

## 他車両からの観測結果を事前知識とした車載カメラ映像中の人物再検出

川西 康友<sup>†</sup>(正会員) 出口 大輔<sup>††</sup> 井手 一郎<sup>†</sup> 村瀬 洋<sup>†</sup><sup>†</sup>名古屋大学 大学院情報学研究科, <sup>††</sup>名古屋大学 情報連携統括本部Person Re-Detection from an In-Vehicle Camera Video  
Referring to Observations from Other VehiclesYasutomo KAWANISHI<sup>†</sup>(Member), Daisuke DEGUCHI<sup>††</sup>, Ichiro IDE<sup>†</sup>, Hiroshi MURASE<sup>†</sup><sup>†</sup>Graduate School of Informatics, Nagoya University, <sup>††</sup>Information Strategy Office, Nagoya University

あらまし 本稿では、過去に別途検出されたことがある人物について、検出した時に得た知識を事前知識として利用することで、その人物を再び検出する際に精度よく検出する「人物再検出」という概念を提案する。また、この概念を車載カメラ映像中の人物検出に適用する方法を示す。本研究では自車がある地点で人物の検出をする際、自車より前にその人物の近くを通過した他車が、先にその場所の近くでその人物を検出している可能性が高いことに着目し、他車による観測を事前知識として人物再検出を行なう。実験により、独自に収集したデータセットを用いた評価において、事前知識を用いることで大きく検出性能が向上することを示す。

キーワード：人物再検出，歩行者検出，車載カメラ

<Summary> In this paper, we propose the concept of “Person Re-detection”, which is a person detection method based on prior knowledge of each detection target. We also introduce an implementation of the concept for the task of distant person detection from in-vehicle camera video. We focus on the fact that some other vehicles around the own vehicle can observe and detect people before the own vehicle observes them. By sharing images of the detected people among the vehicles, the own vehicle can use them as prior knowledge for detecting them. Results of applying the proposed method to a dataset obtained by an in-vehicle camera demonstrate that the accuracy of person detection can be significantly improved based on prior knowledge of the people to be detected.

**Keywords:** person re-detection, person detection, in-vehicle camera

## 1. はじめに

歩行者が巻き込まれる交通事故を防ぐためには、自動車はできるだけ早く歩行者を発見し、衝突を避ける行動を取らなければならない。しかし、遠方にいる歩行者は小さく観測されるため、見落とししやすい。このような見落としを防ぐため、車載カメラを用いた人物検出の研究が盛んに行なわれている。

一方、近年、自動車に通信装置の搭載も進んでいる。これを利用してインターネットに接続することで、人物検出結果を共有して歩行者の位置を他車に伝えることができる<sup>1)</sup>。しかし、自動車や歩行者は移動するため、ある歩行者がどの自動車にも観測されなくなった場合、改めて各車でその人物を検出する必要がある。本研究では、近傍の車両同士の通信(車車間通信)機能を備えた自動車を対象とし、車車間通信を利

用した人物検出を考える。

一般に、検出対象に関して何も事前知識がない場合に対し、事前知識が与えられている場合は、事前知識の分だけ情報が多いため、認識は容易になる。もし検出すべき歩行者に対する事前知識が与えられれば、検出が困難な遠方にいる歩行者についても、検出が容易になると考えられる。従来的人物検出は、観測時に得られる情報のみをもとに検出を行っていたのに対し、本稿では、この「対象に関する事前知識を手がかりとした検出」の概念を提案する。以降「人物再検出(Person Re-detection)」と呼ぶ。

本研究では、この人物再検出を、車車間通信機能を備えた自動車における車載カメラ映像中の人物検出に応用する。ここでは、自車がある地点を走行する数秒～数分前に、その付近を通過した他車が、その周辺にいる人物を先に検出してい

