

バス車載ドライブレコーダを用いた 背景差分法による乗降客数推定手法の評価

中島 颯人¹ 新井 イスマイル² 藤川 和利²

概要: 近年、路線バス事業は新規企業参入などの競争激化によって厳しい状況にある。そんな中で細かい粒度で取得可能な乗降客数のデータを活用した路線計画の見直しをしている事業者が増えている。しかし、赤外線センサや測域センサ、測定用 RGB カメラを用いた従来の手法では、導入コストが大きく厳しい経営状況にある事業者では導入することは難しい。また、交通系 IC カードの利用履歴を用いた乗降客数の割り出しは不可能ではないが、コストの問題で交通系 IC カードを導入していない場合も少なくない。交通系 IC カードを使わない乗降客をカウントすることができないという問題点もある。本研究では、現在標準装備されている機器や国土交通省の補助金によって比較的導入しやすい機器を用いた乗降客数の推定手法を検討した。その中でもバス車内にドライブレコーダに着目して試作を行った。ドライブレコーダの映像から OpenCV の機能である背景差分法を用いて動体を検出し、それらの輪郭検出を行ったあとにフレーム間の乗客の動きからカウントを行うことで実現を試みた。それらの手法を用いて神戸市内を運行する路線バスのドライブレコーダ映像データを用いて実証実験をおこなった。その結果、ある運行での乗車時の F 値は 0.65、降車時は 0.71 という精度を示すことができた。

Estimating Number of Passengers by Background Subtraction Using Images of Drive Recorder Inside Buses

HAYATO NAKASHIMA¹ ISMAIL ARAI² KAZUTOSHI FUJIKAWA²

1. はじめに

近年、地方都市を中心としたモータリゼーション、少子高齢化、日本の過疎化の進展により路線バス事業は厳しい経営環境にある。それらによって生じた赤字ルートは運用管理にかかる費用は、他のルートの黒字によって補償されている。しかし、新しい路線バス事業者の参入障壁の緩和などにより競争が増え、多くのバス会社は赤字路線を維持することができなくなっている。そこで路線計画を見直すため、多くの路線バス事業者は乗降客数の調査を行っている。埼玉のバス事業者であるイーグルバス株式会社では実際に乗降客数をカウントするセンサを設置し、それら

のデータから停留所の移動などの路線計画の改善に成功している [1]。停留所ごとの乗降客数数のデータは活用できる見込みが大きく、バス事業者にとっても需要があることがわかる。一方で利用客としても、乗車予定のバスの混雑度がわかるサービスに対しては一定の需要がある。神戸交通振興株式会社が提供しているバスロケーションシステムでは、スマートフォンアプリを使ってユーザにバス車内の混雑度を提供している [2]。

乗客をカウントするための従来の方法では、調査員によって手動で数えられている。調査員を雇い、路線バス車内に同乗させて手動で数えるという方法である。この方法の問題点は調査員を雇うことに対してのコストである。1日の乗降車数を調査するだけでもコストがかかる上に毎日調査員を雇うことができないため、情報が少なくなってしまう。一般的に、1年に1日または2日のデータしか収集できないため、これでは病院訪問や買い物等の毎日着実に行われていない生活交通に対する実際の乗客数を正確に把

¹ 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

² 奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター
Information Initiative Center, Nara Institute of Science and Technology

握することは困難である。交通系 IC カードの利用履歴を用いた乗降車数の割り出しは不可能ではない。しかし赤字路線を複数かかえている経営状態が厳しい路線バス事業者は、そもそも交通系 IC カードを導入していない場合が多いため使うことができない。また、交通系 IC カードを使わない乗降客をカウントすることが難しいという問題点も存在する。

