

バス停留所付近の停止車両検出に基づく 危険予測システムの基礎検討

加藤 葵^{1,a)} 山口達也¹ 澤野弘明¹ 鈴木裕利² 土屋 健³ 小柳恵一⁴

概要：我々は前方停止車両からの歩行者の飛び出しによる追突事故の防止を目的に、バス停留所付近における停止車両検出に基づく危険予測システムの基礎検討を行う。提案システムではバス停留所の検出、前方車両の検出の二つの処理に分けられる。バス停留所の検出では自車の進行方向に存在するバス停留所の検出を行い、時刻表からバスの運行状況の予測を実現する。前方停止車両の検出では車載カメラによって取得された車両前方画像を用いて前方停止車両の点滅ランプを検出し、警告を促す手法を提案する。

キーワード：危険予測, 歩行者飛び出し, ハザードランプ, 位置情報, 画像処理

A Fundamental Study of a Risk Prediction System Based on Standing Vehicle Detection in a Vicinity of a Bus Stop

AOI KATO^{1,a)} TATSUYA YAMAGUCHI¹ HIROAKI SAWANO¹ YURI SUZUKI²
TAKESHI TSUCHIYA³ KEIICHI KOYANAGI⁴

Abstract: We propose a risk prediction system with detection of a standing vehicle for a driver. Our approach is to detect a bus stop in front of a driving car, and to detect the standing vehicle by a computer vision technique. A timetable of the detected bus stop is utilized for estimation of bus location. The proposed system takes a road scene video when the location is a vicinity of the stop. The detection method is to focus on a blinking light of the standing vehicle. After the light is detected, and a warning image is shown. In this paper, we explain our methods, and an experimental result is discussed.

Keywords: Risk Prediction, Pedestrian Accident, Hazard Lamp, Location Information, Image Processing

1. はじめに

歩行者の飛び出しや横断違反による車両との接触事故が多発している [1]。これは建物や車両の死角から現れた歩行者に対して運転手の検知が遅れ、回避行動が間に合わないことが原因とされる [2]。死角に存在する歩行者を運転手が

検知するために、画像処理で認識した歩行者を路車間通信や車車間通信を用いて運転手に状況を提示する手法 [3], [4] が提案されている。これらの手法では、車両や路上の死角発生箇所にセンサ機器を設置して、死角に存在する歩行者を画像処理で認識している。死角発生箇所をセンサ機器と通信で監視することは飛び出しの予測には有用であるが、全国を網羅してセンサ機器を設置するには、普及に時間がかかるという課題がある。次に、車両に設置したドライブレコーダーのような単眼カメラ（車載カメラ）を用いて歩行者を検出する手法 [5], [6] が鈴木らや柴山らにより提案されている。これらの手法では、走行中に車載カメラから移動中の歩行者を検出するため、歩行者の動きを利用した危

¹ 愛知工業大学

Aichi Institute of Technology

² 中部大学

Chubu University

³ 諏訪東京理科大学

Tokyo University of Science, Suwa

⁴ 早稲田大学

Waseda University

a) x12025xx@aitech.ac.jp

険予測に有効である。その一方で、歩行者が映像上に存在している必要があり、死角から歩行者が飛び出した瞬間に画像処理で検出するには高度な計算処理が求められる。車載機のような低スペックの CPU やメモリでは、飛び出した瞬間に歩行者を検出する処理速度を確保することは難しい。この問題は、車載カメラで前方車両を検出する藤岡らによる手法 [7] も同様である。次に、バスの運行情報を用いてバスの経路を予測して経路案内に走行車線を提示する方法 [8] が花田らにより提案されている。バスは停留所において乗客の乗り降りが頻繁に行われるため、停止中のバスが死角になり歩行者が飛び出す危険性がある。この方法では、自転車とバスが停留所付近に存在する時間や位置を考慮し、自転車の走行車線を提示することで事故を未然に防ぐことが可能である。ただし、バスの運行状況は必ずしも正確ではないため、ある程度柔軟な計算が求められる。