る状況を考える．一般に，自車がその地点の手前でその人物を観測するまでの間に，その人物は移動するが，短時間であれば，その場所周辺にいる可能性が高い．このことに着目し，他車による観測を事前知識として人物再検出を行なう．例えば，前方車両による検出により，その場所に制服を着た学生がいることがわかれば，それを事前知識として制服を着た学生に人物検出器を一時的に特化させることで，その周辺では制服を着た学生を見落としにくい検出が行なえる．

以降では，まず，2章で，事前知識を手がかりとした検出手法である，人物再検出の概念について述べる．次に，3章では，車車間通信を利用した車載カメラ映像中の人物検出へこの概念を応用する方法について述べる．そして，4章では，独自に撮影したデータセット上で，提案する人物再検出の有効性を評価した結果を報告する．最後に，5章で本論文をまとめる．

## 2. 人物再検出

### 2.1 定義

通常の人物検出は，与えられた画像  $I$  中に，どのような人物が写っているか全くわからない状況で，そこに写っている人物を検出する問題であり，式 (1) のように定式化できる．

$$D = d(I) \quad (1)$$

ただし， $d$  は検出処理， $D$  は検出した人物を囲む矩形の集合を表す．

もしこのとき，観測画像中にいる人物は誰か，どのような服を着ているか，見た目はどうかといった，検出対象の人物に対する事前知識が与えられていれば，人物検出は容易になると考えられる．本論文では，過去に別途検出されたことがある人物について，検出した時に得た知識を事前知識として利用する検出のことを「人物再検出」と定義し，式 (2) のように定式化する．

$$D^* = d^*(I; K) \quad (2)$$

ただし， $K$  は検出対象に関する事前知識， $d^*$  は事前知識が与えられたときの検出処理， $D^*$  は検出処理  $d^*$  によって検出された人物を囲む矩形の集合を表す．

### 2.2 車載カメラ映像中の人物再検出

本節では，人物再検出の概念を，車載カメラ映像中の人物検出へ適用する方法について述べる．

自車がある地点で人物検出をする際，少し前にその人物の近くを通過した自動車は，その人物を近くから観測している可能性が高い (図 1)．例えば，自車の前方を走行している自動車 (図 1 (i)) は，自車よりも先に前方の人物に接近する．その他にも，対向車 (図 1 (ii)) や，交差点の他の道路から走行して来る自動車 (図 1 (iii)) など，自車よりも先に自車の前方にいる人物に接近し得る自動車がある．

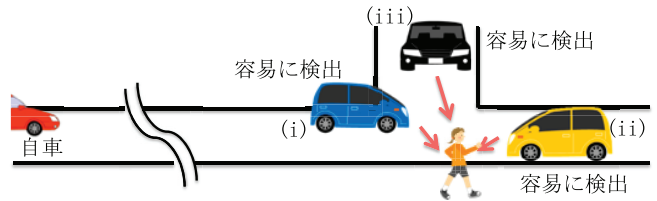


図 1 他車による検出  
Fig. 1 Detections by other vehicles

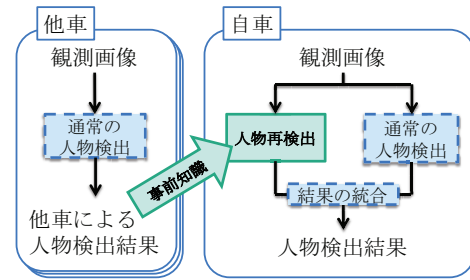


図 2 提案手法の処理手順  
Fig. 2 Process flow of the proposed method

一般に，遠方にいる人物は小さく観測されるため検出が難しいのに対し，近辺からその人物を高解像度で観測できる場合，人物検出は比較的容易であるため，前述の自動車は，その場所にどのような人物がいるか知ることができる．一般に，他車が人物を検出してから，自車がその人物を観測するまでの時間に応じて，人物は移動するが，短時間であれば，その周辺にいる可能性が高い．本研究では，このようにして他車によって人物検出して得られた高解像度の人物画像を，自車における人物検出の事前知識として用いることを考える．

