

赤外線マーカを付与した二輪車を点滅パターンを用いて検出するシステムの設計と実験評価

永井 駿佑¹⁾ 井上 裕貴²⁾ 寺田 智哉¹⁾ 北村 浩章¹⁾ 木谷 友哉^{3)†}

車載カメラを用いて他の運転者が二輪車を早期発見できるようにするため、二輪車に赤外線 LED を取り付け、車載した赤外線カメラから二輪車を検出する手法の有効性についての実証実験を行った。検出手法として点滅パターンの認識を用いる手法を使用し、誤検出数、検出漏れ、検出可能距離、処理時間を評価項目として評価した。また、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、一般的な可視光カメラでは検出が難しい夜間において特に高い性能を示した。理想的な環境では、約 100m 先から二輪車検出が行えることを確認し、マーカの誤検出、二輪車の検出漏れが少ないことを確認した。

キーワード: エレクトロニクス・制御, イメージ認識システム, 高度交通システム, 二輪車, 被視認性

1. はじめに

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、二輪車に関わった死傷事故の特徴として、二輪車側が被害者である第二当事者となる割合が約 70% を占めることがわかっている。また、事故類別の二輪車死傷事故の件数は出会い頭、右折時事故が高い割合を占めている。その中で 2010 年における二輪車が第二当事者で事故類型が出会い頭または右折時事故の場合、第一当事者の人的事故要因の約八割以上は発見の遅れであった。つまり、二輪車が被害者となる事故の多くは自動車運転者が二輪車を見落とすことが原因であるといえる。警視庁が発表した二輪車の交通死亡事故統計 (2020 年中)⁽³⁾ の発生時間帯別の二輪車事故件数を図 1 に示す。図より四時、八時、十八時が特に事故件数が多いことがわかる。これは単純に交通量が多い時間に事故が多いとも考えられるが、おおよそ六時を基準に十二時間で分けた場合、六時から十八時が十七件、十八時から六時が二十三件となり夜間のほうが二輪車の事故が多い傾向があると考えられる。

一方で近年、ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) とよばれるドライバーの安全・快適を実現するために自動車自体が周囲の情報を把握し、ドライバーに的確に表示・警告を行ったり、ドライバーに代わって自動車を制御するなどの運転を支援するシステムの普及が進んでいる。しかしながら、現在、ADAS で主に用いられる可視光カメラによる物体検出の研究は主に自動車や歩行者が多く、二輪車を対象としたものは少ないのが現状である。また、可視光カメラによる物体検出が主であり、可視光カメラでは夜間の検出が難しいといった問題がある。そこで、二輪車に光学マーカを車載し、そのマーカを検出することで夜間での二輪車検出が可能になり二

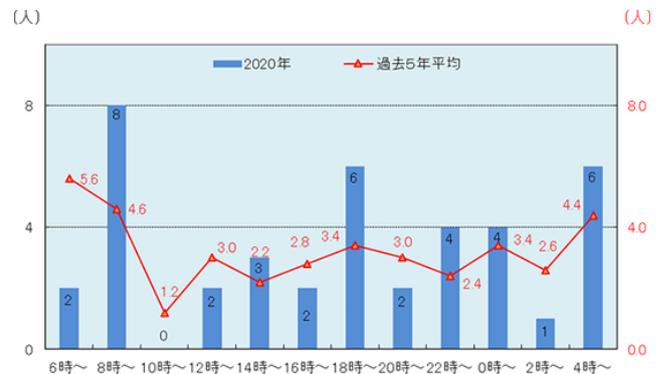


Fig.1 時間帯別事故総数

輪車の安全性を高められると考えた。本検証では、マーカとして独自の点滅パターンを付与した赤外線 LED を二輪車に四～十個取り付け、自動車の車載赤外線カメラから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、マーカの点滅パターンにより時間的な検出をする点滅パターン認識による手法の実装を行った。また、停止している二輪車に対し自動車が 100m 先から近づいていき、その動画に対して最大検出距離や適合率、再現率、処理時間を評価した。

本研究は、著者らの研究グループにて実施した関連研究⁽¹⁾と研究背景を同じくしており、並行して研究を行った。実験環境や装置については共通のものを利用している。

2. 点滅パターン検出と配置パターン検出の比較

Table. 1 点滅パターン検出と配置パターン検出の特徴比較

比較項目	配置パターン検出	点滅パターン検出
ノイズへの強さ	★	★★★★
検出の早さ	★★★★	★★
障害物への強さ	★	★★★★
対象物の移動量への強さ	★★★★	★

本研究で提案する点滅パターン検出と関連研究⁽¹⁾で提案されている配置パターン検出との比較を示す。配置パターン検出の利点として、検出速度が早く、対象物の移動に強いことが挙げられる。1 フレームのみで検出可能なため検出が早く、対象

