

## 骨格情報と人物追跡を用いたバス乗降客数カウント

Counting the Number of Passengers on Buses Using Human Skeleton Information and Person Tracking

鈴木智裕<sup>†</sup> 島田裕<sup>††</sup> 谷口行信<sup>†</sup>  
Tomohiro Suzuki Yutaka Shimada Yukinobu Taniguchi

## 1 はじめに

バス会社では、バス停ごとの乗降客数などのデータに基づいてバスの運行計画を策定する。しかし現状は、調査員がバスに乗り込んで目視で乗降客数を調べているため、多大な人的コストを要している。人的コストを減らすために、運賃や交通系 IC カードの情報から乗降客数を逆算する方法も挙げられるが、運賃を支払う必要のない定期券やフリーパスの利用者を正確に把握することができない。また、人検出を行うために赤外線センサを用いる方法も考えられるが、赤外線センサの設置や維持にはコストがかかる。以上の理由から、既存の車載カメラの映像から機械的に乗降客数を把握する試みは、コスト削減や迅速な利用状況把握という点で重要である。本稿では、バス車内に設置された車載カメラ映像から自動的に乗降客数をカウントする手法を提案する。具体的には、深層学習を用いて推定した骨格情報と、背景差分法による前景抽出結果の両方を用いて、人物位置と進行方向を推定し、カーネル相関フィルタ (KCF[1]) を用いて人物追跡を行うことで、乗車・降車する人と車内に留まる人を高い精度で判別する。

## 2 従来手法

監視カメラ映像からの人数カウント手法として、背景差分に基づく人検出と人物追跡を用いた Liu ら [2] の手法がある。Liu らの手法では、監視カメラ映像内に人を検出する領域 (検出領域) と仮想のゲート (VG: Virtual Gate) を定義する。検出領域に進入してきた人を背景差分で検出し、追跡する。追跡中の人物の外接矩形が VG を通過した時に人数をカウントする。また、Li ら [3] は、通路に設置された監視カメラ映像を対象として、Faster R-CNN[4] による人検出と、KCF による人物追跡を組み合わせることで、フレーム画像内に含まれる人の数を推定する手法を提案している。Li らの手法は遮蔽物が比較的少ない大通りなどの映像を対象としており、閉鎖空間で遮蔽物の多いバス車内の映像の人検出には適切ではない。また、KCF は追跡中も追跡対象の学習を行うため、人物の領域以外の背景領域を誤って学習することで、背景を追跡してしまう (背景追跡) 問題がある。

## 3 提案手法

本研究では、人物の姿勢から進行方向を推定することで、乗車・降車する人と車内に留まる人を判別し乗降客数を自動カウントする手法を提案する。提案手法の処理の流れを図 1 に示す。

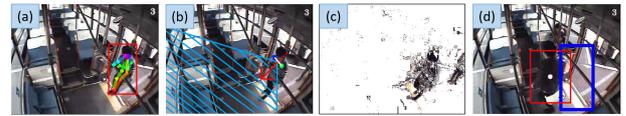


図 1 提案手法の流れ。(a) 姿勢推定によって検出された人物の骨格と外接矩形の例、(b) 乗車時の進行方向推定の例、(c) 背景差分法によって得られた前景画像の例、(d) 追跡中の人物が VG を通過した時の画像の例

検出領域と VG を図 2 のように定義する。図 1 中の各項目の詳細を以下に示す。

**人検出:** 人物姿勢推定技術 OpenPose[5] を用いて、検出領域に進入した人物の骨格を検出する。OpenPose では、人物の鼻、首、左右の肩、腕、手首、腰、膝、足首、目、耳の座標を検出して各座標点を結ぶことで人物の骨格 (骨格情報) を推定する。本手法では、検出した骨格の外接矩形 (図 1(a) の赤枠) をその人物の外接矩形とする。人物の外接矩形の中心座標が、すでに追跡している人物 (追跡対象者) の外接矩形内に存在しない場合、その人物を新たな乗客として追跡する。一方で、追跡対象者の外接矩形内に中心座標が存在する場合、同一人物とみなす。



図 2 乗車カメラの検出領域 (斜線部分) と VG (白線)

**骨格情報を用いた進行方向推定:** 人検出フェーズで検出された人物の骨格情報 (右肩、左肩の位置) から進行方向を推定する (図 1(b) の赤色の矢印)。右肩と左肩を結ぶ線分の垂直二等分線と両肩の位置関係から人物の正面方向を求め、正面の方向を進行方向と推定する。推定した進行方向が図 1(b) の青色領域に含まれる場合、その人物は追跡対象者のままとする。一方で、青色領域に含まれない場合、その人物は追跡対象者から除外する。この処理を行うことで、バス車内の混雑などにより検出領域内で立ち止まる乗客を誤って追跡しないようにする。

**背景差分法による前景領域抽出:** 背景差分法を使って、 $n$  番目のフレーム画像  $H_n (n \geq 2)$  から背景画像  $B_n$  を求める。 $H_n, B_n$  の第  $(x, y)$  画素をそれぞれ  $H_n(x, y), B_n(x, y)$  とし、 $B_n$  を以下の式で順次更新する:

$$B_n(x, y) = \alpha B_{n-1}(x, y) + (1 - \alpha) H_{n-1}(x, y). \quad (1)$$

ここで、 $B_1(x, y) = H_1(x, y)$ ,  $0 < \alpha < 1$  とする。次に (1) 式で得られた背景画像  $B_n(x, y)$  とフレーム画像

