

ADASでの実装可能性を考慮した 赤外線カメラと赤外線マーカによる二輪車検出に関する検証

井上 裕貴^{†1,a)} 北村 浩章^{†2,b)} 木谷 友哉^{†3,c)}

概要：現在、二輪車が被害者となる事故の約8割は四輪車側運転者の二輪車の見落としによるものである。その一方でADAS（先進運転支援システム）とよばれる車載カメラなどのセンサを用いて運転者に危険通知などを行うシステムの普及が進んでいる。そこで二輪車の早期発見のために、二輪車に独自の点滅パターンを有する赤外線LEDをマーカとして複数個取り付け、四輪車に取り付けた市販の赤外線カメラから撮影することで二輪車を検出する手法を提案する。検出手法としてテンプレートマッチングを用いる手法と点滅パターンの認識を用いる手法の2つを使用し、誤検出数や検出可能距離の検証を行った。テンプレートマッチングによる手法では映像データに対して平滑化処理、二値化処理の前処理を行ったテンプレートマッチングを用いて二輪車の検出を行った。点滅パターンの認識による手法ではノイズやデータの欠落に対応するため、提案手法では撮影データの各フレームにおいて赤外線マーカの特徴点抽出を行い、時系列で赤外線マーカの点滅パターンを照合することで二輪車の検出を行った。検証よりこの手法は一般的な可視光カメラでは視認が難しい夜間において特に高い性能を示し、二輪車の側面を向けて停車させて四輪車で接近する実験では約100m先から二輪車の検出が行えることを確認した。

表1 二輪車の出会い頭または
右折時事故の人的要因 [2]

	出会い頭	右折時
発見の遅れ	85%	87%
判断の誤り	10%	12%
操作上の誤り	5%	1%

1. はじめに

警視庁が発表した二輪車の交通死亡事故統計（令和元年中）[1]によれば、令和元年中の東京都内の自動二輪車乗車中の事故類型別交通死亡事故の割合は、単独に次いで右折時が多い結果となっている。同様に過去5年平均では単独、右折時に次いで出会い頭が多くなっている。また、財団法人交通事故総合分析センターが発行したイタルダ・インフォメーション[2]によると、表1に示すように、2010年における自動二輪車が第2当事者で事故類型が出会い頭または右折時事故の場合、第1当事者の人的事故要因の8割以上は発見の遅れであった。

以上のことから自動二輪車と四輪車との事故を減らすた

めには、四輪車側運転者からの自動二輪車の視認性を上げることが重要であると考えられる。

一方で近年、センシングデバイスの小型化や低価格化が進み、人の目だけでなく機械を用いることで人の目では視認しにくいものを検出し、運転者のサポートを行う先進運転支援システム：ADAS（Advanced Driver-Assistance Systems）とよばれるカメラなどのセンサを用いるシステムの普及が進んでいる。しかし、現状として歩行者や自転車などの検知を行う研究は多いが二輪車を対象としたものは少なく、また、可視光カメラによる物体検出などパッシブな検出がメインとなっており、特に夜間の検出が難しいといった問題がある。そこで、二輪車に付与したアクティブなマーカの検出を行うことで夜間などでも二輪車の検出を行い二輪車の安全性を効果的に高められると考えられる。

本検証では独自の点滅パターンで点滅する赤外線LEDをマーカとして複数個二輪車に取り付け、四輪車に取り付けた赤外線カメラから撮影することで二輪車を検出する手法を提案する。二輪車の検出手法として、マーカの配置をもとに空間的な検出を目指すテンプレートマッチングによる手法と、マーカの点滅パターンをもとに時間的な検出を目指す点滅パターン認識による手法の2つを実装を行った。また、二輪車の正面や側面などを四輪車に向け接近しながら撮影する実験によって検出可能距離や適合率、再現

^{†1} 現在、静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻

^{†2} 現在、静岡大学情報学部情報科学科

^{†3} 現在、静岡大学学術院情報学領域

a) y-inoue@kitanilab.org

b) h-kitamura@kitanilab.org

c) t-kitani@kitanilab.org

率を評価し赤外線マーカを用いる二輪車検出手法の有用性を示す。

2. 関連研究

2.1 四輪車運転車からの二輪車の視認性に関する関連研究

文献 [3] では、運転者が事故に関連する対象物を交通環境の中で検出できたかどうかを主に夜間の事故状況を再現して多数ケーススタディをしている。ケーススタディには二輪車が相手のケースについての実験と考察が行なわれており、接近する二輪車のヘッドライトが電柱などで遮られるときに1つのヘッドライトが2つに見えるなどの状況が報告されている。