そこで本研究では、停留所の位置情報・時刻表を用いて運行状況を予測し、自転車付近の停留所に停止しているバスを車載カメラの映像から画像処理で検知する。バスの検出後、バスの死角からの乗客の飛び出しを予測して、注意喚起をするアプローチをとる。停車しているバスの予測には、停車中のバスが点灯する非常点滅表示灯（ハザードランプ）または方向指示器（ウインカー）である点滅ライトに着目する。バス停付近で点滅ライトが点灯している場合、乗降中である可能性が高いため、画像処理の検出対象とする。提案するアプローチでは、事故が起こりうる状況を予測するために、バスの時刻表である静的データと、車載カメラを利用した動的データを融合する。関連研究の課題として挙げた画像処理部の計算負荷については、事前にバスの位置を予測することで、検出に必要な距離（時間）を確保する。本稿では、バス停留所付近における停止車両検出システムを構築し、路上での走行実験を行い、考察する。

2. 提案システム

2.1 概要

提案システムは、バス停留所の位置情報・時刻表、車載カメラを用いて自転車前方の停留所に停止している、バスに見立てた車両の点滅ライトの検出を行う。提案システムの処理の流れを図 1 に示す。まず、現在位置を取得し、前方の停留所を検出し、時刻表を参照する。ここで、本研究では各バス事業者によりオープンデータとして提供されているバス停留所の位置情報と時刻表を使用する。時刻表に基づいてバスが停車している可能性がある場合、車両前方に搭載した車載カメラの映像より、点灯中の点滅ライトを検出する。点滅ライトを検出した場合は、前方のバスの死角から乗客が飛び出す可能性がある旨を運転手に注意喚起として警告音と画像を提示する。以下に、バス停留所の検出手法と、点滅ライトの検出手法についてそれぞれ述べる。

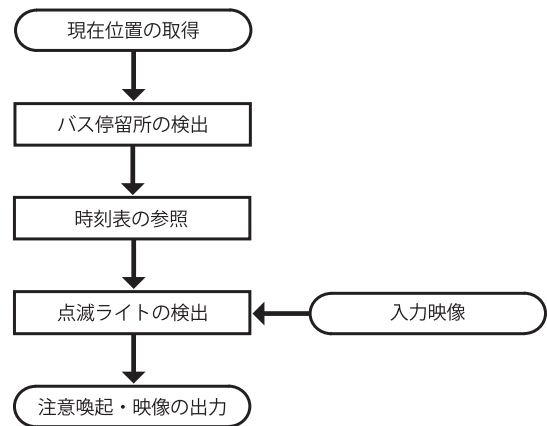


図 1 提案システムの処理の流れ

Fig. 1 Processing flow of the proposal system.

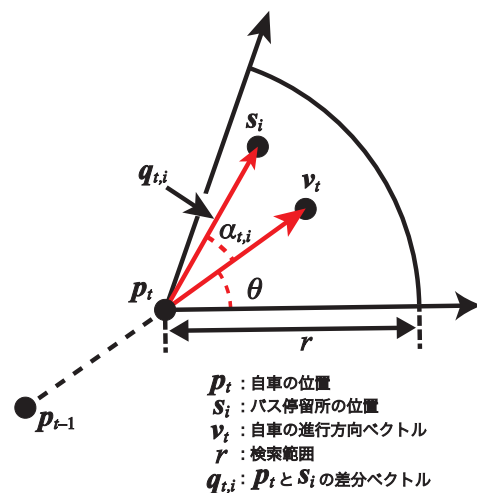


図 2 バス停留所の検出

Fig. 2 Bus stop detection

2.2 バス停留所の検出手法

バス停留所の検出方法を図 2 に示す。時刻 t において自転車に搭載された GPS から現在位置 $p_t = (p_{t,x}, p_{t,y})$ を取得する。ここで p_t は球面座標系である緯度経度とする。自転車の位置からのバス停留所の検索範囲を、半径 r [m] かつ中心角 $\pm\theta$ とし、検索範囲にバス停留所が存在するかの判定を行う。 i 番目のバス停留所の位置（緯度経度）を $s_i = (s_{i,x}, s_{i,y})$ 、赤道半径を R [m] とし、 p_t と s_i の距離 $d_{t,i}$ [m] を求める。 $d_{t,i}$ の求め方を式 (1) に示す。

$$d_{t,i} = R \cos^{-1} \{ \sin(p_{t,y}) \sin(s_{i,y}) + \cos(p_{t,y}) \cos(s_{i,y}) \cos(s_{t,x} - s_{i,x}) \} \quad (1)$$

