

# 列車前方映像を用いた障害物検出

向嶋 宏記<sup>1,a)</sup> 川西 康友<sup>1</sup> 出口 大輔<sup>1</sup> 井手 一郎<sup>1</sup>  
村瀬 洋<sup>1</sup> 鵜飼 正人<sup>2</sup> 長峯 望<sup>2</sup> 中曽根 隆太<sup>2</sup>

## 1. はじめに

踏切事故やホーム転落事故など、鉄道における事故が後を絶たない。このような事故の対策として、線路内の障害物を検出することが考えられる。既存の踏切障害物検知装置等の障害物検出システムは検出精度や信頼性においては高い実績があるが、特定の箇所に固定されており、観測範囲が限定的である。

一方、列車前方に設置した車載カメラを用いた障害物検出システムの研究もなされ、障害物検出技術の実現へ期待が高まっている。そこで本研究では、車載カメラを用いて列車前方に存在する障害物を検出することを目的とする。

車載カメラを利用した障害物検出に関する研究の多くは、歩行者や自動車など特定の検出対象に特化した学習によるものである。しかし、歩行者や自動車以外の物体でも脱線事故等の大事故を生じる恐れがあることから、不特定の障害物を検出する必要があるものの、実際の線路上に存在する物体の種類は膨大であり、それらすべてを学習することは不可能である。

この問題に対して、久徳ら [1] は、自動車の搭載した車載カメラを用いた不特定の障害物検出手法を提案している。この手法は、現在の車載カメラ映像と障害物が存在しないデータベース（過去）の車載カメラ映像間の差分によって現在の映像に含まれる不特定の障害物を検出するものである。しかし、道路環境での利用を前提としているため、常に同じ線路上を走行する鉄道への適用はできない。そこで本発表では、鉄道環境において適用可能な移動カメラでの背景差分手法を提案する。

## 2. 現在と過去の映像間差分による障害物検出

提案手法では、事前に撮影された障害物が存在しない車載カメラ映像をデータベースとし、データベースと現在撮影している車載カメラ映像間の差分を求めることにより障害物を検出する。ここで 2 本の映像は移動カメラで撮影された映像であるため、(1) 時間方向と (2) 空間方向のずれ

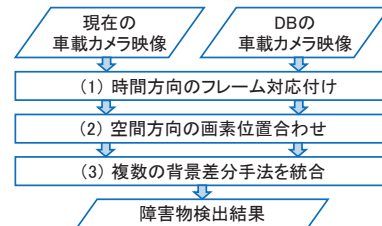


図 1 提案手法の処理の手順

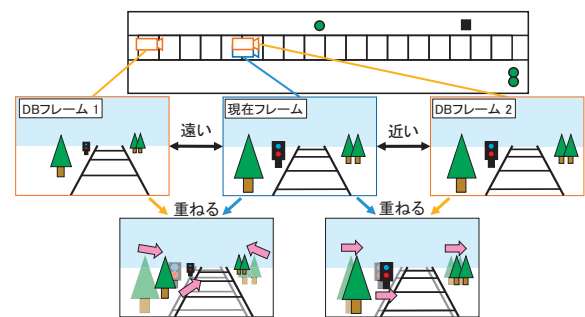


図 2 撮影位置の違いによる見えの変化

がある。そこで、フレーム単位で差分を求めるためには、まず (1) 時間方向のフレーム対応付けと (2) 空間方向の位置合わせをする必要がある。

提案手法では (1) 時間方向のフレーム対応付けの際に、列車前方映像に適した新たなフレーム間相違度を用いる。また、(2) 空間方向の位置合わせは画素単位で行なうことで、位置合わせの誤差を低減させる。差分の処理では、(3) 複数の背景差分手法を統合することによって誤検出を低減させる。以上の手順を図 1 に示す。

### 2.1 時間方向のフレーム対応付け

現在とデータベースの列車前方映像のフレーム系列をそれぞれ、 $\{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ ,  $\{y_1, y_2, \dots, y_q\}$  とする。ここでは、2本の映像を終端フリー DP マッチングにより対応付ける。この時、図 2 に示すように 2本の映像におけるフレームの撮影位置に近いほど、フレームの対応点を結ぶ直線群が平行に近づくという性質がある。この性質を利用し、対応点を結んだ直線が水平方向となす角度の分散をフレーム間の相違度と定義する。このフレーム間相違度を用いた DP

<sup>1</sup> 名古屋大学, 〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

<sup>2</sup> 鉄道総合技術研究所, 〒 185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

<sup>a)</sup> mukoujimah@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

マッチングにより対応フレーム対  $(x_i, y_j)$  を得る。

## 2.2 空間方向の画素位置合わせ

位置合わせ誤差と画像中の小さな障害物の区別を可能にするために、画素単位での精密な位置合わせを行なう。本手法では、画素単位での位置合わせのために DeepFlow [2] を用いる。フレーム対  $(x_i, y_j)$  に対して、 $y_j$  を  $x_i$  に合うよう位置合わせし、 $y'_j$  を得る。