文献 [4] では、二輪車と四輪車のヘッドライトの被視認性について6台の二輪車の実車を用いた検証を行なっている。四輪車のヘッドライトに比べて二輪車のその被視認性を定量化した結果著しく低いことが示されている。二輪車に昼間走行灯（デイライト）を装着することで知覚距離を有意に伸ばせることも示している。

文献 [5] では二輪車の多くのヘッドライトは1灯式で四輪車に比べての幅が狭く被視認性が悪いため、9台の二輪車のヘッドランプのビームパターンを測定して、どの程度の範囲を照らすことができるのかを検証している。

文献 [6] では、夜間の衝突シナリオにおける運転者の応答を評価する方法について述べられている。この研究で得られた結果の主たる内容は、ヘッドライトの照度と運転者の応答距離を相関させることができるということであった。

これらの研究を踏まえると二輪車の視認性はヘッドライトの照度や配置に依存しており、四輪車と比較すると著しく低いということがわかる。

2.2 画像処理による屋外での赤外線マーカの検出に関する関連研究

鵜飼ら [7] は、踏切において、障害の存在を列車及び運転手に伝える特殊信号発光機の視認確認を昼間の運行時間帯でも行えるように点滅する赤外線LEDを利用した手法の有効性の検証を行った。この手法では太陽光などによって生じるノイズと赤外線マーカを区別するためにマーカに点滅パターンを付与し、時系列でパターンを検出することでマーカの識別を行った。また、この手法によって約800m離れたレール環境において検知率99.4%が実現できることが確認された。残りの0.6%については検出漏れと周辺の自動車に反射した光を誤検出したものであった。

3. 提案手法

本検証ではこれまでの可視光によるパッシブな検出に対して、より画像としての特徴を増やすためにアクティブな車載マーカを利用し検出を行うことで検出率の向上を図る。車載マーカに求められる要件として、

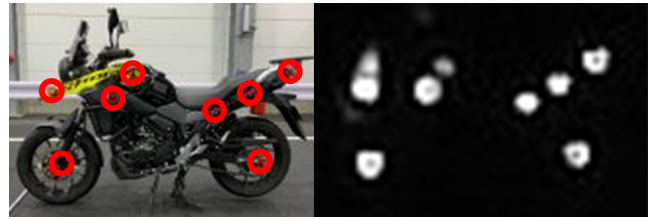


図1 可視光画像と赤外線画像の違い

- 他の運転者の視覚に影響しない
 - 車載する灯火類の保安基準 [8] に違反しない
 - 二輪の見た目を損なわない
 - 外灯や他車両の灯火といったノイズと区別できる
- の4つが挙げられる。

これらの要件を踏まえると可視光による車載マーカの実現は難しく、不可視光による車載マーカの利用が考えられる。マーカに利用できる不可視光として赤外線や紫外線が挙げられるが、紫外線は人体への影響が考えられるため赤外線を利用することとした。また、赤外線の中でADASへの実装を考えた際、比較的安価に用意できる近赤外線のLEDを用いたマーカとカメラを利用することとした。

マーカは二輪車に複数個搭載し、配置だけでなく時系列での処理によってノイズとの区別を行うため赤外線マーカは独自の点滅パターンで点滅させた。

可視光画像と赤外線画像の違いを図1に示す。

図のように可視光カメラでは点灯は映らないが、赤外線カメラでは点灯が確認できる。このような赤外線画像からなる動画に対し、本検証では赤外線マーカの点滅パターンを時間的に検出する手法と、時系列情報を扱わないため1フレームで検出が可能であるマーカの配置パターンを空間的に検出する二つの手法によって二輪車検出を行った。

3.1 点滅パターン認識による二輪車検出

本手法では赤外線マーカに対してノイズとなりうる外灯や他車両の灯火類との区別を行うために、マーカに付与した点滅パターンを認識することによって二輪車の検出を行う。点滅パターンの検出では時系列でノイズやデータ欠落に対応する。そこでオプティカルフローによってマーカの追跡とマーカの画像内の座標推定を行う。

本検証では、オープンソースライブラリ OpenCV[9] の特徴点抽出及びオプティカルフロー計算を利用し、点滅パターンの認識を行うプログラムを作成した。

ここでオプティカルフローとは、

- 隣接するフレームにおいて注目点の明るさはそれほど変わらない
 - 注目点周辺の画素は注目点と同様の動きをもつ
- という2つの仮定の下でフレーム間の注目点のベクトルを検出する手法である。