次に前フレームの自転車位置を p_{t-1} とし、 p_t と p_{t-1} より進行方向ベクトル v_t を求める。また、 p_t と s_i の差分ベクトルを $q_{t,i}$ とし、進行方向ベクトル v_t と、差分ベクトル $q_{t,i}$ のなす角 $\alpha_{t,i}$ を求める。 $d_{t,i} \leq r$ かつ $-\theta \leq \alpha_{t,i} \leq \theta$ が成り立つ場合に停留所が存在する。該当するバス停留所の時刻表を参照し、現在時刻が到着予定時間の $\pm m$ 分以内に発着時間が存在するのであれば、バスが停車していると仮定

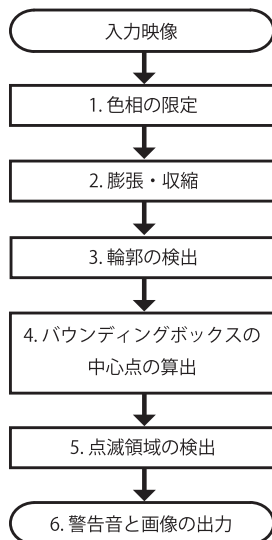


図 3 点滅ライトの検出の流れ

Fig. 3 Detection flow of a blinking light.

として、前方の停止車両を検出する。次項に停車中のバスを検出するための点滅ライトの検出手法について述べる。

2.3 点滅ライトの検出手法

車載カメラの映像より、停車中のバスの点滅ライトの検出を行う。処理の内容を以下に示す (図 3)。

1. 色相の限定

道路運送車両の保安基準第 41 条第 2 項 [9] より点滅ライトは橙色と定義されている。取得した映像を HSV 色空間に変換し、橙色の色相を限定した二値画像を生成する。ここで色相の範囲を $H_{\min}$ から $H_{\max}$ とする。

2. 膨張・収縮

生成された二値画像には、ごま塩ノイズが含まれているため、モルフォロジー演算によりノイズ除去を行う。まず収縮処理を m 回行い、膨張処理を n 回する。

3. 輪郭の検出

膨張・収縮処理を施した二値画像に対して輪郭検出を行う。次に点滅ライトと色相が近い道路上の黄色線や路肩に存在する標識との誤検出の低減するために、検出された輪郭の面積と形状により輪郭を限定する。面積が S 以下、形状の縦幅と横幅との差が W 以下の輪郭を点滅ライトの候補とする。

4. バウンディングボックスの中心点の算出

点滅ライトの候補の輪郭を囲む長方形の枠 (バウンディングボックス) の中心点を求める。中心点は画像上を移動する点滅ライトを追跡する際の基準点とする。ここでバウンディングボックス内に複数の中心点が存在する場合は、全てを追跡対象とする。

5. 点滅領域の検出

表示されている点滅ライトは時間方向で明度が変化するため、各中心点の明度の変化に着目する。各中心点

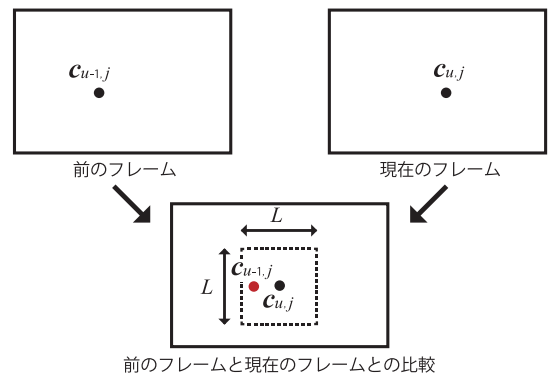


図 4 点滅ライト候補の中心点の追跡範囲

Fig. 4 Tracking range of a center point of the blinking light candidate.

