

部位追跡を併用した車椅子利用者の検出に関する検討

谷川 右京[†] 川西 康友[†] 出口 大輔^{††} 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]

川合 諒^{†††} 関谷 俊一^{††††}

[†] 名古屋大学 大学院情報科学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 名古屋大学 情報戦略室 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{†††} 日本電気株式会社 〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753

^{††††} 総合警備保障株式会社 〒107-8511 東京都港区元赤坂 1-6-6

E-mail: [†]tanikawau@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, [†]{kawanishi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp,

^{††}ddeguchi@nagoya-u.jp, ^{†††}r-kawai@az.jp.nec.com, ^{††††}sekiya-t@alsok.co.jp

あらまし 近年、車椅子利用者の自立を支援するため、監視カメラ映像を用いた車椅子利用者の自動検知への需要が高まっている。しかし、周囲に多数の歩行者が存在する混雑環境下では、車椅子利用者が歩行者によって遮蔽されるため、その検出は容易ではない。本報告では、遮蔽に頑健な車椅子利用者の検出手法の検討結果について報告する。提案手法では、検出器では車椅子利用者を検出できない場合に、部位間の位置関係と位置の変化に基づいた部位追跡を併用することで、部分的な遮蔽に頑健な車椅子利用者の位置推定を行なう。これにより、混雑環境における車椅子利用者の検出精度を向上させる。実験の結果、提案手法による車椅子利用者検出は、混雑環境において比較手法より高い精度が得られることを確認した。

キーワード 物体検出, 車椅子利用者, 混雑環境, 部位追跡

A Study on the Detection of Wheelchair Users Combined with Parts Tracking

Ukyo TANIKAWA[†], Yasutomo KAWANISHI[†], Daisuke DEGUCHI^{††},

Ichiro IDE[†], Hiroshi MURASE[†], Ryo KAWAI^{†††}, and Toshikazu SEKIYA^{††††}

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

^{††} Information Strategy Office, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

^{†††} NEC Corporation

1753 Shimonumabe, Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa, 211-8666 Japan

^{††††} Sohgo Security Services Co., Ltd.

1-6-6 MotoAkasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8511 Japan

E-mail: [†]tanikawau@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, [†]{kawanishi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp,

^{††}ddeguchi@nagoya-u.jp, ^{†††}r-kawai@az.jp.nec.com, ^{††††}sekiya-t@alsok.co.jp

Abstract In recent years, to support the self-support of wheelchair users, there has been an increasing demand for automatic detection of wheelchair users from a surveillance video. In a crowded scene where many pedestrians exist around, it is difficult to detect them because of occlusion by the pedestrians. In this report, we report on a detection method of wheelchair users robust to the occlusion. In case a detector cannot detect them, the proposed method estimates their location by combining it with parts tracking based on positional relation among parts and their trajectories. This improves their detection accuracy in a crowded scene. As a result of an experiment, the detection of wheelchair users with the proposed method achieved the highest accuracy in crowded scenes, compared with conventional methods.

Key words Object detection, wheelchair user, crowded scene, parts tracking

1. まえがき

近年、我が国では在宅の身体障害者数や高齢者数が増加しており、これに伴い、車椅子の普及も進んでいる [1]~[3]。このような背景から、身体障害者などが積極的に参加できる共生社会の形成に向けて、さまざまな取り組みがなされている。その1つとして、車椅子利用者の自立支援を目的とした、民間施設や公共施設のバリアフリー化が挙げられる。しかし、人手による支援が必要である場面も依然として多く見られる。そのような場合に、必要に応じて適切な支援を提供するために、普及が進んでいる監視カメラにより撮影された映像を用いて、車椅子利用者の所在を自動で把握するシステムへの需要が高まっている。

