

過去の車載カメラ映像との差分による道路上の不特定障害物検出

久徳 遙矢[†] 出口 大輔[†] 高橋 友和^{††} 目加田慶人^{†††}
井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]

[†] 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

^{††} 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部 〒 500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38

^{†††} 中京大学 情報理工学部 〒 470-0393 愛知県豊田市海津町床立 101

E-mail: †{kyutoku,ddeguchi,ttakahashi,mekada,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 近年、自動車の運転者支援技術の研究や製品化が盛んに行われている。その中でも本研究では、車載カメラ映像を用いた前方障害物の検出に注目する。従来の物体検出に関する研究の多くは、あらかじめ人や車など、対象を想定して検出するものであり、想定していない物体を検出することは難しい。しかし実環境下においては、様々な障害物が車両前方に存在することが考えられるため、不特定の前方障害物を検出する必要がある。そこで本稿では、現在の車載カメラ映像と過去に同じ道路で撮られた車載カメラ映像の道路面間の差分によって、あらかじめ想定できない前方障害物を検出する手法を提案する。現在の車載カメラ映像と過去の車載カメラ映像では、走行速度や車線内での走行位置が異なるため、2 系列中のフレーム間の対応付け及び道路面の空間方向の対応付けを行う。その後、対応付けられた道路面同士の差分を求めることで障害物を検出する。実際の車載カメラ映像を用いた評価実験の結果、提案手法により、車両やボールなどの前方障害物が検出できることを確認した。また、市街地における一般的な走行速度で十分に回避可能な距離にある障害物の検出が可能であることを確認した。

キーワード 障害物検出, 車載カメラ, 差分, ITS

Detection of General Obstacles on the Road by Subtraction with Past In-Vehicle Camera Images

Haruya KYUTOKU[†], Daisuke DEGUCHI[†], Tomokazu TAKAHASHI^{††}, Yoshito MEKADA^{†††},
Ichiro IDE[†], Hiroshi MURASE[†], and

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan

^{††} Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University, Gifu, Gifu, Japan

^{†††} School of Information Science & Technology, Chukyo University, Toyota, Aichi, Japan

E-mail: †{kyutoku,ddeguchi,ttakahashi,mekada,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract Recently, research and commercialization of driving support technology is an active topic. In light of the above background, we focus on a technique to detect forward obstacles from in-vehicle camera images. Most existing techniques detect obstacles that could be expected beforehand, such as a pedestrian or a car. However, there could also exist various unexpected obstacles on the road. Therefore, it is necessary to detect general obstacles. Hence, this paper proposes a method for detecting general forward obstacles on the road by subtraction between present and past in-vehicle camera images. The proposed method first absorbs the gap of the road-surface regions due to the differences of the running speed and the running position in the lane, and determines the correspondence of the road-surface regions between the present and the past in-vehicle camera images. Then, the proposed method detects obstacles by subtracting the corresponding road-surface regions. Experiments were conducted using actual in-vehicle camera images. The results show that the proposed method could detect obstacles on the road accurately by subtracting the present and past in-vehicle camera images. Moreover, it was confirmed that the distances to the detected obstacles were large enough to avoid the obstacles while a vehicle runs at a standard velocity in an urban area.

Key words Detection of obstacles, In-vehicle camera, Subtraction, ITS

1. はじめに

平成 21 年の交通事故死者数は 4,914 人であり [1]、この数値は 1 日あたり約 13 人の交通事故死者が存在することを意味する。この数値からわかるように、依然多くの尊い命が交通事故によって失われている。交通事故死者数の減少には、飲酒運転対策やシートベルト着用の義務化などが貢献していると考えられる。しかし、運転者の能力には限界があるため、センサなどを用いた外部からの運転者支援も必要であると考えられる。

近年、そのような運転者支援システムに関する研究やその実用化が盛んに行われている。そのような中で、本研究では車載カメラを用いた前方障害物の検出に着目する。前方の障害物の検出が可能になれば、運転者へ運転操作に対する注意を促すことが可能になり、多くの事故を抑止できると考えられる。