<sup>†</sup>東京理科大学大学院工学研究科経営工学専攻  
Department of Business Engineering, Graduate School of Engineering, Tokyo University of Science

<sup>††</sup>埼玉大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

$H_n(x, y)$  の差の絶対値  $|H_n(x, y) - B_n(x, y)| < \beta$  を満たす場合、 $H_n(x, y)$  を背景領域と判断し、白色で塗ることで前景画像 (図1(c)) を取得する。ここで、 $\beta$  は閾値である。

**人物追跡:** 人検出および進行方向推定によって推定した追跡対象者を KCF で追跡する。この時、追跡精度を上げるため、背景差分法によって得られた前景画像を KCF の入力とする。前景画像のみを KCF に入力することで、KCF が学習に利用する特徴を前景のみから抽出するように制限し、追跡中の背景追跡を回避する。

**VG 通過判定:** 追跡中の人物の外接矩形の中心座標が VG を通過した際、乗車・降車したと判断し、人数カウントを行う。

#### 4 実験方法

実際のバスの車載カメラ映像 (提供: アルピコ交通 (株)) を用いて実験を行った。映像のフレームレートは 20fps, 解像度は  $320 \times 240$  ピクセルである。実験では、乗車口と降車口の両方でそれぞれ乗降客数カウントを行った。総乗降客数は 122 人である。提案手法から進行方向推定を除いたものを従来手法とし、提案手法との精度を比較した。背景差分法で前景領域を抽出する際のパラメータ  $\alpha = 0.81, \beta = 5$  とした。乗車カメラにおける VG と検出領域を図2, 進行方向推定の正解方向を図1(b) の青色領域とする。また、降車カメラにおける VG と検出領域を図3, 進行方向推定の正解方向を図4の青色領域とする。青色領域は経験によって定めた。評価指標として、再現率, 適合率,  $F$  値を用いた。再現率  $R$ , 適合率  $P$ ,  $F$  値は以下のように定義する:

$$R = \frac{T_p}{T_p + T_n}, P = \frac{T_p}{T_p + F_p}, F \text{ 値} = \frac{2PR}{P + R}. \quad (2)$$

ここで、人数のカウントに成功した人の数を  $T_p$ , カウントに失敗した人の数を  $T_n$ , 乗車・降車していない人を誤って人数としてカウントした数を  $F_p$  とする。正解の乗車・降車人数は目視で確認した。

#### 5 実験結果・考察

図5と図6に実験結果を示す。

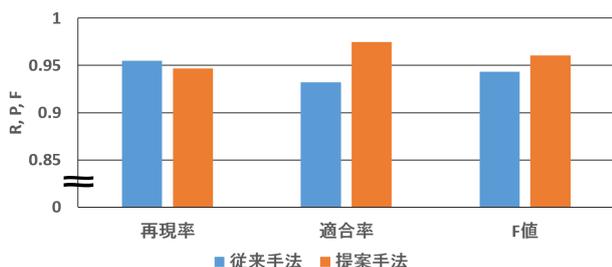


図5 従来手法と提案手法の精度の比較



図6 重複カウントの原因となる立ち止まる人を検出できた例



(a) 追跡対象者が後続の人に入れ替わることによる検出もれ



(b) 急な進行方向の変化による検出もれ

図7 人数カウントに失敗した例

図5より、進行方向推定を導入することで適合率が向上したことが分かる。これは、重複カウントの原因となる立ち止まっている人の追跡 (図6) を減らすことができたからである。一方で、再現率が低下している。これは、図7に示すように、(a) 追跡中の人物の後ろから別の人物が現れることで、追跡対象の人物が別の人物と入れ替わり検出もれが生じる問題、(b) 急な進行方向の変化に対応できず検出もれが生じる問題があった。これらの問題を解決するためには、VG の設置位置の再検討が必要である。再現率が低下したものの、適合率に改善が見られたため、 $F$  値は従来法よりも高い数値となった。このことから、進行方向推定を導入した本手法は、バスの乗降客数カウントに有効であると考えられる。

#### 6 おわりに

本研究では、バスの乗降客数の自動カウントを目的とし、検出した人物の進行方向を考慮した人数カウント手法を提案した。実映像を用いた実験より、提案手法は適合率の向上と人数カウントの精度向上に有効であることを示した。

実験に協力いただいたアルピコ交通 (株) に感謝します。本研究は JSPS 科研費 17K06608 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] J. Henriques et al., "High-speed tracking with kernelized correlation filters," IEEE TPAMI, pp. 583–596, 2015.
- [2] X. Liu et al., "Detecting and counting people in surveillance applications," IEEE AVSS, pp. 306–311, 2005.
- [3] Z. Li et al., "Deep people counting with faster R-CNN and correlation tracking," ICIMCS, pp. 57–60, 2016.
- [4] S. Ren et al., "Faster R-CNN: toward real-time object detection with region proposal," NIPS, pp. 91–99, 2015.
- [5] Z. Cao et al., "Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields," CVPR, pp. 7291–7299, 2017.