しかし、鉄道駅などの実環境では、車椅子利用者の周囲に多数の歩行者が存在することが想定される。混雑環境において移動する車椅子利用者の例を図1に示す。このような混雑環境下では、他の歩行者による遮蔽によって車椅子利用者の全身が常に観測できるとは限らず、大きく遮蔽された場合検出精度が低下するという問題がある。そこで本報告では、混雑環境における車椅子利用者検出の高精度化を目的とし、周囲の歩行者などが原因となる遮蔽に対して頑健な車椅子利用者の検出手法について検討した結果を報告する。

事前に検出対象について学習した検出器を用いる手法では、車椅子利用者の全身が観測できることを仮定しており、遮蔽があるフレームにおいて検出が困難である。その場合には、過去のフレームにおいて検出に成功した車椅子利用者に対して物体追跡を行なうことで、そのフレームにおける検出対象の位置を推定することができる。しかし、遮蔽されている状況では、追跡精度が低下するという問題がある。そこで本研究では、一般に車椅子利用者の横幅や奥行は歩行者より大きく、全身が観測できない場合であっても一部であれば観測できる可能性が高い点に着目する。これをもとに、事前に構築した検出器による車椅子利用者の検出に加え、その部位ごとの追跡を併用し、各部位の追跡結果から車椅子利用者の位置を推定する手法を提案する。

部位ごとの追跡において、部位の見えに基づき追跡した場合、その部位が遮蔽された時に正しく追跡できなくなる可能性が高い。そこで提案手法では、まず追跡対象の部位ごとに遮蔽されているか否かの判定をする。遮蔽されていないと判定された部位については、部位の見えに基づき追跡を行なう。遮蔽された部位と判定された部位については、遮蔽されていないと判定された部位との間の位置関係と、過去の位置の変化に基づきその位置を推定する。これにより、遮蔽に頑健な車椅子利用者の検出を実現する。

以降、2節では本研究の関連研究について述べる。3節では、提案手法である部位追跡を併用した車椅子利用者の検出手法について説明する。つづく4節では、提案手法の有効性について検証するために行なった評価実験とその結果について述べる。最後に5節で、まとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

代表的な一般物体検出手法として、Dalalらが提案した His-



図1 混雑環境において移動する車椅子利用者の例

togram of Oriented Gradients (HOG) 特徴を用いた手法が挙げられる [4]。HOG 特徴量には、物体の局所的な形状変動や照明変動、影の影響に頑健であるという特長がある。識別器には、学習においてクラス間のマージンが最大となるように識別境界を決定する Support Vector Machine (SVM) [5] が用いられる。しかし HOG 特徴量は、物体の大きな姿勢変動にうまく対応することができない。これに対して、Felzenszwalbらは、物体のモデルを部位の集合として表現した Deformable Part Models (DPM) を用いた物体検出手法を提案している [6]。DPM は物体の各部位の詳細な形状や位置を考慮することにより、姿勢変動に頑健な物体検出を実現している。物体の各部位の位置と形状は潜在変数として扱われ、Latent SVM を用いて自動的に学習される。しかし DPM には、検出対象の部位が遮蔽された場合に検出精度が低下するという問題がある。

車椅子利用者の特化した検出手法として、Mylesらは車椅子の車輪と利用者の顔検出に基づいた車椅子利用者検出手法を提案している [7]。この手法では、Hough 変換を用いて車椅子の車輪を、色特徴を用いて車椅子利用者の顔をそれぞれ検出し、車椅子利用者の3次元姿勢情報を構築する。しかし、事前にカメラキャリブレーションを正確に行なう必要があり、キャリブレーションされていない環境では利用することができない。Huangらは、単一の固定カメラにより撮影された映像から局所特徴を用いて車椅子利用者を検出する手法を提案している [8]。この手法では、特徴量は HOG 特徴量と Contrast Context Histogram 特徴量を、識別器にはカスケード化した AdaBoost による識別器を用いる。しかし、この手法は車椅子利用者の遮蔽を考慮していないため、混雑環境では高精度に検出することができない。