前方障害物を検出する技術は数多く研究されているが、その多くは人や車などのあらかじめ想定した検出対象のみを検出するものである。そのため、あらかじめ想定できない障害物を検出することはできない。しかし、実際の路上障害物には様々なものが考えられるため、あらかじめ想定できない障害物の検出は重要な課題である。

一方で近年、市街地車載カメラ映像データベースが普及しつつある^(注1)。更に、無線通信の高速化や記憶媒体の大容量化は著しく、このような技術の発展により、事前に過去の車載カメラ映像を収集・蓄積しておき、走行中の車両でその情報を運転者支援に利用することが現実的になりつつある。

本研究の目的は、車載カメラを用いて自車の前方に存在する任意の障害物を検出することである。本稿では、単一の前向き車載カメラを用い、同一地点の過去の車載カメラ映像との差分を求めることで前方障害物を検出する手法を提案する。また、前向き車載カメラを利用することで、安価かつ汎用性が高い技術を実現する。現在と過去の車載カメラ映像間の差分により障害物を検出するためには、現在の車載カメラ映像の各フレームを過去の車載カメラ映像中のフレームに対応付ける必要がある。更に、現在と過去の車載カメラ映像では同じ道路の車載カメラ映像であっても走行位置は異なり、対応付けられたフレーム間には空間的なずれが存在するため、直接的に差分を求めることは困難である。本研究では、このような問題を解決する。

2. 関連研究

本研究では、前方障害物を検出するために、自車の車載カメラ映像と同一地点における過去の車載カメラ映像との差分を用いる。そのためには、まず過去の車載カメラ映像とその位置情報を蓄積したデータベースの構築が

必要である。また、差分を用いて障害物を検出するためには、障害物が映っていない過去の車載カメラ映像か、または過去の映像からの障害物除去が必要である。

市街地車載カメラ映像データベースの構築手法として、普及型の GPS とカメラを搭載した多数の一般車両により市街地映像マップを構築・更新する手法が提案されている [2] [3]。市街地車載カメラ映像データベースの構築は、このような研究を基に実現可能であると考えられる。

市街地車載カメラ映像データベース中の障害物の除去手法について、既に提供されているサービスである Google ストリートビューは、プライバシー保護の観点から車両のナンバープレートや人物の顔などにぼかしを入れるような補正を行っているが、車両や人物そのものの除去には対応していない。そのため、そのような障害物を除去する研究も行われている [4] [5]。このような技術により、障害物が映っていない市街地車載カメラ映像データベースの構築が可能になる。

一方、道路上の障害物を検出する手法として、ミリ波レーダやステレオ及び単眼カメラを用いたものなどが多く研究され、実用化され始めている [6]。しかし、現状ではミリ波レーダを搭載するのは高級乗用車のみである [7] [8] [9]。また、ステレオ視はカメラの較正 [10] や画像間の対応点の検出に十分な精度を得ることが難しく、いまだ多くの課題が残る。赤外線カメラを用いた技術も高級乗用車に搭載されはじめているが、人物の検出に特化したものであり、夜間の視認性を補助する意味合いが強い [7] [8]。更に、通常の単眼カメラを用いた研究も行われているが、多くは検出対象を人や車に限定した、見えの学習に基づくものである [11] [12]。

これらの問題から、本研究では 1 台の前向きカメラのみをセンサとして用い、現在の車載カメラ映像と過去の車載カメラ映像との差分に基づく検出により、対象の形状などの情報を必要としない不特定障害物の検出手法を提案する。

3. 現在と過去の車載カメラ映像間の差分による障害物検出

本研究では、現在の車載カメラ映像 $F = \{f_t(m, n)\}$ と過去の車載カメラ映像 $G = \{g_t(m, n)\}$ 中の道路面間の差分を用いて障害物を検出する。ここで、 $f_t(m, n)$ 及び $g_t(m, n)$ は、それぞれ現在と過去の映像の t フレーム目の位置 (m, n) での画素値を表すものとする。しかし、現在と過去の車載カメラ映像間には、走行速度や走行位置の違いが存在する。そのため、2 映像間の差分を用いて障害物を検出するためには、次の 2 つの問題を解決する必要がある。