3.1.1 オプティカルフローを用いた点滅パターン検出

オプティカルフローを用いた点滅マーカの追跡の流れを示す。

(1) マーカを特定のパターンで点滅させる

(例：1100011000..., カメラのFPSが20の場合1：0.025秒点灯後0.025秒消灯，0：0.05秒消灯とする)

(2) カメラで撮影した動画をフレーム分割し特徴点抽出する

(3) フレーム間の点の移動をオプティカルフローによって計算

- オプティカルフローが計算可能
 - － 点灯状態としてリストに保存
- オプティカルフローが計算不可または画素値が閾値以下
 - － 直前の点灯時のオプティカルフローをもとに画像内のマーカ座標を推定
 - － 消灯状態としてリストに保存

(4) リストを参照し、マーカの点滅パターンと合致する点をマーカとして検出する

この処理を繰り返し行うことで動画内から点滅するマーカを検出する。

3.1.2 点滅パターンの設計

この手法を用いるために必要となる点滅パターンの条件を示す。まず、手法では消灯時の画像内のマーカ座標推定に直前の点灯時のオプティカルフローを使用する。フレーム間のベクトルであるオプティカルフローを計算するためには少なくとも2フレーム必要となるため、マーカの点滅における点灯時間も少なくとも2フレーム分確保する必要がある。

次に、カメラシャッターとマーカの点滅は同期していないため1フレーム分のマーカの点灯が2フレームにまたがって映る場合がある(例：マーカの点滅パターン1100に対してカメラ側では1100, 1110の2パターン存在する)。マーカの点滅をカメラで検出するためには必ず消灯のフレームが存在する必要があるため、マーカの点滅における消灯時間も少なくとも2フレーム分確保する必要がある。これらの条件を満たすうえで基本的な方針として、検出時間を短くするためにパターン長は短く設定し、そのパターンの繰り返しによって検出の精度を高める。

また、手法の評価実験を行うために条件を満たす最小パターンの1100から11000, 11100, 110000, 111000, 111100の計6つをパターンの候補として予備実験を行った。予備実験ではフレーム内に木や車、人を含み、かつ点滅マーカが写っていない約2500フレームの動画に対し点滅パターン検出プログラムを適用することで、実環境で誤検出となりうる点の数の比較を行った。点滅パターンと誤検出となりうる点の数の関係を図2に示す。

結果から、同じパターン長であればduty比が低いもの

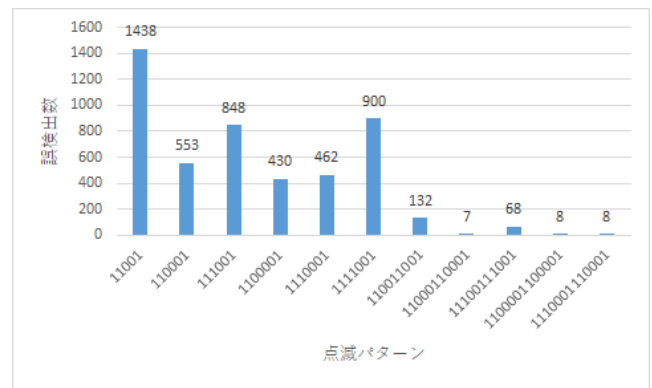


図2 点滅パターンと誤検出数の関係

が誤検出となりうる点の数が少ないといえる。そのため各パターン長の中でduty比の低い1100, 11000, 110000の比較を行う。パターン長4から5の変化では誤検出となりうる点の数が約半分となったが、パターン長5から6の変化では約1/5程度の減少しか見られなかった。また、同じパターンを2回繰り返した場合パターン長5と6で誤検出数にほとんど変化が見られなかった。この結果を踏まえ、より検出時間が短く、パターンの繰り返しによる誤検出となりうる点の減少数が多い11000が最も優れていると考えた。よって本検証の評価実験ではパターン11000を使用する。

3.2 テンプレートマッチングによる二輪車検出

本手法では赤外線マーカの配置のパターンを、テンプレートマッチングを用いて検出を行う。

3.2.1 テンプレートマッチング

テンプレートマッチングとは、検出したい物体の画像をテンプレートとして用意し、そのテンプレートを対象となる画像に1画素ずつずらしながらその部分の類似度を計算し、類似度の高い部分を物体として検出する手法である。本検証では、点滅パターン認識と同様にOpenCVを利用し、テンプレートマッチングを行うプログラムを作成した。類似度の算出方法として正規化相関係数を用いる。式を以下に示す。

$$R_{X,Y} = \frac{\sum_{y=0}^{h-1} \sum_{x=0}^{w-1} (T_{x,y} - T')(I_{X+x,Y+y} - I'_{X,Y})}{S_{X,Y}} \quad (1)$$