一方で近年、バス車内にはさまざまな装置が搭載されている。国土交通省は 2016 年に発生した軽井沢スキーバス転落事故を受け、貸切バスの輸送の安全確保のための「ハード面での安全対策の強化」として「ドライブレコーダによる映像の記録・保存」「ドライブレコーダの映像記録を活用した指導・監督」を義務付けている [3]。路線バスにおいても国土交通省から補助金を提供する形で導入が進められており [4]、今後も一層普及していくとされている。多くの場合は、一般的な交通事故の調査・分析に用いる外向けカメラと車内転倒やトラブルの調査に用いられる内向けカメラが搭載されている。また、デジタルタコグラフと呼ばれる運行記録計も補助金という形で導入が進められている [4]。デジタルタコグラフは、車両の運行にかかる速度・時間等を自動的にメモリーカード等に記録する装置であり、事務所の読み取り装置でメモリーカード等を解析することでドライバーが法定速度、休憩時間などを遵守しているかを容易に確認することができる。

本研究では、ドライブレコーダの映像からデジタルタコグラフ上で画像処理を行って乗降客数をカウントし、リアルタイムで送信するシステムの実現を目指す。OpenCV に同梱されている背景差分法を用いて動体を検出し、動画フレーム間での動きを認識させてカウントする手法を提案する。そして提案手法を評価するために、実際に運行しているバス会社で実証実験を行った。提案手法で算出した乗降客数と目視で確認した実際の乗降客数を用いて適合率、再現率、F 値を求めた。運行ごとの結果は、F 値の最大は 0.71、そのときの適合率は 0.64、再現率は 0.79 の精度であることが分かった。

2. 既存技術および課題

2.1 既存技術

イーグルバスでは実際に乗降客数をカウントするセンサを設置し、停留所ごとの乗降客数などのデータから停留所の移動などの路線計画の改善に成功している。従来イーグルバスでは、運転手の経験と勘を頼りに運行されており、データを用いた路線計画の策定はあまりされてこなかった。そこでイーグルバスはバス車内に赤外線乗降センサを設置し、停留所ごとの乗車人数や停留所間の乗車人数（乗客密度）、路線上での位置や運行にかかっている時間を把握できるようにした。そうしたデータから顧客が誰も利用していない運行区間などをグラフ化し、運行ダイヤの最適化を

図った。赤外線乗降センサで取得したデータからかかるコストを判断する単位を「1 台」や「1 ダイヤ（運行）」から「1 分」や「1 キロ」の走行あたりに変更した。これにより 1 ダイヤの中であっても「どの区間が赤字なのか」を浮き彫りにすることができる。

神戸交通振興株式会社が提供しているバスロケーションシステムでは、バス車内の混雑度を提供している [2]。利用者はスマートフォンアプリを利用することによって、乗車予定のバスの混雑度を Crowded、Normal、Vacant の 3 つの段階で取得することができる。

2.2 既存技術の課題

現在自動で乗降客をカウントする方法として、乗降口の天井に専用のカメラを設置して高精度なカウントを行う手法が提案されている [5]。この文献ではキャプチャしたフレームを多数のブロックに分割し、それらを動きベクトルに従って分類する。それらの類似動きベクトルのブロック料がしきい値以上なら同じ移動体として扱い、バスの乗降車としてカウントを行っている。また、赤外線センサによる屋内通路における通行者人数の推定への取り組みを存在する [7]。天井に設置された赤外線センサを用いた実験では、95%の精度で通行した人の数を計測できることを示している。そして、測域センサを利用した乗降車数計測手法も提案されている。測域センサは広範囲にわたり物体までの距離データ（点群）を取得することができる。一般的に測域センサは大量の点群を生成するため高精度な計算機による解析が必要になるが、計算量を削減し安価なシングルボードコンピュータでの動作も実現している [8]。

しかし、この手法にはカウント専用のカメラやセンサを用いているためコストがかかる。例えば民間企業で提供されている Bus Go! というサービスは、バス 1 台ごとに毎月課金が発生する [6]。そのため、経営状況が厳しいバス事業では、導入することが難しい。

2.3 本研究の位置づけ

本研究は、車内に取り付けられたドライブレコーダを用いて乗降車数の推定を行う。既存のドライブレコーダを用いることで推定にかかるコストを少なく抑えることができる。またドライブレコーダの映像解析をデジタルタコグラフで行って人数のみを送信することによって、プライバシーの確保やデータ通信量の削減が可能である。