(1) フレーム間対応付け

現在の車載カメラ映像の第 t_0 フレーム $f_{t_0}(m, n)$ に対応する、過去の車載カメラ映像中のフレーム $g_{t'_0}(m, n)$ を求めること。

(注1): Google ストリートビュー, <http://maps.google.co.jp/>



図 1 対応付けられた現在と過去のフレーム



図 2 図 1 のフレーム間の明度値の差分を求めた図

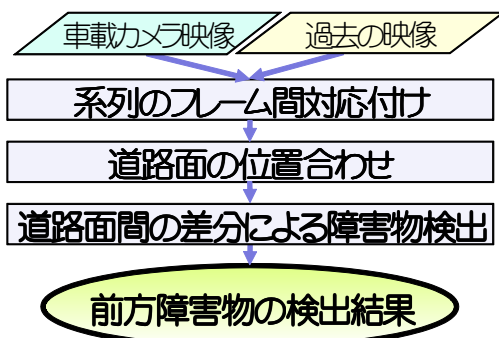


図 3 処理手順

(2) 道路面の位置合わせ

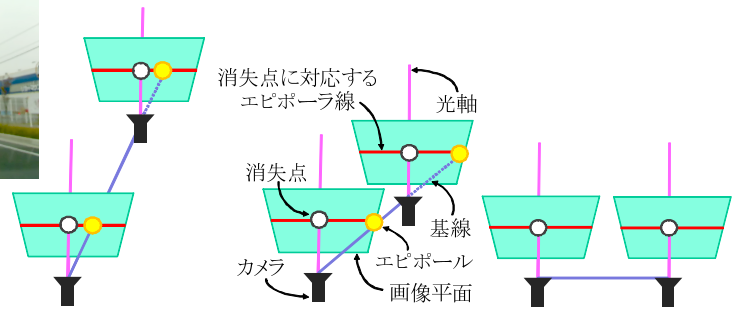
道路面上の画素 $R = \{(x, y)\}$ に対して、現在の車載カメラ映像中の $f_{t_0}(x, y)$ に対応する過去の車載カメラ映像中の画素 $g_{t'_0}(x', y')$ を求めること。

(2) について、(1) で対応付けられたフレームにおいても、走行位置の違いにより、直接的に現在の車載カメラ映像中の画素 $f_{t_0}(x, y)$ と過去の車載カメラ映像中の画素 $g_{t'_0}(x, y)$ の差分により障害物を検出することは困難である。図 1 に (1) で対応付けられたフレーム、図 2 に直接それらのフレーム間の明度値の差分を求めたものを示す。このように、走行位置の違いによる見えのずれが存在する。

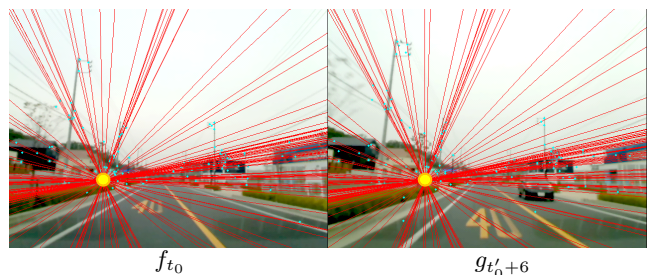
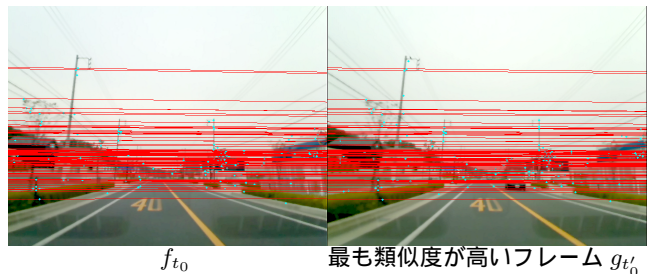
提案手法では、以上の問題を解決し、障害物を検出する。提案手法の処理手順を図 3 に示す。以降、各処理手順の詳細について述べる。