1) 静岡大学情報学部
 2) 静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻
 3) 静岡大学大学院情報学領域
 (432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1)
 † E-mail:t-kitani@kitanilab.org

物の追跡を必要としないため対象物の移動に強いと考えられる。配置パターン検出の欠点として、ノイズと障害物に弱いことが挙げられる。マーカの配置されているパターンで検出を行う配置パターン検出は、他の光源等の影響を受けやすいためノイズに弱く、マーカが1つでも隠れると配置パターンを認識できなくなる可能性があるため障害物に弱いことが考えられる。

一方、本研究で提案する点滅パターン検出の利点として、ノイズと障害物に強いことが挙げられる。交通環境内に、二輪車に搭載したマーカと同一のパターンで点滅し続ける物体は少ないと考えられるため他の光源等のノイズに強く、一つのマーカのみで検出可能なため障害物に強いと考えられる。点滅パターン検出の欠点として、検出速度が少し遅く、対象物の移動に弱いことが挙げられる。検出するためには、検出点滅パターン長の時間が必要であるため、1フレームで検出可能な配置パターン検出より検出速度が遅くなる。また、対象物を検出点滅パターン長の時間、正確に追跡する必要があるため、追跡を必要としない配置パターン検出より対象物の移動に弱いと考えられる。しかしながら、本実験で設定する検出点滅パターン長の時間は250msと500msのため、配置パターン検出と比較すると速度は遅くなるが、点滅パターン検出も十分な速度で検出可能である。また、交通環境内には多くの外灯や車両が存在しているため、外灯や車両のヘッドライトの影響を受けにくく、車両に隠れてマーカの一部分が見えない状態でも検出可能な点滅パターン検出は、実環境において配置パターン検出より有効的であるとされる。そのため、本研究では点滅パターン検出を提案する。

3. 提案する赤外線マーカを用いた二輪車検出手法

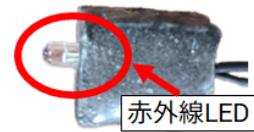
車載マーカに求められる要件として、

- 他の運転者の視覚に影響を与えない
- 車載する灯火類の保安基準⁽⁴⁾に違反しない
- 二輪車のデザインを損なわない
- 外灯などの他の光源と区別できる

の四つが挙げられる。これらの要件より、可視光マーカによる実現は難しく、不可視光マーカの利用が考えられる。不可視光の中でマーカに利用できるものとして赤外線や紫外線がある。しかし、紫外線は人体への影響が懸念されるため赤外線を使用することとする。将来的なADASへの実装を考慮して、車載する赤外線マーカは価格が安価であり、他の運転手の視界に影響を与えない近赤外線LEDを使用する。太陽光は赤外線を含むため赤外線マーカは日中には検出が難しくなるが、薄暮や夜間のような人間が視認づらく事故の発生が多い時間帯に効果的であると考えられる。被検出率を向上させるため、マーカは二輪車に複数個搭載し、時系列の点滅パターンを持たせることでノイズとの区別して検出する方法を検討した。

可視光画像と赤外線画像の違いを図3に示す。図3より、可視光カメラではマーカの点灯は確認できないが、赤外線カメラではマーカの点灯が確認できる。

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系列的に検出する手法を提案



(a) 赤外線マーカ外観



(b) マーカ配置パターン（二輪車の前面、背面、側面）

Fig.2 取り付けした赤外線マーカと二輪車でのマーカ配置パターン

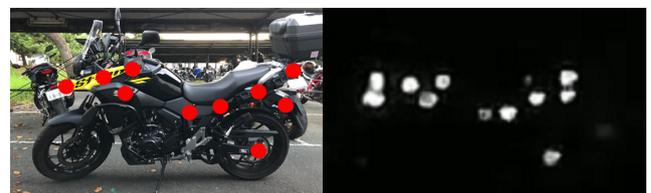


Fig.3 可視光画像と赤外線画像の違い（赤外線画像にはフィラメントバルブ式のヘッドライトも写っている）

する。

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。

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

という二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。オプティカルフローを交通環境で利用し、歩行者衝突警報システムの開発を行う研究も存在する⁽⁵⁾。

本検証では、オプティカルフローの計算で一般的に用いられているKLTトラッカー法とよばれるShi-Tomashiの特徴点抽出⁽⁶⁾とLucas-Kanade法⁽⁷⁾によるオプティカルフロー計算を組み合わせた手法によってオプティカルフローの計算を行う。また、オープンソースライブラリOpenCV⁽⁸⁾で実装されているこれらの関数を使用して、点滅パターンの認識を行うプログラムを作成した。