## 2.3 複数の背景差分手法の統合による障害物検出

単一の背景差分手法では障害物以外の領域が障害物として誤抽出されてしまうため、複数の手法を組み合わせることでこの問題を解決する。

ここでは、Normalized Vector Distance (NVD) と Radial Reach Filter (RRF) [3] を用いる。NVD と RRF はどちらも照明変動に頑健な背景差分手法である。ただし、NVD は色が異なる箇所を抽出でき、RRF はテクスチャが異なる箇所を抽出できる。そのため、この 2 つの手法を組み合わせることで、色とテクスチャのどちらも異なる箇所を抽出できることになる。

まず、 $(x_i, y'_j)$  に対して NVD と RRF をそれぞれ適用し、2 枚の差分画像を得る。各差分画像の画素値の平均値  $\mu_{ij}$  と標準偏差  $\sigma_{ij}$ 、パラメータ  $n$  によって計算されるしきい値  $\mu_{ij} + n\sigma_{ij}$  で 2 値化する。これにより画素値が平均値から大きく外れた特異的な画素を抽出できる。そして、それぞれの 2 値画像をラベリングし、線路周辺領域に存在する物体の外接矩形を求める。最後に NVD と RRF の両方で検出された矩形のみを障害物として出力する。

## 3. 実験

本実験で用いるデータセットは、鉄道総合技術研究所内の実験線路においてトロ台車を使って撮影した。撮影条件は  $1,920 \times 1,440$  画素、10 fps、レンズの焦点距離は 25 mm、画素ピッチ  $4.54 \mu\text{m}$ 、カメラは実際の列車で運転席の前方に設置することを想定しレールレベルから約 2.5 m の高さに設置した。また、トロ台車は人手で押しながら撮影した。

実験線路で撮影したものを 5 フレームずつリサンプリングした映像 5 本 (合計 2,117 フレーム) を実験に用いた。3 本は障害物が映っていない映像で、残りの 2 本はそれぞれ人もしくは段ボールが障害物として映っている映像である。障害物の映っていない映像 1 本をデータベース映像、残りの 4 本を現在映像として用いた。また障害物までの最大距離は 200 m で、正解矩形は人手で与えた。

平均と標準偏差を基に決定する 2 値化のしきい値に関するパラメータ  $n$  を変化させながら実験を行ない、検出性能を ROC 曲線で評価した。また、差分画像を NVD もしくは RRF の単一で求める手法を比較手法とした。

図 3 に示す障害物の検出結果例から、人を正しく検出で

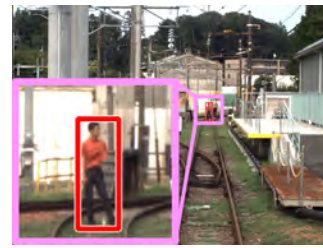


図 3 検出結果例

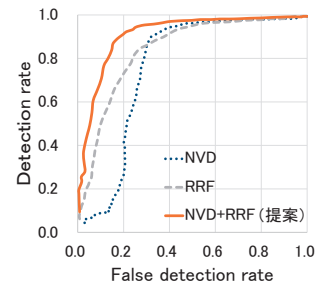


図 4 障害物検出結果の ROC 曲線

きたことが確認できる。また、図 4 の ROC 曲線から、提案手法が最も精度良く障害物を検出できることを確認した。

提案手法が最も精度良く障害物を検出できたが、検出できない場合もあった。これは、NVD と RRF の両方で検出できないと障害物と検出されないためである。この問題を解決するためには、統合する背景差分手法を増やし統合方法を多数決するなどの方法が考えられる。

## 4. まとめ

現在と過去の列車前方映像間の差分により、列車前方の障害物を検出する手法を提案した。鉄道環境に適したフレーム間相違度を用いることで、フレームの対応付けを行ない、画素単位で位置合わせをすることで、200 m 先における人物のような画像中の小さな障害物も検出することができた。今後は、照明変動が大きな条件下での実験や手法の高速化をする予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金による。

## 参考文献

- [1] H. Kyutoku, D. Deguchi, T. Takahashi, Y. Mekada, I. Ide, and H. Murase, "Subtraction-based forward obstacle detection using illumination insensitive feature for driving-support," Proc. ECCV2012 Workshops and Demos, Part II, pp. 515–525, Oct. 2012.
- [2] P. Weinzaepfel, J. Revaud, Z. Harchaoui, and C. Schmid, "DeepFlow: Large displacement optical flow with deep matching," Proc. 14th IEEE Int. Conf. on Computer Vision (ICCV2013), pp. 1385–1392, Dec. 2013.
- [3] Y. Satoh, H. Tanahashi, C. Wang, S. Kaneko, S. Igarashi, Y. Niwa, and K. Yamamoto, "Robust event detection by Radial Reach Filter (RRF)," Proc. 16th IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2002), vol. 2, pp. 623–626, Aug. 2002.