ただし

$R_{X,Y}$: 探索対象画像の (X,Y) 位置の演算結果

w, h : テンプレート画像の幅と高さ

$T_{x,y}$: テンプレート画像の (x,y) ピクセル値

$$x = [0, w-1], y = [0, h-1]$$

W, H : 探索対象画像の幅と高さ

$I_{X+x,Y+y}$: 探索対象画像の $(X+x,Y+y)$ ピクセル値

$$X = [0, W-w+1], Y = [0, H-h+1]$$

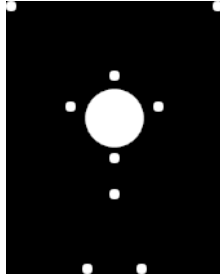


図 3 テンプレート (正面)

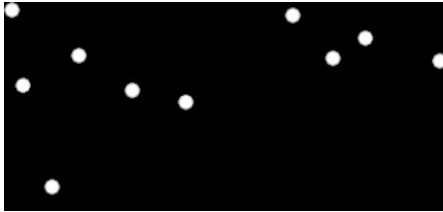


図 4 テンプレート (側面)

$$S_{X,Y} = \sqrt{\sum_{y=0}^{h-1} \sum_{x=0}^{w-1} (T_{x,y})^2 \sum_{y=0}^{h-1} \sum_{x=0}^{w-1} (I_{X+x,Y+y}^2)} \quad (2)$$

$$T' = \frac{1}{wh} \sum_{j=0}^{h-1} \sum_{i=0}^{w-1} T_{i,j} \quad (3)$$

$$I'_{X,Y} = \frac{1}{wh} \sum_{j=0}^{h-1} \sum_{i=0}^{w-1} I_{X+i,Y+j} \quad (4)$$

3.2.2 テンプレートの作成

テンプレートマッチングに用いるテンプレートを図 3, 図 4 に示す. テンプレートは二輪車に取り付けた赤外線マーカの位置をもとに作成している. 正面の構図は, ヘッドライトの影響も考慮し, ヘッドライトも含め作成した. また, 距離による映像内の二輪車の大きさの変化に対応できるように, このテンプレートを 10% ずつ縮小した 10 枚の画像を作成し, 複数のテンプレートでマッチングを行うこととした.

3.2.3 テンプレートマッチングによる二輪車検出

テンプレートマッチングによる二輪車検出の流れを示す.

- (1) マーカを撮影した映像から 1 フレームをグレースケール画像にする
- (2) 読み込んだ画像に対し 1 枚目のテンプレートを用いてマッチングを行う
- (3) 類似度が閾値より高い部分全てに矩形を描画する
- (4) (2)(3) を他の 9 枚のテンプレートについても行う
- (5) 次のフレームに対し (1)~(4) を行う

3.2.4 前処理

本検証では, 検出対象となる映像に加える前処理の有無による検出率の変化を検証する. 今回検証した前処理は平滑化, 二値化の 2 つである.

- 平滑化処理
 - 平滑化カーネルを定め, ある画素を中心とするカーネ



図 5 カメラの取り付け位置

ル内の画素の平均をとり, 中心画素の値とする処理

● 二値化処理

- 閾値を定めて, その値以上ならば値を 255, 値未満ならば値を 0 にする処理

これらの処理を用いて, 平滑化カーネル 3×3 で平滑化処理を加えた映像, 平滑化処理を加えた画像に閾値 100, 150, 200 で二値化処理を加えた映像の 4 種類の映像を作成した.

4. 評価実験・考察

4.1 実験の目的

本実験の目的は, 一般的な交通状況下を想定した環境で, 赤外線カメラとマーカによる二輪車検出の検出距離や適合率・再現率を定量的に評価することである.

4.2 実験方法

一般財団法人日本自動車研究所 (JARI) の特異環境試験場にて, 四輪車に搭載された赤外線カメラによる自動二輪車撮影実験を行った.

4.2.1 使用機材

実験で使用した機材を表 2 に示す.

車載カメラは図 5 に示すようにボンネットとフロントガラス上に設置し, ボンネットには地面から約 65cm でフロント先端部に, フロントガラス上には地面から約 150cm の位置に取り付けた.

