢推定と人物追跡を用いた乗車区間推定法を開発した。図 3 に処理の流れを示す。大きく三つのステップ(i)乗降客検出, (ii)人物画像抽出, (iii)人物同定, から構成される:(i)物体検出器 Faster R-CNN を用いて映像中の人物を検出する。その人物を KCF 法(Kernelized Correlation Filter)により追跡していき, 予め設定した仮想ゲート(VG)を通過した時点で, 乗車または降車した人物(乗降客)として検出する。(ii)乗降客を検出したタイミングで, その追跡結果を基に人物画像列を生成する。(iii)畳み込みニューラルネットワーク ResNet を用いて人物特徴を抽出し, 乗降口付近の人物画像と降車口付近の人物画像の間の照合を行う。

ステップ(i)の乗降客検出の処理は, 図 3(a)に示すように, 乗車口付近に検出領域を設定しておき, そこを通過する人物を乗降客として検出する。このとき, 検出領域付近に立っている人や, バス後方から歩いてきて検出領域を横切る人を, 乗客と誤検出する問題があった。そこで, 本研究では, 人物姿勢推定技術 OpenPose を用いて画像から骨格情報を取得し, 乗客の体の向き(進行方向)を判定することで誤検出を低減している。

実際のバス車載カメラの映像を用いて乗車区間推定の精度を評価したところ, 人の認識精度に近い精度が得られている。

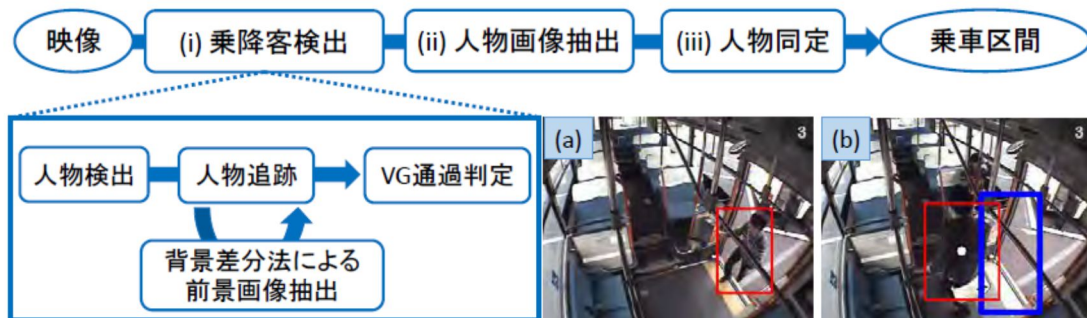


図 3 人物姿勢推定を用いた乗車人数推定

(2) 偏相関係数を用いた人物同定

図 2(S4)の人物同定ステップにおいて, 特徴量間の類似度は相関係数(Correlation Coefficients; CC)によって定義されることが多い。しかし, この方法には背景の影響により人物同定精度が低下する問題があった。そこで, 相関係数の代わりに偏相関係数(Partial Correlation Coefficients; PCC)を導入し特徴量間の共通要素の影響を除去する手法を提案した(図 4)。

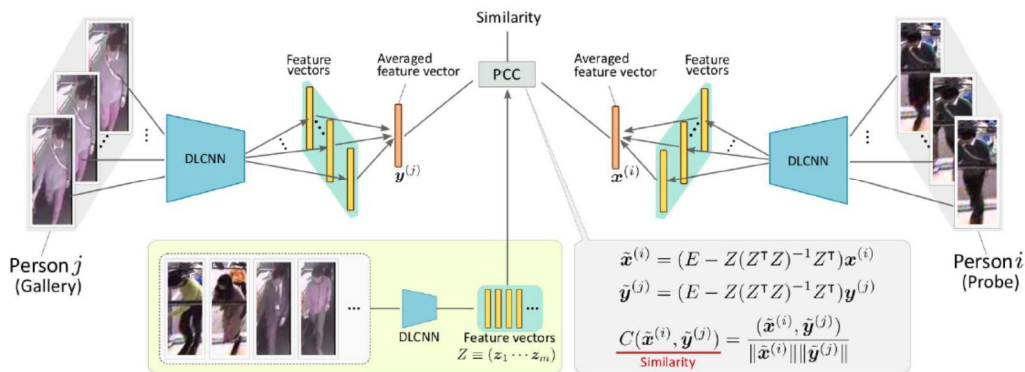


図 4 偏相関係数を用いた人物同定

(3) 近赤外線を含むカラー画像の色調補正

実験映像の撮影に使用したバスには、分光感度特性が異なる 2 種類のカメラ（可視光カメラと近赤外線カメラ）が搭載されている。近赤外線カメラは、防犯・監視用途で広く用いられており、一般的な可視光カメラでは除去される近赤外線 (NIR; Near Infrared) にも感度を有している。図 5 に示すように、可視光カメラと近赤外線カメラでは同一物体であっても色の見え方が大きく異なる。このように特性が異なるカメラ間で人物や物体の照合を行う場合に、色の見えの違いが照合精度低下の大きな原因となっていた。本研究では、色特徴を用いる物体照合の精度向上を目的として機械学習による色調補正手法を提案した。