Zhangらは、事前に構築した検出器による人物検出と物体追跡を併用した複数人物追跡手法を提案している [9]。この手法では、追跡対象の見えを検出器による検出結果から収集したテンプレートの集合により表現し、mean-shift 法と Kalman フィルタを組み合わせて人物を追跡する。しかし、この手法は追跡対象の遮蔽を考慮しておらず、混雑環境において追跡精度が低下するという問題がある。

このように従来手法には、検出対象や追跡対象が遮蔽された場合に検出精度や追跡精度が低下するという問題がある。

3. 部位追跡を併用した車椅子利用者の検出手法

本手法では、検出対象の車椅子利用者が遮蔽された場合に、

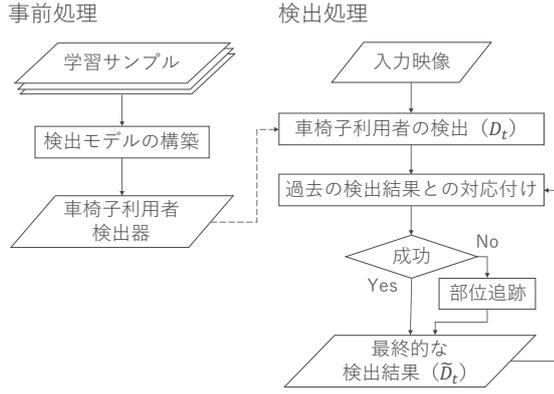


図2 提案手法の処理手順

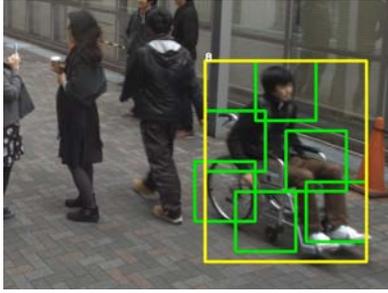


図3 DPMによる検出結果の例

その部位ごとに追跡を行なうことで位置を推定する。提案手法の処理手順を図2に示す。事前処理として、車椅子利用者の検出モデルを構築する。検出処理では、構築した検出モデルを用いて、入力映像の各フレームから車椅子利用者を検出する。次に、各フレームにおける検出結果をフレーム間で対応付けし、同一対象を追跡する。ここで、対応付けに失敗した対象について部位追跡を開始し、それ以降の追跡対象の位置を推定する。

3.1 車椅子利用者の検出

提案手法では、入力映像の各フレームにおいて、車椅子利用者の全身の検出と、その部位の検出を行なう。本稿では、図3のようにそれらを行えるDPMを用いる。

事前処理として、車椅子利用者画像（正事例）と非車椅子利用者画像（負事例）を用いてDPMの学習を行ない、車椅子利用者検出器を構築する。検出処理では、構築した検出器を用いて、入力映像の各フレームについて車椅子利用者の検出を行なう。

3.2 検出結果の対応付けによる追跡

入力映像の各フレームに対して、車椅子利用者の検出結果をフレーム間で対応付けることで、同一対象の追跡を行なう。まず、フレーム $t-1$ における最終的な検出結果 $\bar{D}_{t-1} = \{d_{t-1}^{(1)}, d_{t-1}^{(2)}, \dots, d_{t-1}^{(n)}\}$ と、フレーム t における全身の検出結果 $D_t = \{d_t^{(1)}, d_t^{(2)}, \dots, d_t^{(m)}\}$ からそれぞれ1つずつ選んで作成した各組 $(d_{t-1}^{(i)}, d_t^{(j)})$ について類似度を算出する。本手法では、追跡対象が1フレームの間に移動する距離は小さいと仮定し、類似度として式(1)で定義される検出結果の組 $(d_{t-1}^{(i)}, d_t^{(j)})$ の重なり率を用いる。