4.2.2 実験構図

白線とガードレールのみの道路にて四輪車に搭載された赤外線カメラで 2 つの構図を撮影した. 撮影した構図は図 6 に示すように, 自動二輪車が四輪車と同じ車線の前方で停止し, 原付が四輪車の対向車線で停止している構図「追従・対向」, 交差点において自動二輪車が四輪車の左側で停止し, 原付が四輪車の右側で停止している構図「右・左から」の 2 つである.

撮影手順の概要を示す. 天井照明を消灯し, 四輪車から 100m 離れたところにライダーが乗った状態で静止した自動二輪車に時速 10km 弱で近づいていき, 車載カメラに自動二輪車が写らなくなったところで停止, そこからバック

表 2 実験で使用した機材

機材の種類	設置位置	用途	製品名	備考
RGB カメラ	四輪車	二輪車の撮影	GoPro HERO9 Black	60FPS, 1080p
RGB カメラ	四輪車	距離計測用メジャーの撮影	insta360 ONE X2	50FPS, 1440p
赤外線カメラ	四輪車	二輪車の撮影	ELP USBFHD05MT-DL36	20FPS, 1080p
赤外線 LED	二輪車	赤外線マーカ	浜松ホトニクス L12170	波長 870nm
四輪車	-	カメラを搭載	MAZDA MAZDA3	-
自動二輪車	-	撮影対象	SUZUKI V-Strom250	-
原付	-	撮影対象	SUZUKI Let's s4 pallet	-

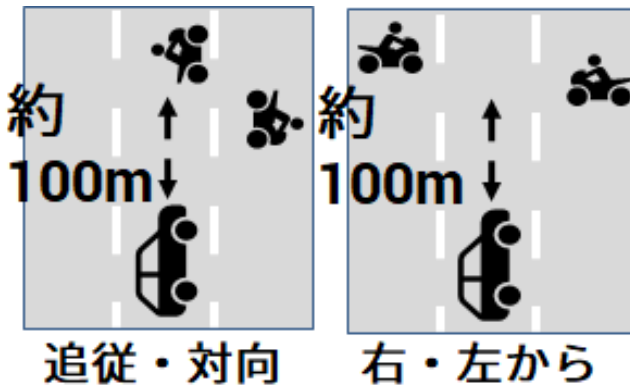


図 6 撮影構図



図 8 評価を行う部分



図 7 マーカの配置パターン

によって元の地点に戻ってくる。同時に距離を計測するため、自動二輪車の撮影と同時に運転席側扉付近に設置したカメラによって、隣に敷かれたメジャーを撮影した。自動二輪車のヘッドライトは常に点灯し、四輪車のヘッドライトはロービームで点灯させた。

メジャーを撮影した動画からの距離算出は次のように行った。まず、メジャー動画から目視で 5m, 10m, ..., と 5m おきにフレーム番号を確認し、メジャーの距離をそれぞれの区間のフレーム数で除算して 1 フレームあたりの距離を算出する。そこから 5m 間は等速であると仮定し線形補完することで距離を算出した。5m おきのフレームの確認は目視で行ったので有効数字は 1m とする。

4.2.3 赤外線マーカの配置

実験で使用した赤外線マーカの配置を図 7 に示す。正面に 9 個、両側面にそれぞれ 10 個ずつ取り付けた。

点滅パターンは 3.1.2 章で設定した 11000 (0.075 秒点灯, 0.175 秒消灯) を使用した。

4.3 点滅パターン認識による二輪車検出

4.3.1 評価方法

図 6 の右・左からの構図で撮影した 890 フレームからなる動画の各フレームに対して図 8 のように二輪車部分を囲む矩形を生成した。その矩形の範囲内の特徴点を正しい検出とし、矩形の範囲外の特徴点を誤検出として以下の項目で評価を行った。

- (1) 最大検出距離
- (2) 二輪車として検出した特徴点に対し正しく検出できた特徴点と誤検出の特徴点の数 (適合率)
- (3) 各フレーム内の点滅マーカ数に対し正しく検出できた特徴点の割合 (再現率)
- (4) 二輪車が写る全フレームに対し正しい検出を行えたフレームの割合 (再現率)

また、撮影したデータは二輪車とともに原付が写っているため、フレームを半分に分割し、二輪車部分にのみ評価を行った。二輪車と赤外線カメラの距離に対しての検出の変化を確認するため評価 (2), (3), (4) については 20m ごとの距離に区切って評価を行った。