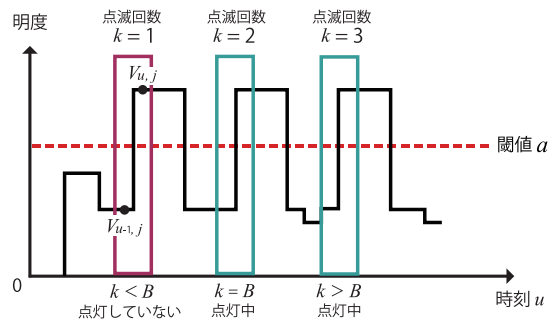


図 5 点滅ライトの点滅回数の計測方法

Fig. 5 A counting method of a lamp blinking number.



図 6 警告用の画像

Fig. 6 An image for warning.

の位置は画像上を移動するため、中心点を追跡しながら前後フレームの明度を比較する。ここで、時刻 u 、輪郭番号 j としたときの中心点を $c_{u,j}$ とする。現在フレームの中心点 $c_{u,j}$ を基準とした正方形の追跡範囲を図 4 に示す。 $c_{u-1,j}$ が $c_{u,j}$ を中心とした、長さ L の正方形内に存在する場合は同一点滅ライトの中心点とする。ここで、 $c_{u,j}$ の明度を $V_{u,j}$ とし、明度が閾値 a 以上を点灯、 a 以下を消灯とする。明度の閾値 a を基準とした点滅回数の計測方法を図 5 に示す。 $c_{u-1,j}$ が消灯、 $c_{u,j}$ が点灯の場合に点滅回数 k を増やす。 k が B 回以上の場合を点灯中の点滅ライトとして検出する。

6. 警告音と画像の出力

点灯中の点滅ライトが検出された場合、運転手に注意喚起として警告音と画像を出力する。警告用画像を図 6 に示す。試作システムでは画面の右上に警告用画像を配置し、運転手へ注意喚起を行う。



図 7 バス停留所の検出例

Fig. 7 Bus stop detection result.



図 8 バス停留所の未検出例

Fig. 8 Bus stop undetection result.

3. 実験と考察

本節では提案システムの評価のために、仮想空間内でバスの停留所の距離判定実験、及び路上における走行実験を行う。その後、実験に対して定量的評価を行い、考察する。

3.1 時刻表に基づいたバス停留所の距離判定

予備実験として、時刻表に基づいたバス停留所の距離判定を行う。二次元平面の地図に仮想的なバス停留所を配置し、提案システムを搭載していると仮定した車両（仮想車両）を走行経路に沿って移動させる。使用した地図は Google Map から引用し、球面座標系である緯度経度をあらかじめ画像平面座標系に変換しておく。検索範囲を $r = 200$ 、バス停留所の数を $i = 1$ 、検索の角度を $\theta = \frac{\pi}{4}$ とする。ここで地図・バス停の位置・走行経路は現実の情報に基づいて決定している。走行中に仮想車両が仮想バス停留所を未検出の場合には検索範囲の色を緑、検出の場合には黄色で表現する。実験環境を構築するためのライブラリには openFrameworks を用いる。バス停検出結果と未検出の結果をそれぞれ図 7、図 8 に示す。実験の結果、バス停留所の座標が検索範囲に入ると検索範囲の色が緑色から黄色に変化することを確認した。またバス停留所の座標が検索範囲から離れると検索範囲の色が黄色から緑色に変化することを確認した。このバス停留所の位置判定の方法を用いて、次節より路上による走行実験について述べる。

3.2 路上における走行実験の環境

提案システムの評価を行うために路上での走行実験を行う。実験には、愛知県の地点 A から地点 B までのバス路線にて実施した。提案システム搭載車両の実験環境を図 9 に示す。PC1 台にバス停留所検出手法、もう 1 台に点滅ライト検出手法を実装した。また、iPhone を GPS 機器として利用し、入力映像は車両前方に設置した Web カメラを用いて撮影した。開発には総合開発プラットフォーム