(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、以下1.~4.に示す。

1. マーカを特定のパターンで点滅させる
(例：カメラの撮影1フレーム分間隔に合わせて点灯または消灯させる)
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。また、追跡したマーカを保存するリストの大きさは、検出する点滅パターンの二倍の大きさにしている。リストの大きさを超える場合は、リスト内の最も古いものを消去し、新しいものをリストに追加する。このリスト内に検出する点滅パターンが含まれていれば、点滅パターンを検出できたとみなしている。

(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。

マーカが点灯しているフレームを1、消灯しているフレームを0で表す。カメラシャッターとマーカの点滅は必ずしも同期していないため1フレーム分の長さを点灯させ続けたマーカは2フレームにまたがって映りこんでしまう場合がある。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。

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6パターンとそれらを二回繰り返したパターンを含めた計12パターンを候補として予備実験を行った。予備実験では赤外線を多分に含む太陽光の下で撮影フレーム内に木や車などの反射物や、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量の比較を行った。また、実際に点滅パターンを検出する際は、11000を例にした場合、1100011000...と続いていくため、点滅パターン候補の末尾

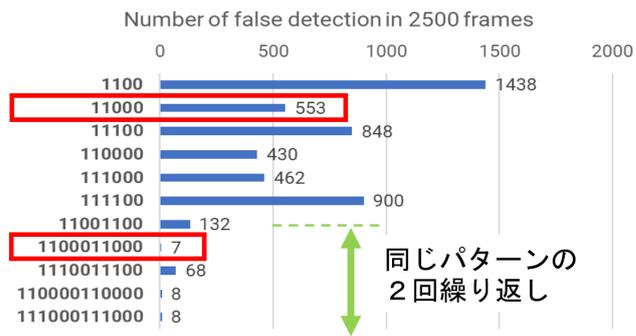


Fig.4 点滅パターンと誤検出数の関係

に1を加え、末尾の1まで検出して初めて検出したと見なして予備実験を行った。

点滅パターンと誤検出となりうる点の数の関係を図4に示す。結果から、同じパターン長であればduty比(1の割合)が低いもの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40%程度に減少したしたが、パターン長5から6の変化では約20%程度の減少しか見られなかった。また、同じパターンを二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。

しかしながら、マーカはパターン11000で点灯させるが、カメラ側には11000と11100の2パターンで写りうる。そのため、プログラムでマーカを検出する際には、11000または11100のどちらかと合致すれば検出できたと見なす。また、点滅パターン長5bit二回繰り返しを検出する場合は、1100011000,1110011100,1110011000,1100011100の4パターンで写りうる。しかしながら、カメラ側に写るパターン11000と11100は周期的に入れ替わるため、1110011000,1100011100は周期的に一回検出されるだけである。そのため、全体から見るとごく僅かな回数しか検出されないため、点滅パターン長5bit二回繰り返しを検出する場合は、1100011000,1110011100のどちらかと合致すれば検出できたと見なす。

(3) 特徴点抽出及びオプティカルフローのパラメータ

OpenCVの特徴点抽出及びオプティカルフローの主なパラメータと使用したパラメータ値を以下に示す。

- 特徴点抽出
 1. maxCorners：特徴点の最大数, 30
 2. qualityLevel：特徴点を選択する閾値, 0.5
 3. minDistance：特徴点間の最小ユークリッド距離, 1
 4. blockSize：特徴点の計算に使う周辺領域のサイズ, 4
- オプティカルフロー

1. winSize : オプティカルフロー推定の計算に使う周辺領域サイズ, (30, 30)
2. maxLevel : 使用するピラミッド数, 0
3. criteria : 繰り返しの終了条件, (3, 10, 0.03)

これらのパラメータの調整は予備実験を行って決定した。特徴点抽出のパラメータにおいては、minDistance と blockSize が重要なパラメータである。二輪車に取り付けたマーカを遠方から見ると、マーカ同士の距離がとても近く見えるので、minDistance は小さい値とした。また、blockSize は特徴点抽出の計算領域内に映り込むマーカの数が高々一個であることが望ましいと考えられるため、できる限り同一ブロック内にマーカが二個以上映り込まない大きさの値とした。オプティカルフローのパラメータにおいては、winSize と maxLevel が重要なパラメータである。オプティカルフロー推定の計算に使用する周辺領域サイズに、多くのマーカが写り込むことが望ましいと考えられるため、winSize は大きい値を使用した。maxLevel はパラメータ値が大きいほど、動きが大きい特徴点を追跡しやすく、パラメータ値が小さいほど、動きが小さい特徴点を追跡しやすくなる。そのため、本実験では、停止している二輪車に自動車徐徐に接近していく構図が主であり、特徴点の動きが小さいため、maxLevel は小さい値とした。