4.3.2 評価結果

評価項目 (2), (3) の結果を図 9 に、評価項目 (4) の結果を図 10 に示す。最大検出距離は 100m であった。

4.3.3 考察

評価項目 (2) の結果から、今回の実験で最も遠い 100m ~ 80m の距離においても全検出の約 80% 以上が正しい検出であり、二輪車と赤外線カメラの距離が近づくにつれて割合はさらに大きくなるといえる。ここで、20m ~ 0m の正し

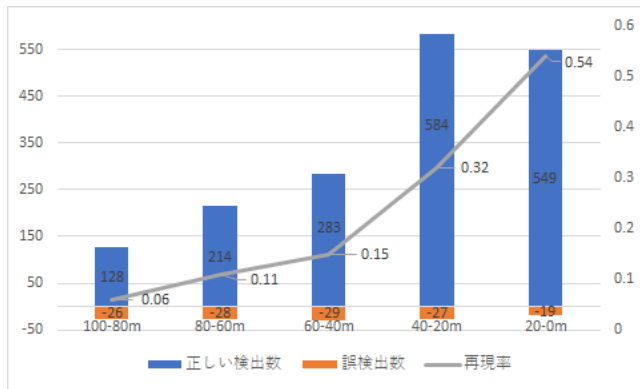


図 9 評価項目 (2), (3) による特徴点の数及び再現率

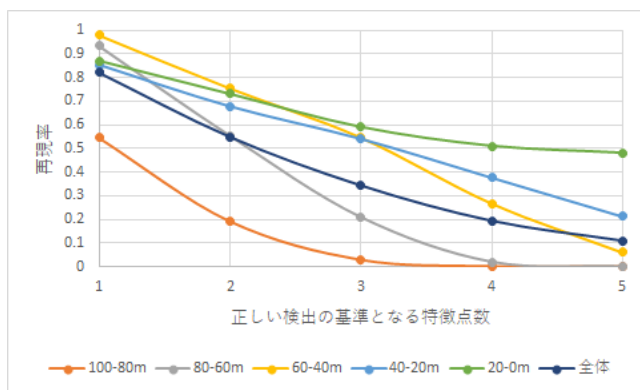


図 10 評価項目 (4) による再現率

い検出数が 40m～20m と比べて少ないのは、車速の関係で 20m 0m の区間のフレーム数が少なくなったためであると考えられる。

一方で、評価項目 (3) の結果から、再現率については 100m～80m の距離において 5% と非常に低い値になっている。この理由として、距離が離れることによってそれぞれのマークがぶれてまとまった点としてカメラに写ってしまうことや四輪車の揺れによるカメラのブレが考えられる。

20m～0m の距離においても約 50% となっており、特徴点の 2 つに 1 つ検出漏れを起こしてしまうといえる。この理由として、距離が近づくにつれフレーム間の点の移動が大きくなり、マークの推定座標の誤差が大きくなることや赤外線 LED の指向性によってマークの取り付け位置によってはカメラに映りにくくなっていることが考えられる。また、点滅における消灯→点灯のタイミングでフレーム単位での検出漏れが起りやすいことがわかった。そのため、再現率が 50% 程度になってしまったと考えられる。

特徴点の数に基づいた再現率では最大が約 50% であったが、評価項目 (4) のフレーム数に基づく再現率では、正しい検出の特徴点の数を 1 つとした場合に 100m～80m の区間で約 55% となり、80m より近い区間では 80% を超えることがわかった。

これらの結果から、各フレームの点滅マークそれぞれに着目した場合は再現率が最大 50% となり検出漏れが生じて

表 3 テンプレートマッチングの検証結果

対象映像	検出距離	最初の検出からの再現率
(1) 元映像	36m	98.7%
(2) 平滑化	36m	99.3%
(3) 二値化 (閾値 100)	29m	90.8%
(4) 二値化 (閾値 150)	37m	99.4%
(5) 二値化 (閾値 200)	48m	99.5%

いるが、各フレームの二輪車に着目した場合は、ほとんどの場合で再現率が 80% を超えており、二輪車の検出を行うという目的は概ね達成できていると考えられる。今回の評価では、特徴点抽出における特徴点らしさの閾値や特徴点間の距離などのパラメータを一定の値に行ったが、これらのパラメータを変更し、同様の評価を行うことでさらなる手法の改善が見込めると考えられる。