3.1 系列間の各フレームの対応付け

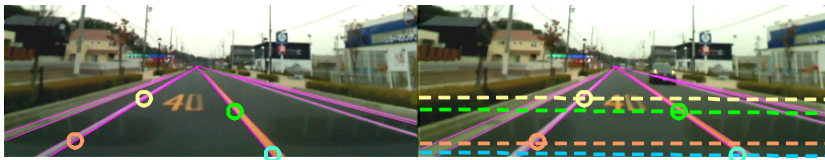
現在と過去の車載カメラ映像間の差分を求めるためには、まず現在の車載カメラ映像中の第 t_0 フレーム $f_{t_0}(m, n)$ に対応する、過去の車載カメラ映像中のフレーム $g_{t'_0}(m, n)$ をそれぞれ求める必要がある。そこで、現



2 カメラ間の距離大 2 カメラ間の距離中 2 カメラ間の距離小
図 4 2 カメラの位置とエピポールの位置の関係



直線:エビポール線, 丸:エビポール
図 5 最も類似度が高いフレームとその前後のフレーム



現在の車載カメラ映像 過去の車載カメラ映像
破線:エピポーラ線, 円:対応点

図 6 道路面上の対応点決定

在と過去の車載カメラ映像の2つのカメラ間の距離を表す尺度を用いたDPマッチングにより、現在の車載カメラ映像の各フレームに対応する過去の車載カメラ映像のフレームを求める。

ここで、現在と過去の2つのカメラの位置の違いに応じたエピポールの位置を図4に示す。図から、光軸が平行に近いときは、2つのカメラの配置が真横に近いほどエピポールの位置は消失点から遠ざかることがわかる。実際の車載カメラ映像のあるフレームと、別の映像の一番類似度が高いフレームとその前後のフレームのエピポールの位置を描画したものを図5に示す。図から、2カメラ間の距離に応じてエピポールの位置が変動することが確認できる。

以上から、現在と過去のフレーム間のエピポールの位置と、画像中の消失点の位置の x 座標の差の逆数をペナルティの尺度としてDPマッチングを行う。つまり、エピポールの位置を (e_x, e_y) 、画像中の消失点の位置を (v_x, v_y) とすると、 f_i と g_j 間のペナルティの尺度 $p(i, j)$ は式(1)で表わされる。

$$p(i, j) = \frac{1}{|e_x - v_x| + \alpha} \quad (1)$$

ここで、 α は正の定数である。そして、 $P(0, 0) = p(0, 0)$ とし、漸化式

$$P(i, j) = \min \begin{cases} P(i-1, j) + \omega_1 \cdot p(i, j) \\ P(i-1, j-1) + \omega_2 \cdot p(i, j) \\ P(i, j-1) + \omega_3 \cdot p(i, j) \end{cases} \quad (2)$$

を再帰的に計算する。ここで、 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ はペナルティに対する重みである。この結果得られたフレーム番号対 (i, j) の系列が、現在と過去の車載カメラ映像中の各フレームの対応を表わす。

エピポールの位置は、現在と過去のフレーム間の対応点をSIFT特徴[13]を用いて求め、基礎行列をRANSACアルゴリズム[14]を用いて推定することで求める。画像中の消失点の座標には、カメラが自車両の進行方向を向いていると仮定し、フレームの中心の位置を用いる。