上記で示した使用したパラメータ値は、予備実験結果の中から検出精度が優れていたパラメータ値を使用しただけであり、この値を推奨する訳ではない。用途や状況に応じて適切にパラメータ値を設定することが重要である。

4. 評価実験・考察

4.1. 実験の目的

本実験の目的は、一般的な交通環境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可能距離や赤外線マーカの適合率、再現率並びに二輪車の再現率を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、自動車側に搭載した赤外線カメラによって二輪車撮影実験を行った。

(1) 使用機材

二輪車に装着する赤外線マーカとして、浜松ホトニクス社の L12170[†]を使用した。この赤外線 LED はサイズは直径 5mm の砲弾型であり、波長 870nm、半減角 30 度、放射束 80mW、放射強度 150mW/sr である。この赤外線 LED を図 2(a) のような形で穴をあけたスポンジに埋め込み、二輪車に取り付けた。このマーカの点滅をプロトタイピング用のマイクロコントローラ M5stack Basic[‡] を用いて制御を行った。

自動車側に搭載する赤外線カメラは解像度 1920 × 1080、20fps の ELP USBFHD05MT-DL36 を使用した。イメージセンサは OmniVision 社の OV2710[§] が使用されており、可視光から赤外線まで検知が可能である。このカメラに対し、波長 900nm 以下の光をカットするフィルタである富士フィルム社製の IR90[¶] を取り付けて赤外線部分のみを撮影した。このフィルタは波長 900nm 以下の光をカットするのに対し、赤外線 LED の波長は 870nm である。しかしながら、実機で検証したところ赤外線 LED の光はカットされず可視光のみカットされることを確認した。

実験で使用した自動車はワンボックスタイプのトヨタ車、二輪車は SUZUKI 社の V-Strom250 (型式 DL250L7) である。この自動車のヘッドライトはロービームが LED であり赤外線成分をほとんど含まなかった。自動車のハイビーム、二輪車のヘッドライトのハイビーム、ロービームはフィラメントバルブが使われており赤外線成分を含むことを確認した。

カメラは地面から約 150cm の位置である自動車のフロントガラス上に設置する。状況確認用に赤外線カメラとほぼ同じ画角で対象の二輪車を撮影するための可視光カメラとして GoPro Hero9 Black^{||} を用いた。

プログラムを実行する PC は、CPU : Intel(R) Core(TM) i7-1065G7、GPU : Intel Iris Plus Graphics、RAM : 16GB、OS : Windows10 を搭載した PC を使用した。また、開発環境として Python 3.9.7、Anaconda 4.10.3、OpenCV 4.5.5 を使用した。

(2) 実験構図

白線とガードレールのみの道路にて自動車に搭載された赤外線カメラで三つの構図を撮影した。薄暮から夜間を想定するため、試験場内の照明はすべて消して撮影を行った。

撮影した構図を図 5 に示す。二輪車が自動車と同じ車線の前方と自動車の対向車線で停止している構図「追従・対向」、二輪車が自動車の左側と右側で停止している構図「右・左から」、自動車を停車させ、二輪車が自動車の前を横切る構図「右直」の三つである。

また、通常的环境である元輝度に加え、図 6 に示すように 2 つの環境条件で撮影して評価を行った。

一つ目は、日射装置を自動車の正面において逆光を再現しノイズを発生させた構図である。二つ目は、特異環境試験場の霧発生装置で視程 30m の設定で霧を発生させ、視認性を下げた構図である。ただし、試験場内の温度や空調などの影響で実際の実験時の視程は時間により多少変化し 30m よりも長いときもあった。

撮影手順の概要を示す。二輪車と自動車のヘッドライトをロービームで点灯させる。100m 先に停止している二輪車に対し、自動車が時速約 10km で近づいていく。安全性を考慮し、追従・対向の構図では二輪車の 10m 手前で停止するようにし

[§]OmniVision: OV2710 datasheet, revision 1e (2014).

[¶]FUJIFILM: 富士フィルム光学フィルター FUJIFILM OPTICAL TRI 48 ACETYLCELLULOSE, <https://asset.fujifilm.com/www/jp/files/2019-12/10825b6d1310354377e8edc803f309f2/filmsheetfilterhandbook01.pdf>.

^{||}GoPro: HERO9 Black 5K 20MP, <https://gopro.com/ja/jp/shop/cameras/hero9-black/CHDHX-901-master.html>.

^{*}JARI 特異環境試験場, <https://www.jari.or.jp/test-courses/jtown/test-path/special-environment-area/>

[†]Hamamatsu Photonics K.K.: 赤外 LED L12170 (2014).