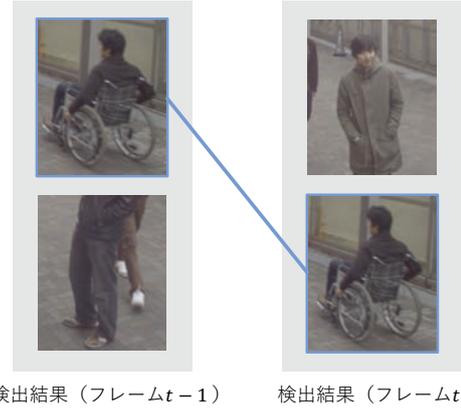


図4 フレーム間における検出結果の対応付けの例

$$\Omega(d_{t-1}^{(i)}, d_t^{(j)}) = \frac{|d_{t-1}^{(i)} \cap d_t^{(j)}|}{|d_{t-1}^{(i)} \cup d_t^{(j)}|} \quad (1)$$

フレーム $t-1$ における検出結果 $d_{t-1}^{(i)}$ とフレーム t における検出結果 $d_t^{(j)}$ の類似度 $S(d_{t-1}^{(i)}, d_t^{(j)})$ は以下の式で表される。

$$S(d_{t-1}^{(i)}, d_t^{(j)}) = \begin{cases} \Omega(d_{t-1}^{(i)}, d_t^{(j)}) & \text{if } \Omega(d_{t-1}^{(i)}, d_t^{(j)}) > \theta_\Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

検出結果の各組について、類似度が大きい組から順に選択していくことで、検出結果の対応付けを行なう。ただし、類似度が0の組については対応付けを行わない。検出結果を対応付けた例を図4に示す。

3.3 車椅子利用者の部位追跡

全身の検出結果を対応付けて追跡を行なう際、周囲の歩行者による遮蔽などが原因となり、フレーム t においてある追跡対象 T_i を検出できない場合がある。このとき、フレーム $t-1$ における追跡対象 T_i の位置を初期位置として部位追跡を行ない、遮蔽されていない部位の位置とこれまでの位置の変化を利用してフレーム t 以降における追跡対象 T_i の位置を推定する。なお、部位追跡を開始する対象は、検出結果の対応付けに失敗した追跡対象のうち、連続して検出した回数 θ_d 以上であるものに限定する。これにより、誤検出した追跡対象を部位追跡することによる誤検出の拡大を抑制する。

3.3.1 各部位の追跡

対応付けに失敗した追跡対象の各部位を、追跡において追跡対象の遮蔽の有無を判定することができるKernelized Correlation Filter [10] (KCF)を用いて追跡する。KCFはカーネルリッジ回帰に基づく追跡手法であり、相関フィルタによる追跡手法 [11] の一種であることが示されている。相関フィルタを用いた物体追跡では、画像にフィルタを畳み込んで得た応答マップにおけるピークの、周囲に対する相対的な強さを表すPeak-to-Sidelobe Ratio (PSR)を算出し、しきい値処理することで追跡対象が遮蔽されているか否かを判定することができる [11]。追跡を開始する際の各部位の初期矩形には、3.1で述べた部位検出の結果を用いる。

追跡対象の各部位を追跡する際、まず部位ごとにKCFの応答マップを計算する。次に、計算した応答マップからPSRを

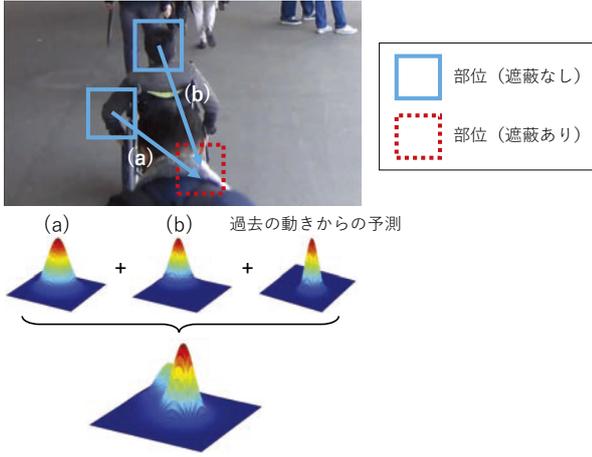


図5 遮蔽された部位の位置に関するスコア

算出し、PSR がしきい値 θ_{PSR} 以下である部位を遮蔽されていると判定する。本研究では、応答マップにおける sidelobe を、応答マップに対してピークの周辺 15% を除いた領域とした。