3. 提案手法

3.1 バス車内の装備

将来、搭載を前提にできる装備は以下の通りである。

- 標準装備
 - － ドアの開閉状態がわかる装置
 - － ドア開閉時の安全確保のためのドア付近に人がいる

か確認する接近センサ

- 1日の売上がわかる運賃箱
- 政府の補助金で導入できる装置
- ドライブレコーダ
- デジタルタコグラフ

標準装備として搭載されているドアの開閉スイッチの信号を用いることで開閉状態を取得することができる。また、開閉時に乗客が誤って挟まれないようにドア付近に人がいるかを確認する近接センサが取り付けられている。このセンサを用いることでどのタイミングでドア付近に乗客が滞在したかを把握することができるため、乗降客数のカウントへの応用が期待できる。これらの他に運転席の隣の支払機に運賃箱が設置されている。この運賃箱は一般的に業務終了後に回収を行い、そのときにその日の売上を確認する用途で利用される。運賃箱単体では得られる乗降客数は1日単位となってしまう、情報の粒度が小さいため他のデータと組み合わせる必要がある。

一般にバスに搭載されているドライブレコーダの映像は主に4チャンネルのフルHDとして保存され、車内向けや車外向けに2つずつ記録されている。つまり、各カメラの映像は960px × 540pxの解像度で記録されている。例として筆者らの共同研究先である神戸市のバス事業者のみなど観光バス株式会社が運行中に撮影した映像を図1に示す。^{*1}このドライブレコーダは、事故発生時の安全管理と分析のために設置されている。このカメラ映像を利用して乗客数を推定することは可能であるが、乗客の顔が映っている映像を使用する場合には、プライバシーについて憂慮する必要がある。そのため、これらを使用する場合にシステムは乗客の数だけでなく匿名化された情報を出力する必要がある。またデジタルタコグラフは、車両の状態を数値化して記録している。みなど観光バス内製のデジタルタコグラフでは、以下の情報が記録されている。

- GPSユニットによる車両位置・方位
- 車速
- エンジン回転数
- 総走行距離
- 車内の気温、湿度、気圧
- VOC
- 二酸化炭素濃度
- ブレーキ、ウインカー、ライト、ワイパーの状態
- 前後扉の状態
- 燃料の量

これらの情報はデジタルタコグラフより0.5秒間隔でクラウドサービスへ送信されている。そのデジタルタコグラフはLinuxが搭載されており、新たにアプリケーションを追加して動作されることも比較的難しくない。経営が厳しい

^{*1} この映像は、バス利用者に対するオプトアウト手続きにより取得した映像である。



図 1: ドライブレコーダの映像

路線バス事業者では乗降客数をカウントするためだけに新たに装置を導入することは難しいため、これらの装置を積極的に活用して低コストで実現する必要がある。

3.2 システム概要

本研究では、ドライブレコーダの映像からデジタルタコグラフ上で画像処理を行って乗降客数をカウントし、リアルタイムで送信するシステムの実現を目指す。提案するシステム概要を図2に示す。はじめにドライブレコーダで撮影した映像データはデジタルタコグラフに読み込まれる。次にデジタルタコグラフはその映像から、3.3節で後述する手法で画像処理を行って乗車した人数と降車した人数を推定する。その後データベースを経由して、路線バス事業者の運行管理者や利用者へ乗降客数を提供する。運行管理者は、それらのデータを用いて路線計画の改善に取り組む。この提案には3つの利点がある。

- エッジコンピューティングアーキテクチャを採用してプライバシー保護とリアルタイム互換性を実現
- 既存のデジタルタコグラフを使用するため、通信機器や画像処理リソースを新たに追加する必要がない
- 既存のドライブレコーダを使用するため、専用のセンシング機器を新たに設置する必要がない