[‡]M5stack: M5Stack, <https://m5stack.com/>.

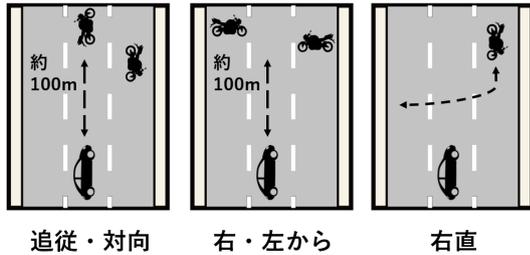


Fig.5 撮影構図



Fig.6 逆光・霧の映像

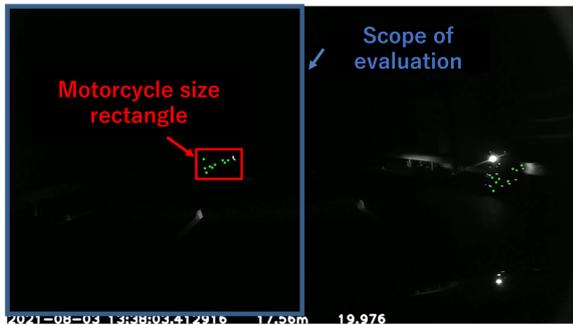


Fig.7 評価を行う部分

た。さらに、後に二輪車と自動車の距離を算出するため、自動車の扉付記に設置したカメラで地面に敷かれたメジャーを撮影した。

(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について、図 2(b) 示す。正面に九個、両側面にそれぞれ十個、背面に四個取り付けた。

点滅パターンは 3.1.(2) 項で設定した 11000 (赤外線カメラのフレームレートを 20fps と想定し、0.075 秒点灯、0.175 秒消灯) とした。

4.3. 評価方法

図 5 の対向・追従、右・左から、右直の構図で撮影した動画の各フレームに対して、図 7 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。

また、オプティカルフローで追跡したマーカの状態を保存したリストから点滅パターンを検出する際に、点滅パターン長が 5bit の 11000 に加え、点滅パターン長を二回繰り返しの 10bit にした場合においても評価を行った。

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. 対向の構図での元輝度映像 (256 段階：明 255, 暗 0)

2. 追従の構図での元輝度映像
3. 追従の構図での逆光の映像
4. 左からの構図での元輝度映像
5. 左からの構図での逆光の映像
6. 左からの構図での霧の映像
7. 右からの構図での元輝度映像
8. 右直からの構図での元輝度映像

● 評価項目

1. 最大検出距離

最初に正しい検出を行うことができた距離

2. マーカ適合率 (Marker precision)

二輪車として検出した全ての特徴点に対し正しく検出できた特徴点の割合

$$\text{マーカ適合率} = \frac{\text{区間内の正しい検出数}}{\text{区間内の正しい検出数} + \text{区間内の誤検出数}}$$

3. マーカ再現率 (Marker recall)

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

$$\text{マーカ再現率} = \frac{\text{区間内の正しい検出数}}{\text{二輪車の各面に取り付けたマーカ数} \times \text{区間内のフレーム数}}$$

4. 二輪車再現率 (Motorcycle recall)

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

$$\text{二輪車再現率} = \frac{\text{区間内の正しい検出が行えたフレーム数}}{\text{区間内のフレーム数}}$$

正しい検出が行えたフレームの基準は、フレーム内に 1 個以上のマーカを正しく検出できたときとする。

5. 処理時間 (Processing time)

三回計測したプログラムの実行完了時間の平均

代表として左から・元輝度の動画 (50.2 秒, 1920 × 1080, 20fps) を使用する。

二輪車と自動車の距離による変化を検証するため評価項目 2, 3, 4 については距離を 5m ごとに区切り、それぞれの区間で評価を行った。右直の構図は他の構図と異なり、自動車が停車した状態で二輪車が走行する構図である。そのため、5m 区切りの区間ではなく、右直の構図における二輪車の走行挙動として、二輪車が自動車に向かって走行し、カーブに差し掛かるまでの区間を「右直開始」、カーブの開始から終了までの区間を「カーブ中」、カーブが終わり直進する区間を「右直終了」として、三区間に分けて評価を行う。また、二輪車が動く構図であるためフレーム内に二輪車の正面や側面が流動的に映り、各フレームに映るべきであるマーカの個数を決定するのが難しいため、マーカ再現率の評価は行わない。

4.4. 評価結果

対象の二輪車が左から横切ろうとしている構図を代表的な構図として、提案する点滅パターンによる二輪車の検出手法の性能について、マーカ適合率、マーカ再現率、二輪車を検出するために一つ以上のマーカを各フレームで検出できているかの結果を図 8 に示す。また、右直事故のシチュエーションに相当す