遮蔽されていないと判定された部位については、KCF による追跡結果を採用する。一方、遮蔽されていると判定された部位については、正しい位置を得られている可能性は低い。そこで、遮蔽されていない部位との位置関係と、これまでの位置の変化に基づきその位置を推定する。追跡対象の部位を $p^{(i)}$ ($i = 1, \dots, n$)、遮蔽された部位の集合を P_o 、遮蔽されていない部位の集合を P_v とする。ただし、 $|P_o| + |P_v| = n$ である。部位 $p^{(i)}$ の中心位置を $\mathbf{x}_t^{(i)} = (x_t^{(i)}, y_t^{(i)})$ とすると、遮蔽された部位 $p^{(i)} \in P_o$ のフレーム t における位置の推定結果 $\hat{\mathbf{x}}_t^{(i)}$ は、以下のようにスコア $S(\mathbf{x}_t^{(i)})$ が最大となる位置とする。

$$\hat{\mathbf{x}}_t^{(i)} = \arg \max_{\mathbf{x}_t^{(i)}} S(\mathbf{x}_t^{(i)}) \quad (3)$$

推定結果の外接矩形の幅および高さは、前フレームにおける大きさと同じとする。

フレーム t における部位 $p^{(i)} \in P_o$ の位置 $\mathbf{x}_t^{(i)}$ に関するスコア S は以下の式で表される。

$$S(\mathbf{x}_t^{(i)}) = \sum_{p^{(j)} \in P_v} P(\mathbf{x}_t^{(i)} | \mathbf{x}_t^{(j)}, \mathbf{x}_{t-1}^{(i)}, \mathbf{x}_{t-1}^{(j)}) + \lambda P(\mathbf{x}_t^{(i)} | \mathbf{x}_{t-1}^{(i)}, \mathbf{x}_{t-2}^{(i)}) \quad (4)$$

右辺の第1項は、遮蔽されていない部位 $p^{(j)} \in P_v$ と部位 $p^{(i)}$ の前フレームにおける位置関係に基づいた、部位 $p^{(i)}$ の位置に関するスコアの総和である。右辺の第2項は、これまでの位置の変化に基づいた、部位 $p^{(i)}$ の位置に関するスコアである。また、 λ は第一項と第二項の重みを制御する定数である。

遮蔽された部位の位置に関するスコアは、図5のように2次元正規分布 $\mathcal{N}(\boldsymbol{\mu}_t, \boldsymbol{\Sigma}_t)$ の和で表現される。部位 $p^{(j)} \in P_v$ と $p^{(i)} \in P_o$ の位置関係によるスコアの算出に用いる2次元正規分布は、次式で算出される平均 $\boldsymbol{\mu}_t$ および分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}_t$ により記述される。

$$\boldsymbol{\mu}_t = \mathbf{x}_t^{(j)} + (\mathbf{x}_{t-1}^{(i)} - \mathbf{x}_{t-1}^{(j)}) \quad (5)$$

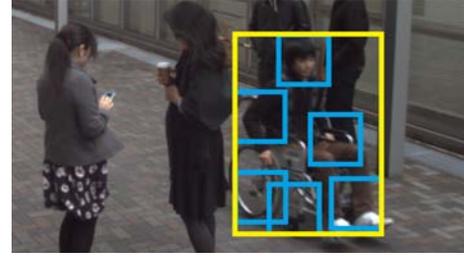


図6 部位矩形の統合例

$$\boldsymbol{\Sigma}_t = \begin{pmatrix} \sigma_{x,t}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{y,t}^2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