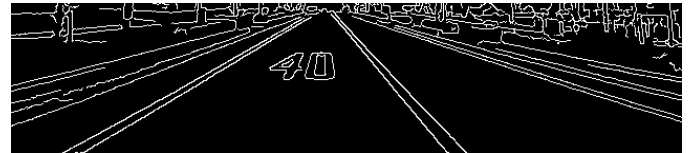
この対応付けは特徴点に基づくため、隠蔽に頑健な対応付けが可能である。

3.2 道路面の位置合わせ

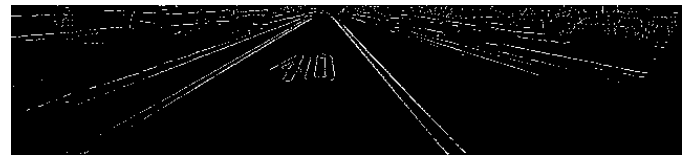
3.1で対応付けられたフレーム中には、走行位置の違いにより、図2のような、平行移動や回転では吸収でき



図 7 射影変換による位置合わせ後の明度値の差分



現在の車載カメラ映像中のエッジ



現在の映像中のエッジと過去の映像中のエッジの重複画素

図 8 エッジ画像の射影変換による位置合わせ

ない見えのずれが存在する。そのため、現在の車載カメラ映像中の道路面上のある画素 $f_{t_0}(x, y)$ に対応する過去の車載カメラ映像中の画素 $g_{t_0}(x', y')$ を求める必要がある。そこで、検出対象領域を道路面に限定し、道路面の平面性を仮定して射影変換によって位置合わせを行い、道路面を画素単位で位置合わせする。

ここで、射影変換を行うためには現在と過去のフレーム内の道路平面上の4対応点が必要となる。しかし、道路面のテクスチャは単調であり、単純な画像特徴では十分な精度で対応点を求めることができない可能性がある。そこで、片方のフレーム内のある点に対応するエピポーラ線は一意に求まり、その点の対応点は必ずもう片方のフレーム内のエピポーラ線上に存在するという性質を利用し、エピポーラ線と区画線位置を用いて対応点を求める。対応点決定の様子を図6に示す。まず、区画線位置を投票範囲を制限したHough変換を用いて求める。次に、片方のフレーム中の区画線上の適当な位置に4点を決定する。そして、3.1で求めた基礎行列を用い、各点に対応するもう片方のフレーム上のエピポーラ線を求める。最後に、対応する区画線とエピポーラ線の交点をそれぞれ対応点とする。

以上の手順によって道路面上の4対応点を決定し、それらを用いて射影変換を行い、道路面を位置合わせする。実際に図1のフレームに射影変換による位置合わせを行い、明度値の差分を求めた例を図7に示す。図2に比べ、道路面領域内のずれが小さいことがわかる。また、同様に図1のフレームのエッジ画像を位置合わせしたものを図8に示す。上図が現在の車載カメラ映像中のエッジ、下図が現在の車載カメラ映像中のエッジと過去の車載カ

メラ映像中のエッジの重複画素を示す。重複画素で路面表示の40の文字が判別できることから、道路面の位置合わせが良好に行えていることがわかる。

3.3 道路面間の差分による障害物検出

位置合わせされた道路面領域間の差分を求め、差異のある部分を障害物として検出する。その際の特徴量として、明度・彩度・エッジを用いる。以降、それぞれの求め方を述べる。

3.3.1 明度・彩度の差分値による検出

車載カメラ映像は、カラー画像の系列として得られる。これをHSV色空間の明度(V)と彩度(S)のみの画像へ変換し、それぞれの差分値の絶対値を求める。HSV色空間のうち色相(H)を用いない理由は、一般に道路面は灰色であることが多く、色相が安定しないためである。その後、道路面領域中の差分値の大きい領域を障害物として検出する。

また、道路面の位置合わせの精度が不十分であることが起こり得る。そのため、検出された領域を過去の車載カメラ映像中の道路面領域から探索し、類似度の高い領域が存在した場合には誤検出であるとして検出結果から除外し、検出精度の向上を図る。類似度には正規化相互相関[15]を用いる。