本研究では，車車間通信により，自車の周辺の他車が観測した人物の観測画像を受け取ることができる状況を想定する．この状況では，ある地点において，事前 (数秒～数分前) に他車が検出した人物の高解像度画像を受信し，自車の人物検出器をその人物に特化させることができれば，その人物に関して精度よく検出ができるようになることを期待される．

このような検出器を，通常の人物検出器と組み合わせ，検出結果の和集合をとることで，前方車両によって過去に別途検出されたことがある人物を精度よく検出しつつ，それ以外の，前方車両によって検出されなかった人物も通常の精度で検出することができる．提案手法の処理手順を図 2 に示す．次章では，この実装方法について詳述する．

## 3. 人物再検出の実装

### 3.1 概要

ここでは，提案手法の核心 (図 2 の実線太枠で囲まれた部分) について詳しく説明する．本稿で提案する，他車から受信した事前知識を用いた人物検出手法は，(i) 事前知識となる人物画像の取得，(ii) 自車による人物検出候補の検出，(iii) 事前知識に基づくフィルタリング，の 3 つの処理からなる．詳細な処理手順を図 3 に示す．

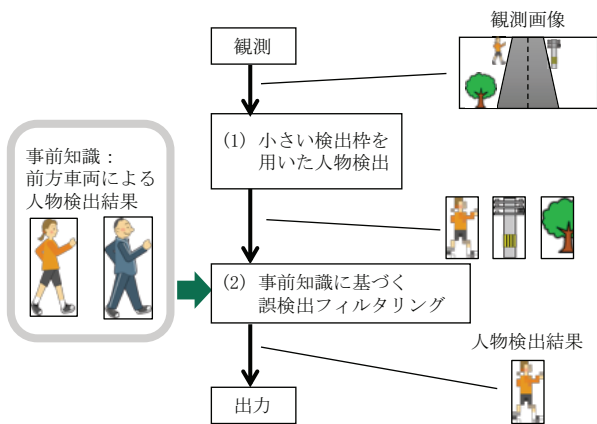


図3 事前知識に基づくフィルタリングによる人物再検出  
Fig. 3 Person re-detection based on a filtering by prior knowledge

次節では、地点  $l$  における人物集合  $P^l$  に対し、 $K^l$  を地点  $l$  において他車から受信した高解像度の人物画像集合、 $D_t^c$  を時刻  $t$  において自車で観測した画像  $I_t$  から検出した人物候補の集合、 $D_t$  を時刻  $t$  における最終的な検出結果の集合とする。

### 3.2 事前知識となる人物画像の取得

自動車は人物に接近し、近くから観測することができれば、その人物を検出・追跡することは容易であると考えられる。ある地点  $l$  において、そこにいる各人物  $i \in P^l$  を追跡することにより、人物を切り出した画像系列  $R_i$  を得ることができる。

一般に、解像度が高い画像は解像度が低い画像よりも多くの情報を含むと考えられるため、各画像列  $R_i$  から最も解像度が高い人物画像を選択する。その結果、解像度が高い人物画像集合が得られ、これを他車と共有する。

$$K^l = \{r_i^l | r_i^l \text{ is the largest image in } R_i, \forall i \in P^l\} \quad (3)$$

### 3.3 自車による人物候補検出

人物検出器により、時刻  $t$  における観測画像  $I_t$  に対し、検出候補の集合  $D_t^c$  を得る。

$$D_t^c = \{r_1, \dots, r_{n_t}\} \quad (4)$$

ただし、 $n_t$  は、観測画像  $I_t$  から検出された検出候補の個数である。

この処理では、最終的な検出漏れを防ぐため、誤検出を許容して多数の候補を出力することが重要である。そのため、検出する人物の大きさの最小値を小さめに設定し、かつ緩めの検出しきい値を用いる。