平均 $\boldsymbol{\mu}_t$ は、フレーム t における部位 $p^{(j)}$ の位置に、フレーム $t-1$ における部位 $p^{(j)}$ から見た部位 $p^{(i)}$ の相対位置を加えた位置である。分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}_t$ の対角成分に含まれる $\sigma_{x,t}, \sigma_{y,t}$ はそれぞれ次式で算出される。

$$\sigma_{x,t} = w_{t-1} \left(b + \left(1 - \frac{\text{PSR}(p^{(j)}, t)}{\sum_{p^{(k)} \in P_v} \text{PSR}(p^{(k)}, t)} \right) \right) \quad (7)$$

$$\sigma_{y,t} = h_{t-1} \left(b + \left(1 - \frac{\text{PSR}(p^{(j)}, t)}{\sum_{p^{(k)} \in P_v} \text{PSR}(p^{(k)}, t)} \right) \right) \quad (8)$$

w_{t-1}, h_{t-1} はそれぞれフレーム $t-1$ における部位 $p^{(i)}$ の幅および高さであり、部位が大きいくほど正規分布の広がりを大きくするために用いられる。PSR($p^{(j)}, t$) はフレーム t における部位 $p^{(j)}$ の PSR であり、遮蔽されていない他の部位と比較して PSR が大きくなるほど $\sigma_{x,t}, \sigma_{y,t}$ は小さくなる。すなわち、追跡の信頼度が低い部位ほど、算出される正規分布の裾野が広がる。また、 b は $\sigma_{x,t}, \sigma_{y,t}$ の値を 0 より大きくするための正の定数である。

部位 $p^{(i)}$ の位置の変化によるスコアの算出に用いる2次元正規分布の平均 $\boldsymbol{\mu}_t$ は、次式のようにフレーム $t-2$ からフレーム $t-1$ における部位 $p^{(i)}$ の変位ベクトル $\mathbf{d}_{t-1}^{(i)} = (\mathbf{x}_{t-1}^{(i)} - \mathbf{x}_{t-2}^{(i)})$ をフレーム $t-1$ における位置に加えることで算出される。

$$\boldsymbol{\mu}_t = \mathbf{x}_{t-1}^{(i)} + \mathbf{d}_{t-1}^{(i)} \quad (9)$$

分散共分散行列は式(5)と同様の対角行列とし、 σ_x, σ_y はそれぞれフレーム $t-1$ における部位 $p^{(i)}$ の幅および高さ按比例するように設定される。

また、KCF による追跡では追跡対象のモデルをフレームごとに更新するが、遮蔽された状況におけるモデルの更新は追跡精度の低下に繋がる。そこで、遮蔽された部位のモデルは更新をせず、遮蔽されていない部位のモデルのみを更新する。

3.3.2 各部位の追跡結果の統合

各部位の追跡結果を統合して、追跡対象の全身の外接矩形を出力する。追跡対象の全身の外接矩形は、各部位の外接矩形をすべて含む最小の矩形とする。部位矩形の統合例を図6に示す。内側の小さな青色の矩形は各部位の外接矩形であり、外側の大きな黄色の矩形が統合後の外接矩形である。

3.4 部位追跡の終了判定

部位追跡を行なう中で、再び全身の検出結果 D_t との対応付



図7 学習に用いた正事例および負事例の例

けに成功した場合、部位追跡を終了する。また、追跡対象が画面外へ移動した場合や、追跡の失敗による誤検出の増加に対処するため、部位追跡を開始して f_1 フレーム経過しても対応付けされない場合、部位追跡を中止する。さらに、 f_2 フレーム連続して追跡対象のすべての部位が遮蔽されていると判定された場合、追跡を継続するのは困難であると判断し、部位追跡を中止する。