3.3.2 エッジ情報の差分による検出

車載カメラ映像の各フレームから、Cannyアルゴリズム[16]を用いてエッジを抽出し、差分を求める。ここで、エッジ画像はエッジの有無を表す2値画像であるため、本研究では現在の車載カメラ映像中に存在するエッジ画素のうち、過去の車載カメラ映像中に存在するエッジ画素の部分を除いたものをエッジ情報の差分と呼ぶ。差分画像に残っているエッジを障害物として検出する。

また、エッジ情報の差分では1画素でもずれが生じると背景が検出されてしまう。そこで、検出されたエッジを過去の車載カメラ映像中の道路面領域から探索し、類似度の高い領域が存在した場合には誤検出であるとして検出結果から除外し、検出精度の向上を図る。類似度はChamfer距離[17]が小さいほど高くなるように設定した。

4. 評価実験

4.1 フレーム間対応付け

4.1.1 実験条件

実験用データは、Logitech社のWebカメラ「Logicool Qcam®Pro 9000」を、図9のように車両のフロントガラスに固定し、640×480画素、15fpsでデータを取得した。

実験に用いるデータは、同じ道路で撮られた信号による停止及び障害物回避を含む2系列である。

式(2)のペナルティに関する重み $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ は全て1とし、系列の両端点を手動で固定して実験を行った。



図9 車載カメラ搭載の様子

4.1.2 実験結果と考察

フレーム間の対応付け結果を、図10に示す。フレーム群Aに対し、同時刻のフレームをフレーム群Bに、対応付けられたフレームをフレーム群B'に示す。フレーム群Bの9フレーム目以降は、走行速度の違いにより同時刻のフレームが存在しないため空白である。

図10の6~8フレーム目から、信号による車両が停止する程の走行速度の変化が存在しても、良好に対応付けられていることがわかる。また、図10の9フレーム目及び11フレーム目から、障害物回避による大幅な見えの変動が存在しても、良好に対応付けられていることがわかる。

4.2 障害物検出

4.2.1 実験に用いるデータ

実験に用いるデータは、4.1.1と同じカメラで取得した、障害物として路上駐車車両、前方走行車両、道路を横断する歩行者、パイロン、段ボール箱、ボールを含む合計1,746フレームの系列である。同じ道路で取得した障害物の映っていない系列を過去の車載カメラ映像として用いて実験を行った。ここで、自車両のデフォッグ吹出口のフロントガラスへの映り込みが彩度に大きく影響したため、その映り込みの領域を彩度による検出の場合検出対象領域から除いた。

4.2.2 検出精度の評価方法

本実験では、提案する各差分指標に対し、障害物検出に関してカメラから障害物までの距離に応じた再現率、誤検出に関して誤検出率・誤検出フレーム率で評価を行う。

再現率は正検出数/正解総数とする。図11(a)に障害物がしきい値 d より遠い場合の例を示す。この場合、障害物の下端が距離 d よりも画像上で上方に存在するため、正解及び正検出としないが、図11(b)のように障害物がしきい値 d より近い場合、正解及び正検出として数える。また、前述の理由から彩度による検出の場合、図11(c)に示すデフォッグの映り込みの領域を検出対象領域から除く。

誤検出率とは1フレームあたりの誤検出数であり、誤検出数/フレーム数とする。また、誤検出フレーム率とは誤検出が発生するフレームの割合であり、誤検出があったフレーム数/総フレーム数とする。



図 10 フレーム間の対応付け結果

4.2.3 実験結果

各提案指標ごとの距離 d の値に応じた再現率を図 12 に、誤検出率及び誤検出フレーム率を表 1 に示す．また、遠方で検出された障害物の例を、図 13(a)～(g) に、誤検出及びエッジ情報と明度値の差分の例を図 13(h) に示す．四角枠で囲まれた領域が検出された領域であり、道路面のうち検出対象領域は明度を高くして示してある．吹き出しの左に検出結果の拡大図、右に元のフレームの拡大図を示す．