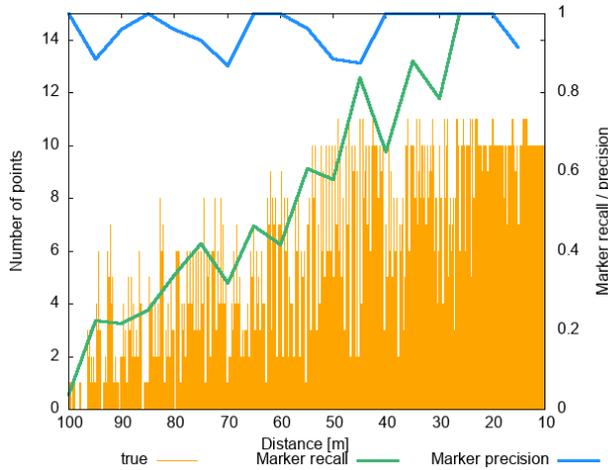


Fig.8 検出点滅パターン長 5bit での点滅パターン認識結果であるマーカ適合率、マーカ再現率、距離と正しいマーカ検出数の関係性（左からの構図・元輝度）

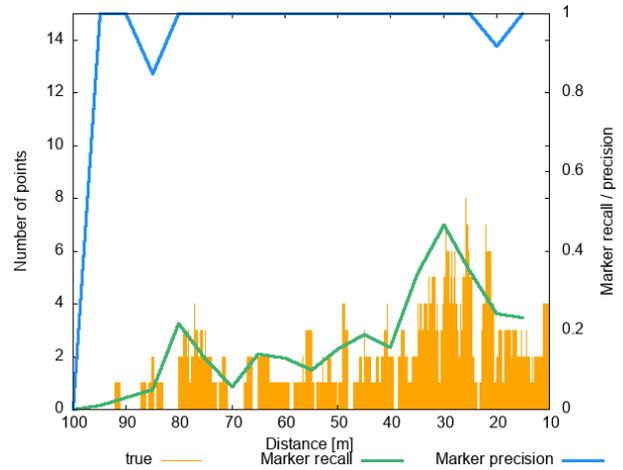


Fig.10 検出点滅パターン長 5bit 二回繰り返しでの点滅パターン認識結果であるマーカ適合率、マーカ再現率、距離と正しいマーカ検出数の関係性（左からの構図・元輝度）

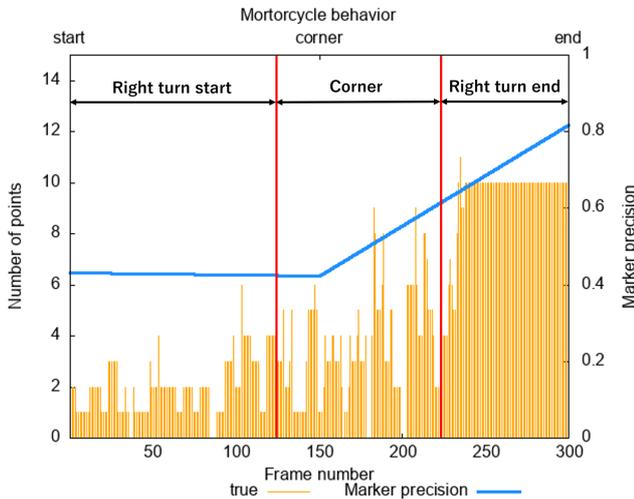


Fig.9 検出点滅パターン長 5bit での点滅パターン認識結果であるマーカ適合率、マーカ再現率、距離と正しいマーカ検出数の関係性（右直・元輝度）

る対象の二輪車が対向から来て目の前を左に横切る構図での、提案手法のマーカ適合率、マーカ再現率、二輪車を検出するために一つ以上のマーカを各フレームで検出できているかの結果、フレームごとの正しい検出数とその距離のプロットを図9に示す。

さらに、これまでは点滅パターン長は 5bit であり 11000 としていたが、点滅パターン長を二回繰り返しの 10bit にした場合のマーカ適合率、マーカ再現率、二輪車のフレームごとの正しい検出数とその距離のプロットを図 10 に示す。

なお、以降の図において、True は正しい検出を示し、False は誤検出を示す。また、各撮影構図における最大検出距離およびマーカ適合率・再現率、二輪車再現率をまとめた表を表 2 に示す。

対象動画 (50.2 秒, 1920 × 1080, 20fps) に対する処理時間の計測結果は、点滅パターン長 5bit は 64.8 秒、点滅パターン長 5bit 二回繰り返しは 69.3 秒であった。