4. 評価実験

4.1 実験内容

混雑環境下での車椅子利用者の検出における提案手法の有効性を確認するため、周囲に歩行者の存在する状況で撮影された映像を用いた車椅子利用者の検出実験を行なった。また、比較手法として以下の手法を使用した。

- DPM のみ
- DPM に加え全身追跡を併用
- Zhang らが提案した複数人物追跡手法 (TH) [9]

TH については、実験において Zhang らによって公開されている実装を利用した。検出器には、提案手法と同じ DPM の検出器を用いた。

評価方法について、検出結果と正解枠との重なり率 (式1) が 0.5 以上である場合を正検出とし、そうでない場合を誤検出とした。検出精度の評価指標として、適合率、再現率、F 値を用いた。

4.2 データセット

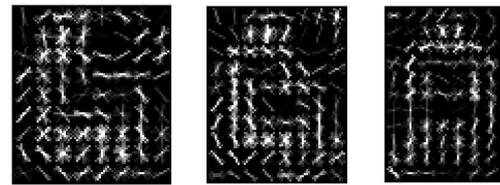
4.2.1 学習用データ

本実験では、DPM の学習に用いる正事例として、屋内および屋外で撮影した車椅子利用者を含む画像 2,400 枚を利用した。それぞれの画像には車椅子利用者の外接矩形を手手で付与し、その領域を用いて学習を行なった。また、負事例として、学習用画像から無作為に切り出した車椅子利用者を含まない画像 4,800 枚を利用した。学習に用いた正事例および負事例の例を図7に示す。青色の大きな矩形は正事例、赤色の小さな矩形は負事例である。

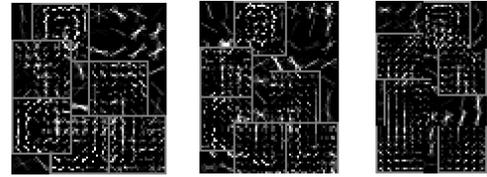
4.2.2 評価用データ

評価用映像データとして、屋外で撮影した映像7本を利用した。各フレームの大きさは $1,280 \times 1,024$ 画素である。映像の長さは約 30 秒から 1 分であり、フレームレートは 6fps、総フレーム数は 1,621、車椅子利用者ののべ人数は 1,175 人である。

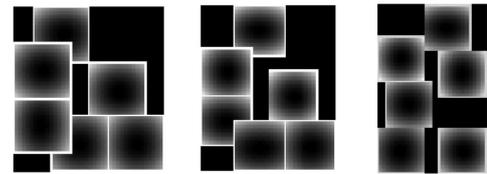
映像には移動する車椅子利用者1名を含むほか、移動する歩



(a) ルートフィルタ



(b) パートフィルタ



(c) 部位の変形コスト

図8 車椅子利用者について学習した DPM

表1 各手法における車椅子利用者の検出精度

手法	適合率	再現率	F 値
DPM のみ	0.975	0.671	0.795
DPM + 全身追跡	0.789	0.808	0.798
DPM + TH [9]	0.516	0.585	0.548
DPM + 部位追跡	0.859	0.848	0.853

行者や立ち止まっている歩行者を含んでおり、それらによる車椅子利用者の遮蔽がある。車椅子利用者は最初のフレームで画面内に存在する場合と画面外から現れる場合があり、画面外へ移動する場合も含まれる。

映像の各フレームには、評価用の真値として車椅子利用者の外接矩形を手手で付与した。遮蔽がある場合については、前後の状況からもっともらしい矩形を付与した。

4.3 使用した車椅子利用者モデル

DPM の学習では、学習サンプルを縦横比により 3 つのクラスに分割し、各クラスについて車椅子利用者モデルを構築した。車椅子利用者の部位数は、いくつか試したうち実験的に 6 つとした。車椅子利用者について DPM を学習した結果を図8に示す。各段はそれぞれ縦横比ごとのルートフィルタ、パートフィルタ、部位の変形コストを表している。DPM の実装は、Girshick らによって公開されている実装 [12] を用いた。