4.4 テンプレートマッチングによる二輪車検出

テンプレートマッチングによる赤外線マークの検出が可能であるかどうか、前処理の有無による検出の変化を検証した。

4.4.1 評価方法

図 6 の追従・対向の構図で撮影した 839 フレームからなる動画の各フレームに対してテンプレートマッチングを行い、矩形内に二輪車があれば検出、それ以外を誤検出として評価を行った。この映像に前処理を加えた映像を作成し、検証を行う。検出対象となる映像および評価項目を以下に示す。

● 対象映像

- (1) 元の輝度映像 (256 段階：明 255, 暗 0)
- (2) 平滑化カーネル 3×3 で平滑化処理を加えた映像
- (3) (2) に閾値 100 で二値化処理を加えた映像
- (4) (2) に閾値 150 で二値化処理を加えた映像
- (5) (2) に閾値 200 で二値化処理を加えた映像

● 評価項目

- (1) 最大検出距離
- (2) 最初の検出からの二輪車が写る全フレームに対し正しい検出を行えたフレームの割合 (再現率)

4.4.2 評価結果

各動画についての結果を表 3 に示す。また、各検出の様子を図 11～図 15 に示す。図中の矢印は正しい二輪車の検出を表している。

4.4.3 考察

元映像、平滑化処理の映像において、約 36m の距離から検出できている。これは目標である 35m 以上の距離からの検出を満たしている。最初の検出からの再現率が 100% に近いことから、一度検出してから検出漏れはほとんどないことがわかる。この手法は二輪車の見落としを防ぐには有効な手段であると判断できる。また、検出距離を伸ばすことで、検出性能を向上させることができると考えられる。

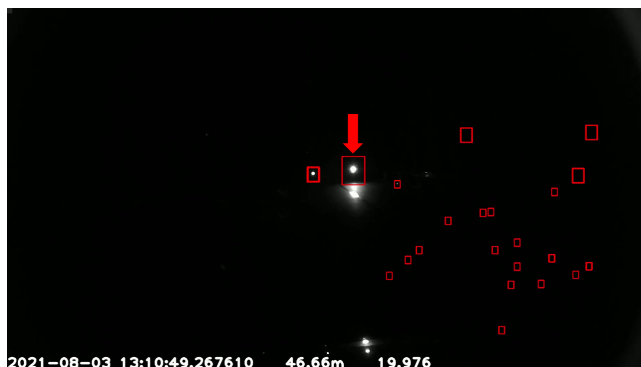


図 11 (1) 元映像



図 15 (5) 二値化処理 (閾値 200)

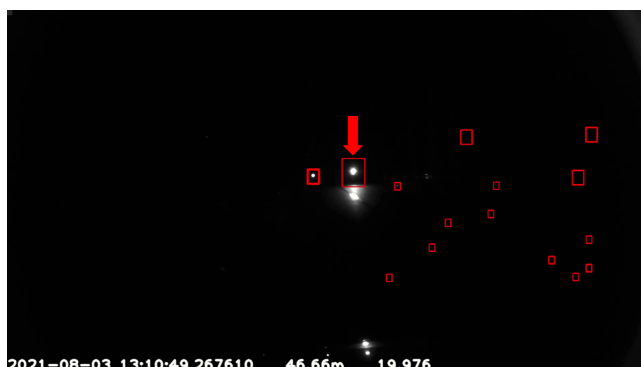


図 12 (2) 平滑化処理

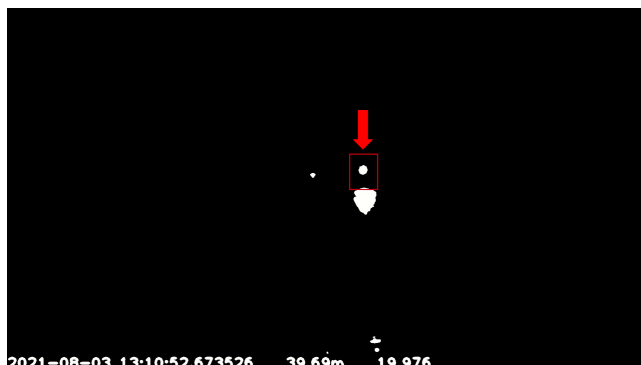


図 13 (3) 二値化処理 (閾値 100)