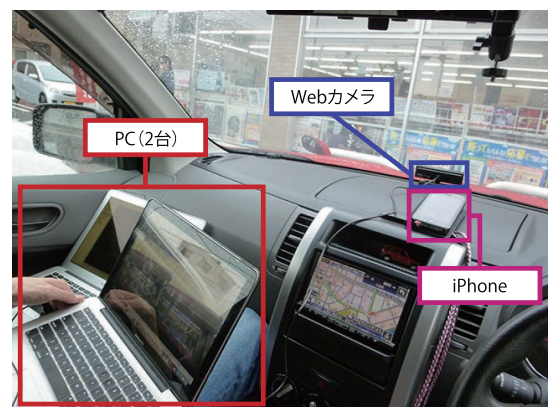


図 9 車内の実験環境

Fig. 9 Experimental environment with proposed system.

openFrameworks を、点滅ライトの検出手法には画像処理ライブラリ OpenCV Ver. 3.0.0 を利用した。PC・iPhone 間の通信プロトコルに OSC (OpenSound Control)[10] を、データベース言語には SQLite を使用した。使用実験機器の PC には、Mac OS X Ver. 10.10.2、プロセッサに 2.8 GHz Intel Core i7、メモリ 8 GB を利用した。

3.3 点滅ライトの検出実験

屋外環境における車両の点滅ライトの検出実験を行った。実験では、色相、収縮・膨張の回数、輪郭の面積、輪郭の形状の縦幅と横幅との差、明度の閾値および点滅ライトとして検出する点滅回数を、それぞれ $H_{\min} = 7.0$, $H_{\max} = 30.0$, $m = 2$, $n = 5$, $S = 1000.0$, $W = 40.0$, $a = 240.0$, $B = 2$ に設定した。追跡している領域には青色の円、点滅回数 k が 1 回である領域には黄色の円、 B 回以上である領域には紫色の円と水色の縦線を描画することで検出箇所を可視化する。昼間における点滅ライト検出時の映像と各中心点の明度を図 10 に示す。実験の結果、バス停留所付近に停車しているバスの点滅ライトの検出が確認された。一方で図 11 のように、目視にて点滅ライトの点灯を確認したが、システム上では未検出であることが確認された。この結果

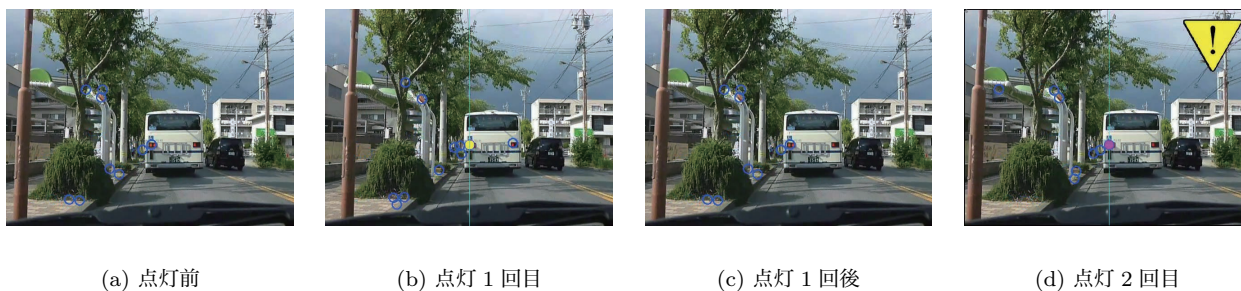


図 10 昼間における点滅ライト検出結果

Fig. 10 Detection result of the blinking light in the daytime.



図 11 未検出結果の例

Fig. 11 Example of the undetected result.



図 12 隣の車線の右折待ちの停止車両の右ウインカーの検出結果

Fig. 12 The detection result of the right blinker of a standing vehicle for right turn in a neighboring traffic lane.