### 3.4 事前知識に基づくフィルタリング

自車から検出した人物候補は、小さな検出窓を用い、緩めのしきい値で検出するため、多くの誤検出を含む。図3に示すように、誤検出の多くは、電柱や木など、人物検出器が扱う特徴の観点では人物と類似しているが、色特徴などの見え

は、事前知識として得た人物画像と異なる可能性が高い。そこで、各人物候補と、事前知識として得た人物画像との見えの違いを調べ、大きく異なる人物候補を除去する。

具体的には、各人物候補と、他車から受信した各人物画像との類似度を計算し、しきい値が  $\tau$  未満のものを除去する。

$$D_t = \{r | f(r, K^l) \geq \tau, \forall r \in D_t^c\} \quad (5)$$

ここで、 $f(r, K^l)$  は、検出された人物候補と、他車から受信した人物集合との類似度を表す関数であり、

$$f(r, K^l) = \min_{r_i^l \in K^l} g(r, r_i^l) \quad (6)$$

と定義する。ただし、 $g(r, r_i^l)$  は人物検出候補の画像  $r$  と、他車から受信した各人物の画像  $r_i^l$  との類似度を返す関数である。

他車から受信した高解像度な人物画像と、自車で検出した低解像度な人物画像とを比較するため、解像度の違いに頑健な特徴を利用する必要がある。人物照合の分野では、人物を詳細に分類するため、色特徴を含む様々な特徴量が提案されている<sup>2)</sup> 本研究も、これらの特徴量を利用する。具体的には、Major Color Spectrum Histogram Representation (MCSHR)<sup>3)</sup>を用いて人物候補から誤検出を削減する。背景の影響を抑制するため、人物画像の左右1/3を捨て、中央部分のみを利用し、MCSHR特徴を計算する。そのようにして得られるMCSHR間の類似度を  $g(r, r_i^l)$  とする。

## 4. 実験

### 4.1 データセット

提案手法を評価するためには、ある人物を複数台の自動車から観測したデータセットが必要であるが、そのような公開データセットは今のところ存在しない。そこで、独自に画像を収集し、評価用データセットを作成した。現実的な画像を得るため、模擬市街地内に数名の人物を配置し、それを車載カメラで撮影した。複数台の自動車による撮影を模擬するため、車載カメラを搭載した1台の自動車でも同一の短いコース(1周1分弱)を4回走行し、それぞれの周回で得られた映像を、異なる自動車によって撮影したものとみなした。

収集した映像は、1,920×1,080画素、10fpsであり、合計約2,000フレームからなる。4回走行の各画像系列は約500フレームからなり、目視で分析したところ、全ての映像中に人物検出の正解が約4,000個含まれていた。データセット内の画像の例を図4に示す。ただし、図4の青い矩形は正解枠を表す。

### 4.2 評価方法

評価を単純にするため、他車による検出は100%の精度でできるものと仮定し、人手で与えた正解検出枠を利用した。そして、各人物に対し、人手で与えた正解の検出枠の中で、大きさが最大のものを、他車による検出結果として用いた。