今回、本研究で扱う映像はすべて前扉からの乗降客が撮影された映像である。

3.3 カウント手法

OpenCVを用いたカウント手法を以下に示す。基本的に各フレームごとに現フレームと前フレームを比較して処理を行っていく。

- (1) 動体検知
- (2) 対象物の輪郭検出
- (3) フレーム間の同一人物探索
- (4) カウント

ここでは例として、ある映像中のある前フレームと現フ

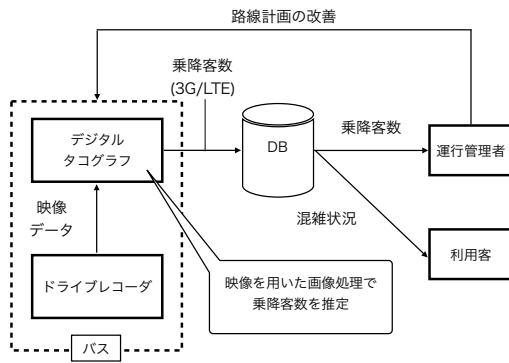


図 2: システム概要

レーンを図 3 に挙げて詳細を述べる。

3.3.1 動体検知

まず処理を軽くするため、図 4 のように各フレームのグレースケール化を行う。次にノイズを減らすために図 5 のようにグレースケール化した画像に対してガウシアンぼかしを適用する。その後、k 近傍法を用いた背景差分法で動体の検知を行う。そのときの結果を図 6 に示す。

3.3.2 対象物の輪郭検出

最初に輪郭を検出しやすいように画像の 2 値化を行う。そのときの結果を図 7 に示す。次に図 8 のように膨張・収縮処理を行い、ある程度画素をまとめる。そして find-Contours 関数を用いて、図 9 のように輪郭を抽出する。このとき人物に穴が空いている等の現象は起こりえないため、抽出モードは RETR_EXTERNAL (最も外側の輪郭のみを抽出するモード) とした。また、近似モードはデジタルタコグラフの少ないリソースでも実行できるように CHAIN_APPROX_SIMPLE とした。その後、図 10 の緑枠のように輪郭を長方形へ近似した。また、図 10 の赤い点のように長方形の重心の算出も行う。

3.3.3 フレーム間の同一人物探索

フレーム間で乗客の移動を認識するためには、それぞれのフレームで認識した動体が同一人物かどうかを判定する必要がある。それによってその動体の移動方向等の認識を行う。現フレームの動体の重心の点群を P 、前フレームの動体の重心の点群を Q とする。また、現フレームで検出した動体の数を N 、前フレームで検出した動体の数を M とする。

$$P = \{p_i = (x_i, y_i) | i \in \mathbb{Z} \cap [0, N)\} \quad (1)$$

$$Q = \{q_j = (x_j, y_j) | j \in \mathbb{Z} \cap [0, M)\} \quad (2)$$

このとき、現フレームの重心点 p_i と同一人物である重心点を Q よりそれぞれ探索する。まず Q より現フレームの重心点 p_i とユークリッド距離が 1 番近い q_j を選択する。その点が点 p_i が属する長方形輪郭の範囲の中にあれば、重



(a) 前フレーム

(b) 現フレーム

図 3: フレーム例



(a) 前フレーム

(b) 現フレーム

図 4: グレースケール化のフレーム例



(a) 前フレーム

(b) 現フレーム

図 5: ガウシアンぼかしを適用したフレーム例

心点 p_i と q_j は同一人物の重心点だと判定する。長方形輪郭は、歩行者の手が大きく振られていないとすると身長と両足の位置（歩幅）によって決まる。一般的なドライブレコーダのフレームレートである 30fps で 1 フレームで人間が半歩以上移動することができないため、判定条件としては十分だと考えた。

3.3.4 カウント

カウント処理では、まず図 10 の青線のようにボーダーラインを設定する。この線を超えるかどうかを基準にして乗降のカウントを行う。このボーダーラインは車両や画角によって異なるため、任意に指定できるようにする。次に 3.3.3 項で判定した前フレームと現フレームの重心点を線で結び、その線分がボーダーラインと交差したらカウントを行う。このとき、現フレームの重心点がボーダーラインの左右どちらにあるかで乗車カウントと降車カウントの判定を行う。最後に乗車人数、降車人数の順に推定結果を各フレーム上に描画する。