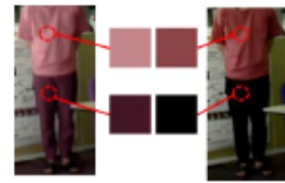


図 5 近赤外線カメラと可視光カメラの違いによって生ずる色の变化

(4) 2部グラフマッチングを用いたバス車内の人流推定

バス車載カメラは、一般的な人物同定のデータセットと比較して、撮影条件が悪く、画像特徴のみを用いた人物同定には限界がある。具体的には、解像度が低いこと、遮蔽や人物の姿勢により見えが大きく変化すること、上述したように異なる特性を持つカメラの存在などが悪影響を及ぼすことが明らかになった。この悪影響を低減し精度を向上させるため、乗車区間推定をバス 2 部グラフ最小重み完全マッチング問題として定式化し、バス固有の制約を用いることで、推定精度を向上させることに成功した。処理の流れを図 6 に示す。バス車内特有の制約としては、以下の三つを利用している（図 7）。

- (制約 1) 車両後部に進んだ人(back)は、車両後方から前方に進み(back front)、降車する。
- (制約 2) 車両後部から前方に歩いていく人(back front)は追跡終了から n 秒以内に降車する。
- (制約 3) 乗車口から乗った人は、乗車時刻以降に降車口から降車する。

図 8 に示すように、人物画像間の対応関係を表す二部グラフを構築しハンガリアン法により対応を求める。(制約 1) ~ (制約 3) を用いて二部グラフのエッジを削減することで、対応誤りを低減し精度を向上させた。

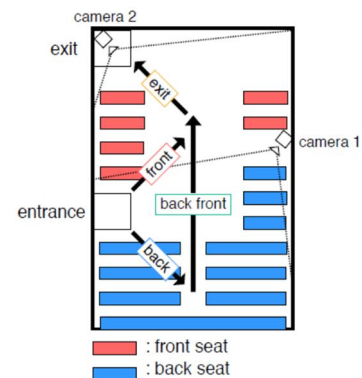
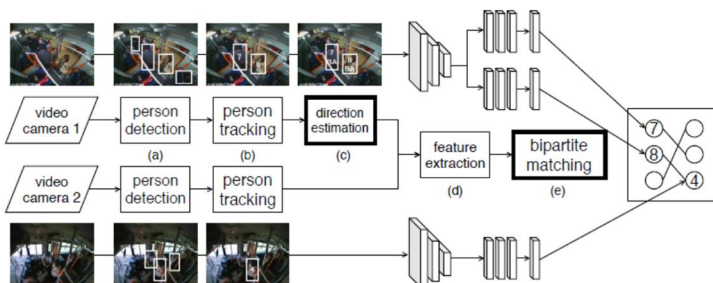


図 6 2部グラフマッチングを用いたバス車内の人流推定 図 7 バスの車内レイアウト

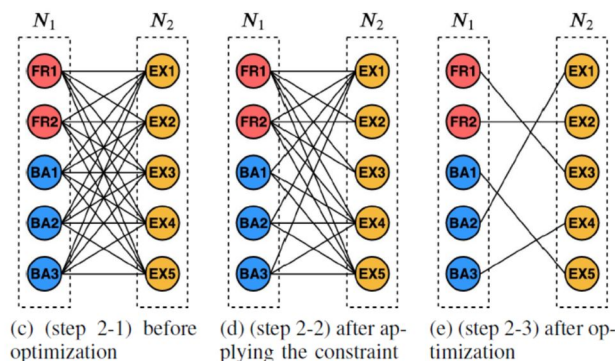


図 8 バス固有の制約を用いた 2 部グラフのエッジ削減

(5) 人物動作の時系列アライメント, 弱教師付き Human-Object Interaction 検出

バス車内における乗客の行動認識(歩行, 着席, 転倒, 衝突などの認識)の高度化に向けた基礎検討として, (i) 動画像を時間的に対応付ける時系列アライメント, (ii) 人物と物体の相互作用の検出(Human-Object Interaction Detection)について検討した. 第一ステップとして, (i) バス車載カメラ映像ではなく作業映像(図 9)を対象に, 同種の作業を実施している区間を時間的に対応付ける手法を検討している. (ii) 教師データ作成の手間とコストを低減するために, 弱教師付き学習に基づく Human-Object Interaction 検出法を提案した(図 10). 人物と物体の外接矩形を教師データとして与えることなく, 画像に含まれる動作の動作ラベルのみから Human-Object Interaction 検出を学習する.