本研究で提案する事前知識に基づく人物検出手法は、人物検出器として用いる検出手法を選ばない。本稿では、高速で





図4 データセット中の画像例  
Fig. 4 Example of an image in the dataset

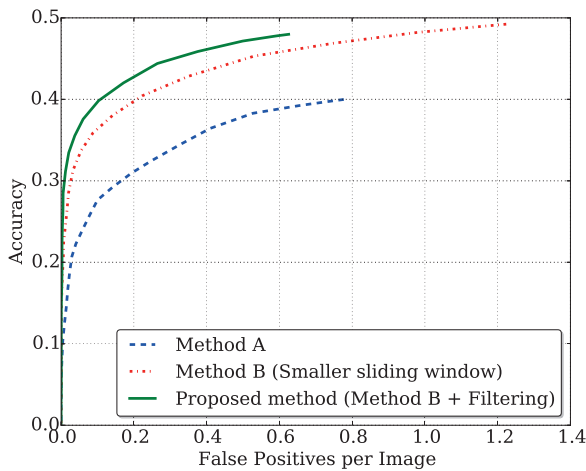


図5 人物検出結果のFROC曲線  
Fig. 5 FROC curve of the person detection results

学習も容易な検出器として知られている, Dalalら<sup>4)</sup>の人物検出器を用いた。

提案手法の有効性を示すため, 事前知識を用いない通常の人物検出手法と比較した。比較した手法は次のとおりである。

- Method A: 通常のHOGによる検出 (最小の検出窓の大きさ  $64 \times 128$  画素)
- Method B: 小さい検出窓のHOGによる検出 (最小の検出窓の大きさ  $48 \times 96$  画素)
- Proposed Method: Method B + MCSHR 特徴によるフィルタリング

各人物検出器は, Daimler Pedestrian Detection Benchmark Dataset<sup>5)</sup>の学習データを用いて学習を行なった。また, 各検出結果は, 人手で与えた検出枠との重なりが50%以上の場合正解と判定した。

#### 4.3 結果

検出結果の Free-response Receiver Operating Characteristic (FROC) 曲線を図5に示す。これを見ると, Method BはMethod Aよりも高い検出率を示しており, 解像度が低い人物まで検出できていることを示している。

一方, 提案手法はMethod Aよりも高い検出率を示しているのに加えて, 誤検出をMethod Bの半分程度にまで抑制することができている。

本実験では, 全ての人物は他車によって過去に検出された

ことがあると仮定したが, これは必ずしも成立しないことに加え, 他車が検出した人物を自車が必ず観測するとは限らないし, 他車が検出したことがない人物を自車が観測する可能性もある。他車が検出したことがない人物がいる場合, その人物に対する事前知識がないため, 提案手法は検出候補から除去してしまう可能性があるが, 図2に示すように, 提案手法に通常的人物検出を組み合わせることにより, 検出できると考えられる。

## 5. おわりに

本稿では, 過去に別途検出された人物画像を事前知識として用いて再びその歩行者を検出する「人物再検出」という概念を提案した。また, 自動車から遠方にいる人物の検出に, 人物再検出の概念を適用する方法を示した。具体的には, 他車による人物の検出結果を, 車車間通信を用いて受信することにより, その画像を事前知識として人物を検出する。さらに, 事前知識の利用例として, 自車から検出した人物候補に対し, 事前知識を用いて誤検出をフィルタリングする方法を提案した。これにより, 事前知識がない場合に比べ, 精度よく人物を検出できることを実験的に確認した。

本稿における実験は, ある試験コースにおいて1台の車両のみで模擬したが, 今後複数の車両・異なる環境等でも評価を行なう必要がある。この際, 他車による遮蔽により人物検出が失敗することが考えられるが, これに対しても事前知識を利用した検出の応用を検討したい。

提案手法では, 検出した人物候補の中から誤検出を除去する手順であったため, そもそも人物候補として検出できない場合には最終的に検出できないという問題がある。また, 事前知識として与えられる人物数が増加すると, 計算量が増加する問題もある。これに対し, 今後は事前知識を用いて検出器自体を修正し, 検出性能を高めつつ計算量を抑制する方法への拡張を検討したい。

## 謝 辞

本研究の一部は国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーションプログラム (名古屋 COI: 高齢者が元気になるモビリティ社会)」の支援及び, 科学研究費補助金の援助によって行われた。

## 参考文献

- 1) F. Li, R. Zhang, F. You: “Fast Pedestrian Detection and Dynamic Tracking for Intelligent Vehicles within V2V Cooperative Environment”, IET Image Processing, Vol.11, No.10, pp.833–840 (2017).
- 2) S. Gong, M. Cristani, S. Yan, C.C. Loy, Person Re-Identification, Springer (2014).
- 3) C. Madden, E.D. Cheng, M. Piccardi: “Tracking People Across Disjoint Camera Views by an Illumination-Tolerant Appearance Representation”, Proc. of 2007 IAPR Conference on Machine Vision and Applications, pp.233–247 (2007).