4.2.4 考察

再現率について、図 12 から、エッジによる検出は総じて良好な再現率が得られることがわかる．また彩度による検出は、検出対象領域が狭いために近距離の障害物を検出できないが、遠方の障害物に対し良好な再現率が得られることがわかる．

誤検出について、表 1 から、1 フレームあたり 0.12 個以下の誤検出が存在することがわかる．これは、十分に小さい値であると考えられる．しかし、エッジによる誤検出が他の差分指標に比べ高いことがわかる．これは、同じ対象に対する誤検出でも、図 13(h) のように、明度や彩度による検出に比べエッジによる検出は寸断が起りやすいために、検出数が多くなる傾向があるためと考えられる．また表 1 から、最も誤検出が多いエッジによる検出でも、誤検出が発生するフレームの割合は約 5% である．1 フレームあたりの誤検出が 0.12 個であることから、一部のフレームに集中して誤検出が発生したことになる．それらのフレームはエピソードの位置が画像上の消失点に近く、図 13(h) のように道路面の位置合わせの精度が低下したフレームであったと考えられる．これは、過去の車載カメラ映像を複数用意するなどして、エピソードの位置が画像上の消失点とより離れた過去のフレームを用いて位置合わせを行うことで、回避可能な誤検出であると考えられる．

検出結果の例について、図 13(a), (b) の車両、及び図 13(c), (d) の歩行者は、彩度に乏しい検出対象であったため、遠方でも彩度より明度やエッジによる検出が良好だった例である．また、図 13(g) は、画像上で 4×4 画素程度の大きさであり、直径 20cm 程度のボールをカメラから 44m 遠方の位置で検出した例である．これは、時速 60km で走行中の車両が停止可能な距離で検出できたことになる．

以上から、検出対象の事前情報を用いず、段ボールやボールなどの不特定の障害物を提案手法によって検出できることを確認した．また、Web カメラという安価なセンサを用いて、障害物回避に十分な距離での検出が可能であることを確認した．