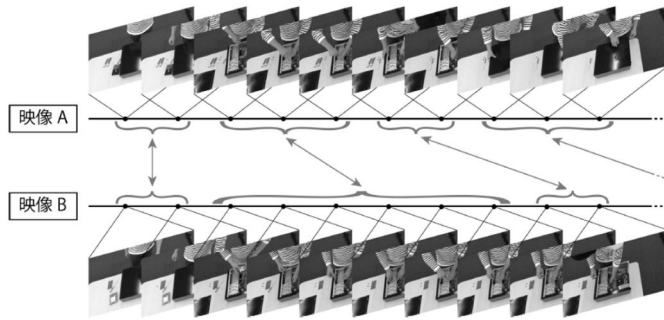


図 9 人物動作の時系列マッチング

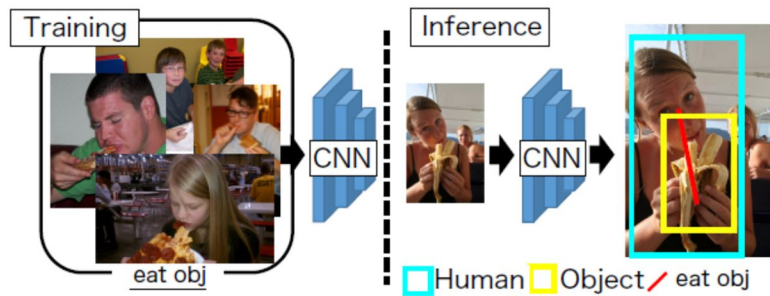


図 10 弱教師付き Human-Object Interaction 検出

以上のように, 本研究成果の多くは, バスドライブレコーダ映像解析の高精度化に関するものであるが, その中で創出された映像解析の手法や知見は他分野に展開可能であると考えている.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shunta Komatsu, Ryosuke Furuta, and Yukinobu Taniguchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Passenger Flow Estimation with Bipartite Matching on Bus Surveillance Cameras	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE 4th International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugimoto Masaki, Furuta Ryosuke, Taniguchi Yukinobu	4. 巻 5
2. 論文標題 Weakly-supervised Human-object Interaction Detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2021)	6. 最初と最後の頁 293-300
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5220/0010196802930300	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shimada Yutaka, Takagi Motoki, Taniguchi Yukinobu	4. 巻 -
2. 論文標題 Person Re-identification for Estimating Bus Passenger Flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)	6. 最初と最後の頁 169 - 174
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/MIPR.2019.00037	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 1件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Masaki Sugimoto, Ryosuke Furuta, and Yukinobu Taniguchi
2. 発表標題 Weakly-supervised Human-object Interaction Detection
3. 学会等名 International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shunta Komatsu, Ryosuke Furuta, and Yukinobu Taniguchi
2. 発表標題 Passenger Flow Estimation with Bipartite Matching on Bus Surveillance Cameras
3. 学会等名 IEEE 4th International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Suzuki, Yutaka Shimada, and Yukinobu Taniguchi
2. 発表標題 Human Pose Estimation and Motion Analysis for Estimating Bus Passenger Flows
3. 学会等名 The 6th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小松俊太, 古田諒佑, 谷口行信
2. 発表標題 バス車載カメラにおける2部グラフマッチングによる人流推定
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 寛, 古田 諒佑, 島田 裕, 谷口 行信
2. 発表標題 作業の順序一貫性を用いた作業映像の時間的アライメント
3. 学会等名 2019年度映像メディア処理シンポジウム (IMPS 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimada Yutaka, Takagi Motoki, Taniguchi Yukinobu
2. 発表標題 Person Re-identification for Estimating Bus Passenger Flow
3. 学会等名 2019 IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤寛, 谷口行信
2. 発表標題 CNN特徴を用いた作業映像の時間的アライメント
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木智裕, 島田裕, 谷口行信
2. 発表標題 骨格情報と人物追跡を用いたバス乗降客数カウント
3. 学会等名 第17回情報科学技術フォーラム(FIT 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮尾恵, 島田裕, 谷口行信
2. 発表標題 近赤外線を含むカラー画像のスーパーピクセル分割を用いた色調補正手法の提案
3. 学会等名 第17回情報科学技術フォーラム(FIT 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木基希, 島田裕, 谷口行信
2. 発表標題 偏相関係数を用いた教師なし人物同定手法の検討
3. 学会等名 2017年度映像情報メディア学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮尾恵, 島田裕, 谷口行信
2. 発表標題 着衣領域の認識に基づく近赤外線を含むカラー画像の色調補正
3. 学会等名 2017年度映像情報メディア学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taiki Sato, Yutaka Shimada, Yukinobu Taniguchi
2. 発表標題 Temporal Video Alignment Based on Integrating Multiple Features by Adaptive Weighting
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology 2018 (IWAIT2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤大己, 島田裕, 谷口行信
2. 発表標題 適応的重み付けによる複数特徴の統合に基づく作業映像の時間的アライメント
3. 学会等名 第20回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木智裕, 島田裕, 谷口行信
2. 発表標題 骨格検出を用いた乗車人数推定
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

谷口研究室ホームページ https://www.rs.tus.ac.jp/vml/research/index.html
--

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
研究分担者	島田 裕 (Shimada Yutaka) (50734414)	埼玉大学・理工学研究科・助教 (12401)	

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
---------	---------