4. 評価・結果

4.1 評価方法

みなと観光バス株式会社が運営する六甲アイランド～芦



(a) 前フレーム (b) 現フレーム

図 6: 背景差分法を適用したフレーム例



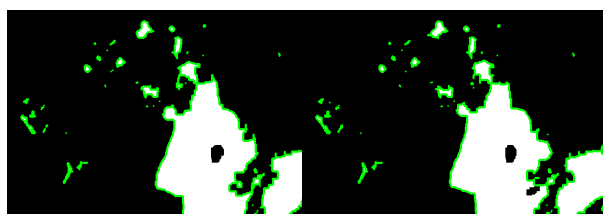
(a) 前フレーム (b) 現フレーム

図 7: 2 値化フィルタを適用したフレーム例



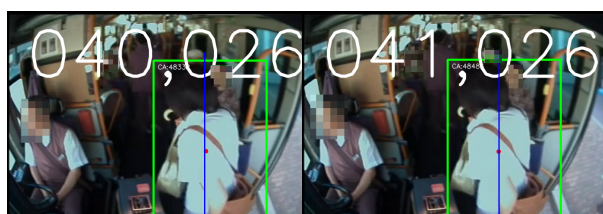
(a) 前フレーム (b) 現フレーム

図 8: 膨張・収縮処理をしたフレーム例



(a) 前フレーム (b) 現フレーム

図 9: 輪郭抽出をしたフレーム例



(a) 前フレーム (b) 現フレーム

図 10: カウントを行っているときのフレーム例

屋便にて実証実験を行い、提案方式に対する評価を実施した。この便はすべて前扉から乗降する便で、3 運行分のデータに対して評価を行う。日時は以下の通りである。

- 運行 A: 2018 年 5 月 12 日 07:40～08:27

- 運行 B: 2018 年 5 月 12 日 09:50～10:35
- 運行 C: 2018 年 5 月 12 日 11:50～12:36

また、それぞれの運行の各停留所での乗降客数を表 1 に示す。これらの映像を元に提案システムで推定人数を映像上に描画し、推定人数を精度が正しいかを目視で確認を行った。

4.2 評価結果

推定人数、適合率、再現率、F 値を表 2 に示す。全体の傾向として再現率は高めにでているが、適合率が低くなってしまっている。この原因として、ボーダーライン付近で立ち止まる乗客が多かったためである。図 10 のように扉から運賃箱の距離が近く、結果としてボーダーラインと運賃箱の距離が近くなってしまったため、1 人に対して複数回カウントしてしまって適合率が低くなったと考えられる。

また、運行 A よりも B や C の方が F 値が低くなってしまっているが目立つ。これは日射量に関係していることが分かった。運行 B や C では、バスの扉を開けたときに差し込む光の変化を認識してしまうことが多かった。一方で運行 A は朝方の時間帯であるため、日差しが強くなく、ドアを開閉しても光の変化の誤認識は少なかった。それだけではなくドライブレコーダの仕様として被写体の明るさによって露出が自動的に変化するようにになっているのも誤差の原因になっている。明るさが急激に変化するため、映像全体が背景差分法によって変化すると認識してしまう。これによって精度が大きく異なる結果になってしまったと考えられる。

5. おわりに

本研究では、将来路線バスに標準搭載されるであろう装置の中からドライブレコーダの映像を用いて、各停留所ごとの乗降客数の推定を行った。OpenCV の機能である背景差分法を用いて動体を検出し、それらの輪郭検出を行った後にフレーム間の乗客の動きからカウントを行うことを検証した。また、実際に運行している路線バスのドライブレコーダ映像を用いて 3 回の運行に対して実証実験を行った結果、ある運行での乗車時の F 値は 0.65、降車時は 0.71 という精度だった。それらの精度にまだ改善の余地はあるが、本手法は追加でのセンサや装置の導入を必要としないという点で他の手法より優れており、多数の路線バス事業者への導入が期待できる。今後の課題としては、ドア開閉時の日差しの影響を受けない補正手法を構築することが挙げられる。提案手法ではドライブレコーダの映像のみを用いていたが、標準搭載されるであろう装置のうち、利用価値のあるものも多くある。それらについても現在検討している。また、ドライブレコーダの設置位置は、精度に大きく影響していることもわかった。現在みなと観光バスでは 3 種類のドライブレコーダが稼働しており、その設置位置