4.5. 考察

(1) 検出距離

表 2 より、最大検出距離という観点では、検出点滅パターン長 5bit であれば霧と追従・逆光以外のすべての構図で最大検出距離が二輪車と自動車の最大距離と一致する。

霧と追従・逆光以外の構図で、最大検出距離が二輪車と自動車の最大距離と一致した理由として、マーカの点滅を二輪車の面ごとに統一したことが挙げられる。100m 地点でカメラに映るマーカはほとんどつぶれており、マーカ一つずつを検出することは難しい。しかしながら、マーカの面ごとの点滅が一致しているため、複数のマーカを大きな一つのマーカとして検出できれば点滅パターン検出が行えると考えられる。

(2) 霧の影響

霧の構図において、検出距離が著しく低下した理由として、可視光に近い近赤外線は、可視光同様に透過率が低下するため⁽⁹⁾であると考えられる。霧の構図の動画を目視で確認したところ、二輪車と自動車の距離が約 40m になるまでマーカの点灯を確認することができなかったため、そもそもの検出可能距離が 40m であったと考えられる。それに対し、最大検出距離は約 31m という結果となり検出可能距離と一致しなかった。この理由として、赤外線マーカがぼやけることによって特徴点として抽出することが困難になったと考えられる。さらに、このぼやけによってマーカ点灯時カメラに映る明るさが弱まり、点灯が消灯としてカメラに映り、点滅パターンを検出できなかったと考えられる。

(3) 逆光の影響

追従・逆光の構図において、最大検出距離が約 0m となり、全くマーカを検出をできなかった理由として、追従・逆光の構図では日射装置が二輪車の真後ろに配置されているため、マーカの赤外線が日射装置の赤外線に完全に埋もれてしまったためと考えられる。同じ逆光でも二輪車と日射装置の配置がズレて

Table. 2 点滅パターン検出における各撮影構図の検出結果

二輪車の 撮影構図	検出点滅パターン長 5bit 1 回				検出点滅パターン長 5bit 2 回繰り返し			
	最大 検出距離	構図全体の マーカ適合率	構図全体の マーカ再現率	構図全体の 二輪車再現率	最大 検出距離	構図全体の マーカ適合率	構図全体の マーカ再現率	構図全体の 二輪車再現率
対向・元輝度	>90m	84%	35%	94%	86m	99%	23%	87%
追従・元輝度	>100m	95%	56%	87%	95m	100%	31%	64%
追従・逆光	-	0%	0%	0%	-	0%	0%	0%
左から・元輝度	>100m	96%	61%	94%	92m	99%	17%	77%
左から・逆光	>100m	92%	42%	93%	>100m	99%	16%	73%
左から・霧	31m	97%	29%	50%	24m	96%	17%	43%
右から・元輝度	>90m	96%	65%	98%	88m	99%	13%	73%

いる左からの構図であれば、最大検出距離 100m、構図全体のマーカ適合率 92% と高い評価結果が確認できる。逆光においても、太陽が二輪車の真後ろに存在しなければ十分マーカを検出できると考えられる。

(4) 対向や逆光の構図でのマーカ適合率低下

表 2 より、検出点滅パターン長 5bit の場合において、対向や逆光の構図で、他の構図より構図全体のマーカ適合率が低下した理由として、地面に反射したヘッドライトや日射装置の光が赤外線を含み、それらがカメラの振動などでちらつき点滅パターンとして誤検出してしまったためだと考えられる。しかしながら、検出点滅パターン長 5bit 二回繰り返しの場合においては、対向や逆光の構図でも、構図の全体のマーカ適合率 99% 以上であることが確認でき、検出点滅パターン長を二倍にすることでマーカ適合率の低下を改善できる。また現在、車両に標準搭載されているヘッドライト等の光源の LED 化が進んでおり、これまでのハロゲンヘッドライトが赤外線を多く含む一方、LED ヘッドライトではほぼ赤外線を含まない。そのため赤外線を含むヘッドライトによる誤検出は今後減少すると考えられる。

(5) 右直の構図

図 9 より、右直の構図では、カーブ中に正しい検出数が増加していき、右直終了時に最大値になっている。これは、右直開始時は対向の構図になるため、ヘッドライトが原因で正しい検出が減少し、カーブするにつれて対向の構図から右からの構図に変化するため、正しい検出が増加したと考えられる。