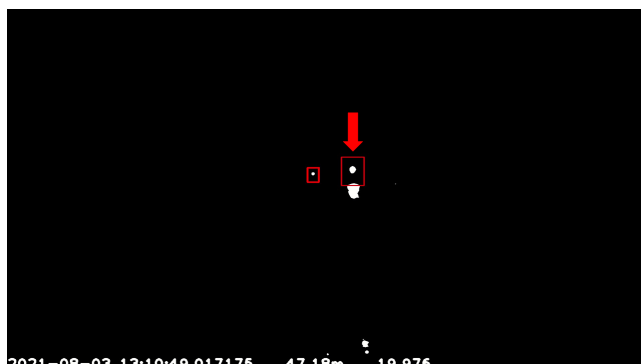


図 14 (4) 二値化処理 (閾値 150)

閾値 200 の二値化処理を加えることにより、再現率を落とすことなく検出距離を伸ばすことができている。一方で、閾値 100 の二値化においては、検出距離、再現率ともに減

少している。適切な閾値の二値化処理を行うことで、本手法の検出性能を上げることが可能である。

図 11, 図 12 と図 13, 図 14, 図 15 を比較すると、二値化処理を行った後では誤検出が大幅に減少している。これはわずかな輝度の差に反応して誤検出していたものが、なくなったためと考えられる。二値化は誤検出の減少に対し有効な手段である。どのくらいの有用性があるかを検証するため、評価項目に「検出した二輪車に対する正しい検出の割合 (適合率)」を新たに加え、再度評価を行う必要がある。

問題点として、本検証では赤外線マーカではなくヘッドライトが大きな特徴となって二輪車を検出している可能性が考えられる。その証拠として、マーカが消えているにも関わらず二輪車を検出しているフレームが多々見られたことがあげられる。この場合、そのほかの構図や赤外線を含まないヘッドライトのときに検出率が下がると考えられる。検出の基準を「赤外線マーカが点灯しているときに矩形内に赤外線マーカが全てあるとき」に変更し、再度検証を行う必要がある。

5. まとめと今後の課題

本検証では、二輪車の安全性の向上のための ADAS への実装可能性を考慮した赤外線カメラと赤外線マーカによる二輪車検出手法として、マーカに付与した独自の点滅パターンを認識することで二輪車を検出する手法と、マーカの配置に対してテンプレートマッチングで二輪車を検出する手法を提案した。また、提案手法の評価のためにマーカを搭載した二輪車に対し、赤外線カメラを搭載した四輪車で接近しながら撮影する実験を行い、適合率や再現率の評価を行った。

今後の課題として、手法のさらなる改善のため、点滅パターン認識による二輪車検出では特徴点抽出における特徴点らしさの閾値や特徴点間の距離を、テンプレートマッチングによる二輪車検出では二値化の閾値や平滑化処理のカーネル数といったパラメータを変化させながら同様の評価を行うことでより適したパラメータを決定する必要がある。

ある。

謝辞 本検証は 2019 年度～2021 年度 JARI 委託研究「ITS/AD 環境における二輪車課題の抽出と対応検討」による支援を受けたものです。

参考文献

- [1] 警視庁：二輪車の交通死亡事故統計（2020 年中）入手先 https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/kotsu/jikoboshi/nirinsha/2rin_jiko.html (2021.10.27).
- [2] 財団法人 交通事故総合分析センター：イタルダ・インフォメーション 二輪車事故の特徴－見落としに注意－, No. 91, Nov (2011)
- [3] E. Klein and G. Stephens: *Visibility Study - Methodologies and Reconstruction*, Future Transportation Technology Conference & Exposition, SAE International (1992).
- [4] N. Haferkemper, J.H. Sprute, C. Schiller, and T.Q. Khanh: *The Effect of LED Daytime Running Lights on Motorcycle Conspicuity and Detection Distance Estimation - Latest Test Results*, SAE 2010 World Congress & Exhibition, (2010).
- [5] G. de Paula Brito, J.A.F. Borges, and G.F.G. Nogueira: *Analysis of Blind Areas in Different Categories of Vehicles Considering the Evolution of Projects and Legislation*, 23rd SAE Brasil International Congress and Display, (2014).
- [6] W.T. Neale, N. Mckelvey, D. Pentecost, and D. Koch: *Motorcycle Headlamp Distribution Comparison*, WCX World Congress Experience, SAE International, (2018).
- [7] 鶴飼正人, 長峯望：画像認識による特殊信号発光機の視認確認手法, 鉄道総合技術研究所報告, vol.25, No.5, (2011).
- [8] 国土交通省：道路運送車両の保安基準（2021 年 4 月 28 日現在）第 42 条 その他の灯火等の制限
- [9] OpenCV(Open Source Computer Vision Library)：入手先 <https://opencv.org/> (2021.10.27).