- 4) N. Dalal, B. Triggs: "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection", Proc. of 2005 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, pp.886-893 (2005).
- 5) M. Enzweiler, D.M. Gavrila: "Monocular Pedestrian Detection: Survey and Experiments", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.31, No.12, pp.2179-2195 (2009).

(2018年11月29日 受付)

(2019年3月4日 再受付)



川西 康友 (正会員)

2006年 京都大学工学部情報学科卒業。2012年 同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報学)。2012年 同大学術情報メディアセンター特定研究員。2014年 名古屋大学未来社会創造機構特任助教。2015年 同大情報科学研究科助教。2017年 同大情報科学研究科助教。現在に至る。防犯カメラ・車載カメラ映像を対象とした、人物追跡・属性認識・行動認識などの人物画像処理に関する研究に従事。2011年度 PRMU 研究奨励賞受賞。IEEE ITS Society Nagoya Chapter Young Researcher Award 受賞。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



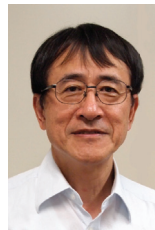
出口 大輔

2001年 名古屋大学工学部情報工学科卒業。2006年 同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。2004年~2006年まで日本学術振興会特別研究員。2006年 名古屋大学大学院情報科学研究科研究員, 2006年 同大学院工学研究科研究員, 2008年~2012年まで同大学院情報科学研究科助教, 2012年より同大情報連携統括本部情報戦略室准教授。現在に至る。主に画像処理・パターン認識技術の開発とその ITS および医用応用に関する研究に従事。CARS2004 Poster Award, CADM2004 大会賞, 2006年 日本医用画像工学会奨励賞, 2006年 日本コンピュータ外科学会講演論文賞。電子情報通信学会, 情報処理学会, IEEE 各会員



井手 一郎

1994年 東京大学工学部電子工学科卒業。1996年 同大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程了。2000年 同研究科電気工学専攻博士課程了。博士(工学)。同年国立情報学研究所助手。2004年 名古屋大学大学院情報科学研究科助教, 2007年より准教授。この間, 2002年~2004年 総合研究大学院大学数物科学研究科助手併任, 2004年~2010年 情報・システム研究機構国立情報学研究所客員助教授・准教授兼任, 2005年~2007年 フランス情報学・統計システム研究所(IRISA) 招聘教授。2010年~2011年 オランダアムステルダム大学情報学研究所上級訪問研究員。パターン認識技術の実応用や映像メディア処理全般に興味を持っている。電子情報通信学会, 情報処理学会各シニア会員, 映像情報メディア学会, 人工知能学会, IEEE, ACM 各会員。



村瀬 洋

1978年 名古屋大学工学部電気電子工学科卒業。1980年 同大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現 NTT) 入社。1992年から1年間米国コロンビア大客員研究員。2003年から名古屋大学大学院情報科学研究科教授。現在に至る。文字・図形認識, コンピュータビジョン, マルチメディア認識の研究に従事。工博。1985年 電子情報通信学会学術奨励賞, 1994年 IEEE-CVPR 最優秀論文賞, 1995年 情報処理学会山下記念研究賞, 1996年 IEEE-ICRA 最優秀ビデオ賞, 2001年 高柳記念奨励賞, 2001年 電子情報通信学会ソサエティ論文賞, 2002年 電子情報通信学会業績賞, 2003年 文部科学大臣賞, 2004年 IEEE Trans. MM 論文賞, 2010年 前島密賞, 2012年 紫綬褒章, 他受賞。IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会 各フェロー。