4.4 実験結果

テストデータに対して車椅子利用者出を行なった結果を表1に示す。表1より、提案手法が再現率、F 値において比較手法よりも高精度であることが分かる。この結果から、提案手法は歩行者による遮蔽が存在する状況における車椅子利用者の検出精度の改善に有効であることが確認できた。比較手法や提案手法を用いた車椅子利用者の検出結果の例を図9に示す。

図9の各段は、テストデータの系列の同一フレームにおける



(a) DPM のみ

(b) DPM + 全身追跡

(c) DPM + TH [9]

(d) DPM + 部位追跡 (提案手法)

図 9 車椅子利用者検出の結果例

各手法の検出結果を表す。1 段目の結果から、追跡を併用することにより、DPM のみでは検出できなかった対象を検出できていることが分かる。また 2 段目および 3 段目の結果から、提案手法は追跡を併用する他の手法と比較してより正確に車椅子利用者の位置を推定できていることが分かる。

5. む す び

本報告では、混雑環境において車椅子利用者を高精度に検出する手法について検討した。提案手法では、車椅子利用者が遮蔽されている場合に検出が困難となる問題に対し、部位間の位置関係と位置の変化に基づいた部位追跡を併用することで対処した。評価実験により、混雑環境において比較手法より高精度に検出が可能であることを確認した。

今後の課題として、検出結果の対応付け方法の改良や部位間の位置拘束の改良、追跡対象の動きのモデリングが挙げられる。
謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金による。

文 献

- [1] 内閣府, “平成 27 年版障害者白書,” <http://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h27hakusho/zenbun/index-pdf.html> (2016/05/13 参照).
- [2] 内閣府, “平成 27 年版高齢社会白書,” http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2015/zenbun/27pdf_index.html (2016/05/13 参照).
- [3] 電動車いす安全普及協会, “電動車いす 出荷台数/累計出荷台数,” <http://www.den-ankyo.org/society/transition.html> (2016/01/10 参照).
- [4] N. Dalal and B. Triggs, “Histograms of oriented gradients for human detection,” Proceedings of the 18th IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.1, pp.886–893, June 2005.
- [5] V.N. Vapnik, The Nature of Statistical Learning Theory,

Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA, 1995.

- [6] P.F. Felzenszwalb, R.B. Girshick, D. McAllester, and D. Ramanan, “Object detection with discriminatively trained part based models,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.32, no.9, pp.1627–1645, Sept. 2010.
- [7] A. Myles, N.D.V. Lobo, and M. Shah, “Wheelchair detection in a calibrated environment,” Proceedings of the 5th Asian Conference on Computer Vision, pp.706–712, Jan. 2002.
- [8] C.-R. Huang, P.-C. Chung, K.-W. Lin, and S.-C. Tseng, “Wheelchair detection using cascaded decision tree,” IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol.14, no.2, pp.292–300, Mar. 2010.
- [9] J. Zhang, L.L. Presti, and S. Sclaroff, “Online multi-person tracking by tracker hierarchy,” Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance, pp.379–385, Sept. 2012.
- [10] J.F. Henriques, R. Caseiro, P. Martins, and J. Batista, “High-speed tracking with kernelized correlation filters,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.37, no.3, pp.583–596, Feb. 2015.
- [11] D.S. Bolme, J.R. Beveridge, B. Draper, and Y.M. Lui, “Visual object tracking using adaptive correlation filters,” Proceedings of the 23rd IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.2544–2550, June 2010.
- [12] R.B. Girshick, P.F. Felzenszwalb, and D. McAllester, “Discriminatively trained deformable part models, release 5,” <http://people.cs.uchicago.edu/~rbg/latent-release5/> (2016/05/13 参照) .