表 1: 各停留所の乗降客数

停留所	運行 A		運行 B		運行 C	
	乗車	降車	乗車	降車	乗車	降車
JR 芦屋駅北側	1	0			1	
西芦屋町						
三条南町					2	1
森北町 1 丁目	0	1				
美容室 SORA	2	0			1	
本山北町 2 丁目	1		1		2	
阪急岡本駅南側	5				6	
西岡本 1 丁目	2					
室ノ内				1		
阪急御影駅南	12	1	2		4	
御影中町 3 丁目	4		1		2	1
阪神御影駅南	6		2		5	
御影本町 3 丁目	4		1		1	1
ウエストコート 3 番街前	1	7				1
神戸ファッションマーケット前		9				14
神戸女子学生会館前		3		1		1
向洋町中 8 丁目		1				5
マリナーパーク公園前		6		2		
六甲アイランド高校前		3				
六甲アイランド病院前		6		3		
アジアワンセンター		1				
合計	38	38	7	7	24	24

表 2: 推定結果

運行	乗車人数					降車人数				
	実際の人数	推定人数	適合率	再現率	F 値	実際の人数	推定人数	適合率	再現率	F 値
運行 A	38	57	0.54	0.82	0.65	38	47	0.64	0.79	0.71
運行 B	7	2	1.00	0.29	0.44	7	6	0.67	0.57	0.62
運行 C	24	19	0.74	0.58	0.65	24	48	0.42	0.83	0.56

や画角はすべて異なるものだった。本論文では同一位置に設置された 1 種類のドライブレコーダのみでしか評価を行っておらず、さまざまな設置位置での評価も必要になる。さらに、機械学習などを用いた最新の画像処理手法についても調査を行っていきたい。

謝辞 本研究を進めるにあたり、実証実験にご協力いただきましたみなと観光バス株式会社にお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 日経 BigData: イーグルバスがセンサー活用で赤字路線を再生、1 分・1 キロ単位で収支を改善, 日経 BigData(オンライン), 入手先 <http://business.nikkeibp.co.jp/article/bigdata/20140217/259878> (参照 2018-05-06)
- [2] 神戸市: 日本初! バス車内の混雑状況に対応したバスロケーションシステムの提供を開始, 神戸市(オンライン), 入手先 <http://www.city.kobe.lg.jp/information/press/2016/04/20160428142001.html> (参照 2018-05-06)
- [3] 国土交通省: 軽井沢スキーバス事故を受けた対策について, 国土交通省(オンライン), 入手先 http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha.tk2_000050.html (参照 2018-05-11)
- [4] 国土交通省: 運行管理の高度化に対する支援, 国土交通省(オンライン), 入手先 <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/subcontents/jikoboushi1.html> (参照 2018-05-11)
- [5] Chao-Ho Chen et al.: *People Counting System for Getting In/Out of a Bus Based on Video Processing*, Intelligent Systems Design and Applications, pp.565-569, Nov, 2008
- [6] バスロケーションシステム Bus GO!, 有限会社エイ・ケイ・システム(オンライン), 入手先 <http://info.bus-go.com/> (参照 2018-05-06)
- [7] Gwang-Gook Lee, Hyeong-ki Kim and Ja-Young Yoon.: *Pedestrian Counting Using an IR Line Laser*, Convergence and Hybrid Information Technology, 2008. ICHIT '08. International Conference on, pp. 482-485, 2008
- [8] 山田遊馬, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫: 測域センサを利用した高精度な路線バス乗降計測システム, 第 25 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.24-32, 2008