(6) 検出点滅パターン長の変化による効果

表 2 より、検出点滅パターン長 5bit 二回繰り返しの場合、元輝度の映像ではすべての構図において、構図の全体のマーカ適合率 99% 以上とほぼ誤検出がなく、最大検出距離約 85m 以上という結果が確認できる。しかしながら、図 8、図 10 より、検出点滅パターン長 5bit の場合では、大きな検出漏れ区間がほとんどないのに対して、検出点滅パターン長 5bit 二回繰り返しの場合では、距離が遠い場合において約 4m 程の検出漏れ区間が複数箇所存在し、最大検出距離後に安定してマーカを検出できていないという課題がある。また、表 2 より、構図全体の二輪

車再現率が検出点滅パターン長 5bit の場合よりも低下していることから検出漏れが増加していることが確認できる。

図 10 より、検出点滅パターン長 5bit 二回繰り返しの場合、誤検出がほとんど無くなるが、正しい検出も大きく減少しており、マーカ再現率が大きく減少している。これは、検出点滅パターン長を二倍にしたことにより、オプティカルフローの特徴点追跡を正確にできている必要がある長さも二倍になり、追跡が途中で失敗しているためと考えられる。消灯時はマーカ追跡できないため、直前の点灯時のオプティカルフローをもとにマーカの座標を推定している。そのため、消灯時のマーカ追跡は精度が低いという問題がある。消灯時のマーカの座標推定の精度を上げることができれば、マーカ再現率を増加させることができると考えられる。また、検出点滅パターンの長さを二倍にしたことで、マーカの検出に掛かる時間も二倍になるが、カメラのフレームレート (fps) を二倍することでマーカの検出に掛かる時間は解決できる。

(7) 処理時間

プログラムの処理時間は、対象動画の時間を超えており、今回の実験条件・機材ではリアルタイム処理は難しいという結果になった。しかしながら、解像度を小さくしたり、検出点滅パターンを一つだけに絞ることで処理時間を短くすることができる。現状、十分遠い距離からの検出が可能であり、遠距離であれば多少画角を狭めても二輪車がカメラに映り込むため、トリミングすることで解像度を小さくすることが有効的であると考えられる。

5. まとめ

本稿では、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自動車で接近しながら撮影する実験を行い、誤検出数、検出漏れ、検出可能距離、処理時間の観点から評価を行った。

検証よりこれら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た。理想的な環境では、約 100m 先から二輪車検出が行えることを確認し、マーカ適合率 92% 以上、二輪車再現率 87% 以上であることを確認した。

検出点減パターン長 5bit 二回の場合には、二輪車の検出漏れが増加した。一方で、構図全体のマーカ適合率 99% 以上であることが示され、マーカの誤検出がほとんど存在しないことを確認した。

北村浩章 比較手法の立案・実装・性能評価, 解釈・考察, データ収集

木谷友哉 研究の企画・構想, 手法の立案, 解釈・考察, データ収集, 論文校正

References

- (1) 寺田智哉, 北村浩章, 永井駿佑, 井上裕貴, 木谷友哉: 赤外線マーカを付与した二輪車を配置パターンを用いて検出するシステムの設計と実験評価, Jxiv, doi: <https://doi.org/10.51094/jxiv.202> (2022)
- (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, No. 91, 二輪車事故の特徴 - 「見落とし」に注意 -, (Nov. 2011).
- (3) 警視庁: 二輪車の交通死亡事故統計 (2020 年中) https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/kotsu/jikoboshi/nirinsha/2rin_jiko.html, (accessed at 2022.2.16).
- (4) 国土交通省: “道路運送車両の保安基準,” 第 42 条 その他の灯火等の制限 (2021.4.28) .
- (5) 酒井裕一, ラクシンチャラーンサク ポンサトーン, 清水郁子, 永井正夫, ウルブリヒト ダーク, アドマツト ロルフ: オプティカルフローを用いた車両運動状態推定に基づく歩行者衝突警報システムの開発, 自動制御連合講演会講演論文集, Vol. 54, p. 158 (2011).
- (6) J. Shi, Tomasi: Good features to track, 1994 Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 593–600 (1994).
- (7) B. Lucas, T. Kanade: An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision (IJCAI), Vol. 81, pp. 674–679 (1981).
- (8) OpenCV(Open Source Computer Vision Library) : <https://opencv.org/>, (accessed at 2021.10.27).
- (9) 淵田研, 小倉徳郎, 原島治: ノクトビジョン等による近赤外線の大気透過に関する実験, 照明学会雑誌, Vol. 43, No. 1, pp. 21–28 (1959).

参考情報等

利益相反

本検証は 2019~2021 年度一般財団法人日本自動車研究所 (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ある。

著者の貢献

永井駿佑 最終提案手法の立案・実装・性能評価, 解釈・考察, 論文執筆

井上裕貴 初期提案手法の立案・実装・性能評価, データ収集, 解釈・考察, 論文執筆

寺田智哉 比較手法の立案・実装・性能評価, 解釈・考察, 論文校正