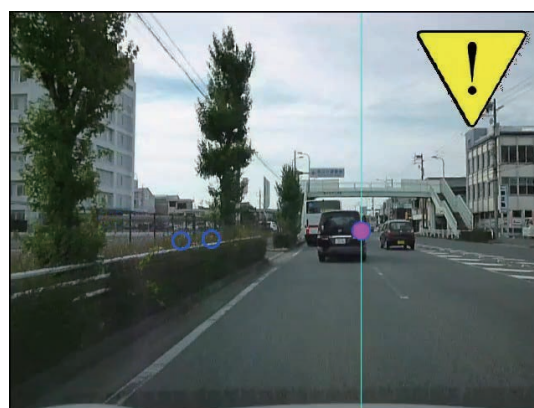


図 13 車線変更する前方車両のウインカーの検出

Fig. 13 The detection of a blinker of a front vehicle with lane-changing.

では、点滅ライトの劣化や汚れにより光量が弱く、目視でも判断が難しい状況であった。現行システムにおける光量の閾値は一定であるため、今後の課題として、まずバスの領域を検出し、点滅ライトの位置を限定した上で、動的に光量の閾値を変動させるアルゴリズムの構築が求められる。

過検出例として、図 12 のように自車の隣の車線で右折待ちしている車両が点灯している右ウインカーが検出された。これは、停止中のバスの点滅ライトではないため、危険予測として適当ではない。この課題の解決方法として、自車が走行している車線上に検出範囲を限定することで改善できると考えられる。次に図 13 のように、停止しているバスを回避する前方車両が点灯している右ウインカーが検出された。この結果では走行中の車両の点滅ライトを検出しているため、危険予測として適当ではない。この課題の解決方法として、停止車両のブレーキランプを検出することで車両が停止しているかを判定できると考えられる。

次に、夜間における点滅ライトの検出結果を図 14 に示す。実験の結果、停車中のバスの点滅ライトを検出することができなかった。提案システムは色相で点滅ライトの色値を限定しているが、夜間の場合は色相を限定できるほどのカメラの感度が低い。また、対向車線のライトにより、画像の全体的な明るさにも影響が強い。そのため、夜間の場合においてもバス領域の検出および点滅ライトの位

置予測に基づく停止車両の検出方法の構築が求められる。

3.4 定量評価

日中における点滅ライト検出の精度測定を行った。精度の測定には、目視による点滅ライトの点灯回数とシステムによる検出回数を比較する。点灯回数は、バスが停車のために点滅ライトを点灯してから発車して消灯するまでを 1 回とする。表 1 に総フレーム数 10,058 の検出結果をまと

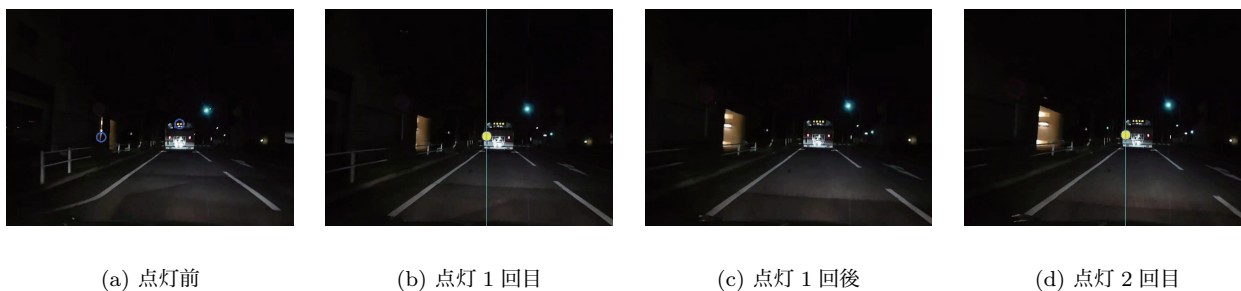


図 14 夜間における点滅ライト検出結果

Fig. 14 Detection result of the blinking light in the nighttime.

表 1 目視とシステムによる検出結果

Table 1 Detection result by the viewing and the system.

実験回数	フレーム数	目視による 点滅ライト検出数 Z	システムによる点滅ライト検出数					再現率 [%]	適合率 [%]
			総検出数 G	正検出 A	誤検出	未検出	過検出		
1	1,200	4	5	4	0	0	1	100	80
2	3,040	3	7	1	2	2	2	33	14
3	5,818	7	21	5	14	2	0	71	24
合計	10,058	14	33	10	16	4	3	71	30

めた結果を示す。この表の数値から再現率と適合率を求める。再現率とは、目視により判定した点滅ライトの数の中にシステムが検出した正しい点滅ライトが存在する割合をいう。適合率とは、システムが点滅ライトとして検出した結果の中に正しい点滅ライトが存在する割合をいう。再現率と適合率を求めることにより、システム上にて点滅ライトが検出されない傾向を見つけるために利用する。再現率と適合率の算出方法を式 (2), (3) に示す。

$$\text{再現率} = \frac{A}{Z} \quad (2)$$

$$\text{適合率} = \frac{A}{G} \quad (3)$$

今回の実験では、再現率は約 71%, 適合率は約 30% になった。この数値から、点滅ライトの検出は行われているが、停止車両の点滅ライト以外の検出数が正検出数に比べて多い。この課題の解決方法として、3.3 節で述べた未検出や過検出の解決方法に加え、街路樹や信号機のライトなどの誤検出を減らす方法がある。誤検出を減らす方法の例として、バスの点滅ライトの位置はバスの背面の中央より下に設置されているため、画像上の縦方向の処理範囲を点滅ライトが存在する範囲に限定する方法が挙げられる。

4. おわりに

本稿ではバス停留所の検出及びバスの運行状況の予測から前方停止車両の検出を行い、ドライバーに対して歩行者の飛び出しの警告を行うシステムの基礎検討を行った。提案システムの実装と各手法の実験を行った結果、二次元平面上に配置された仮想のバス停留所が検出され、車載カメラから取得された映像から前方車両の点滅ライトが検出さ

れた。しかし、バスの点滅ランプの未検出や車線変更の点滅ライトの過検出、夜間の点滅ライトの未検出などといった結果が確認された。今後の課題としてバスの領域の検出から点滅ライトの位置を限定し、時間によって動的に光量の閾値を変動させるアルゴリズムの構築と、停止車両のブレーキランプの検出方法の検討が求められる。

参考文献

- [1] 警視庁交通局: “平成 25 年中の交通事故の発生状況” (2014-2)
- [2] 田久保宣晃: “交通事故データによる運転者のヒューマンエラーと心的負荷の一考察”, 国際交通安全学会誌, Vol. 30, No. 3, pp. 23–32 (2005-9)
- [3] 佐藤雄隆, 下村倫子, 大西正輝: “社会インフラ産業の画像技術”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 65, No. 11, pp. 1497–1503 (2011)
- [4] 小谷和也, 孫為華, 木谷友哉, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤実: “車車間通信による交差点鳥瞰映像ストリーミング手法の提案”, 情報研報, ITS, Vol. 36, pp. 39–45 (2009)
- [5] 鈴木秀和, 見浪護: “車載カメラを用いた複数歩行者の実時間認識”, 信学技報, Vol. J88-A, No. 2, pp.131–141 (2005)
- [6] 柴山悠毅, 金亨官, 上條俊介: “車載カメラを用いた歩行者検出と相対軌跡取得技術の開発”, 信学技報, Vol. 111, No. 63, pp. 13–18 (2011-5)
- [7] 藤岡明紘, 寺田佳和, 栗栖翔平, 中村靖: “単眼車載カメラによる前方車両の検出”, 広島工業大学紀要研究編, Vol. 45, pp. 259–262 (2011)
- [8] 花田智, 白石陽: “バス運行データを用いたドライバーの走行に影響するバス挙動の予測”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム, pp. 1359–1366 (2015-7)
- [9] 国土交通省: “道路運送車両の保安基準” (2015-6)
- [10] OSC: <http://opensoundcontrol.org> (confirmed in Jul. 2015)