5. ま と め

本稿では、現在の車載カメラ映像と過去の車載カメラ映像との差分を用いた不特定前方障害物の検出手法を提

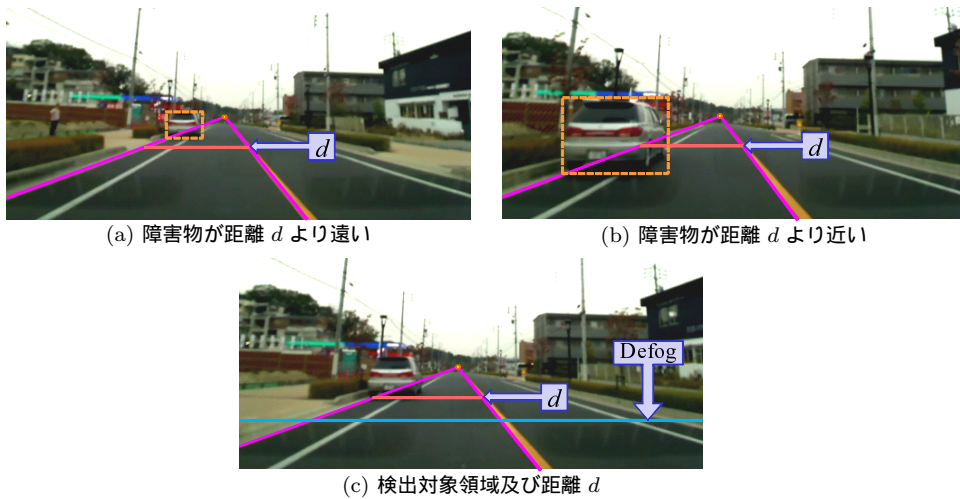


図 11 距離 d と障害物の位置の関係及び検出対象領域

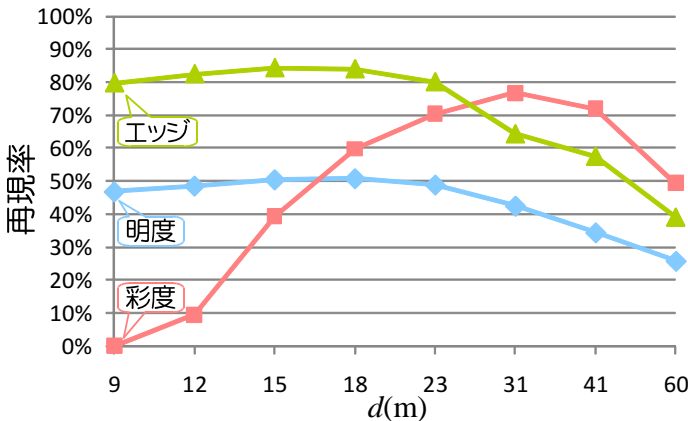


図 12 自車からの距離 d 以内の障害物検出の再現率

表 1 誤検出率及び誤検出フレーム率

	誤検出率 (個 / フレーム)	誤検出フレーム率
明度	0.016	0.010
彩度	0.010	0.009
エッジ	0.120	0.052

案した．不特定物体を検出する場合，対象の見えに関する事前学習ができないため，同地点の過去の映像との差分に基づく検出手法であるという特徴がある．現在と過去の車載カメラ映像間の差分を求めるためには，現在の車載カメラ映像の各フレームに対応する過去の車載カメラ映像のフレームを見つける必要がある．また，現在と過去の車載カメラ映像では走行位置が異なるため，直接差分を求めて障害物を検出することは困難である．そこで，提案手法では，まず現在と過去の車載カメラ映像のフレームを隠蔽に頑健な特徴点ベースの手法で対応付けた．そして，検出対象領域を道路面に限定し，道路面が平面であるという仮定の下で，射影変換により画素単位での対応付けを行った．この対応付けのために必要な道路平面上の 4 つの対応点は，エピソード線と区画線位置を用いて間接的に求めた．これらの対応付けを行った後，現在と過去の車載カメラ映像の道路面間の差分を用いて障害物を検出した．

実際の車載カメラ映像を対象とした実験により，現在と過去の車載カメラ映像のフレーム間の対応付けが良好に行えることを確認した．また，現在と過去の車載カメラ映像中の道路面間の差分を用いて，段ボールやボールなどの不特定の障害物が検出できることを確認した．更に，障害物回避に十分な距離での検出が可能であることを確認した．

今後の課題として，天候の異なる車載カメラ映像間での検出精度評価が挙げられる．これは，本稿の障害物検出実験で用いた車載カメラ映像は，現在及び過去共に曇天時に取得したデータであり，実環境下では照明条件の変動やそれに伴う影の存在が考えられるためである．そのため，提案手法の差分指標である明度や彩度はそれらの影響を受けやすいと考えられ，差分指標の統合や新たな差分指標の検討により，照明条件の変動などに頑健な障害物検出が必要となる．また，過去の車載カメラ映像の蓄積により，固定カメラ映像を用いた背景差分手法 [18] [19] が適用できる可能性がある．

謝 辞

日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室 諸氏に深く感謝する．本研究の一部は，JST 戦略的創造研究推進事業 CREST 及び科学研究費補助金による．また，本研究では画像処理に MIST ライブラリ (<http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/>) を使用した．

文 献

- [1] 警察庁交通局，平成 21 年中の交通事故死者数について，http://www.npa.go.jp/toukei/kouki/0102_H21dead.pdf
- [2] 石川 尊之，山崎 俊彦，相澤 清晴，“GPS と画像特徴を用いた車載映像中の街並変化の検出，” 画像符号化・映像メディア処理シンポジウム (PCSJ・IMPS2005)，I-4.08，Nov. 2005
- [3] 佐藤 准嗣，高橋 友和，井手 一郎，村瀬 洋，“車載全方位カメラ映像を用いた街並変化検出の高精度化，” 信学技報，PRMU2006-250，Mar. 2007
- [4] 高橋 英之，堀 磨伊也，神原 誠之，横矢 直和，“全天球画

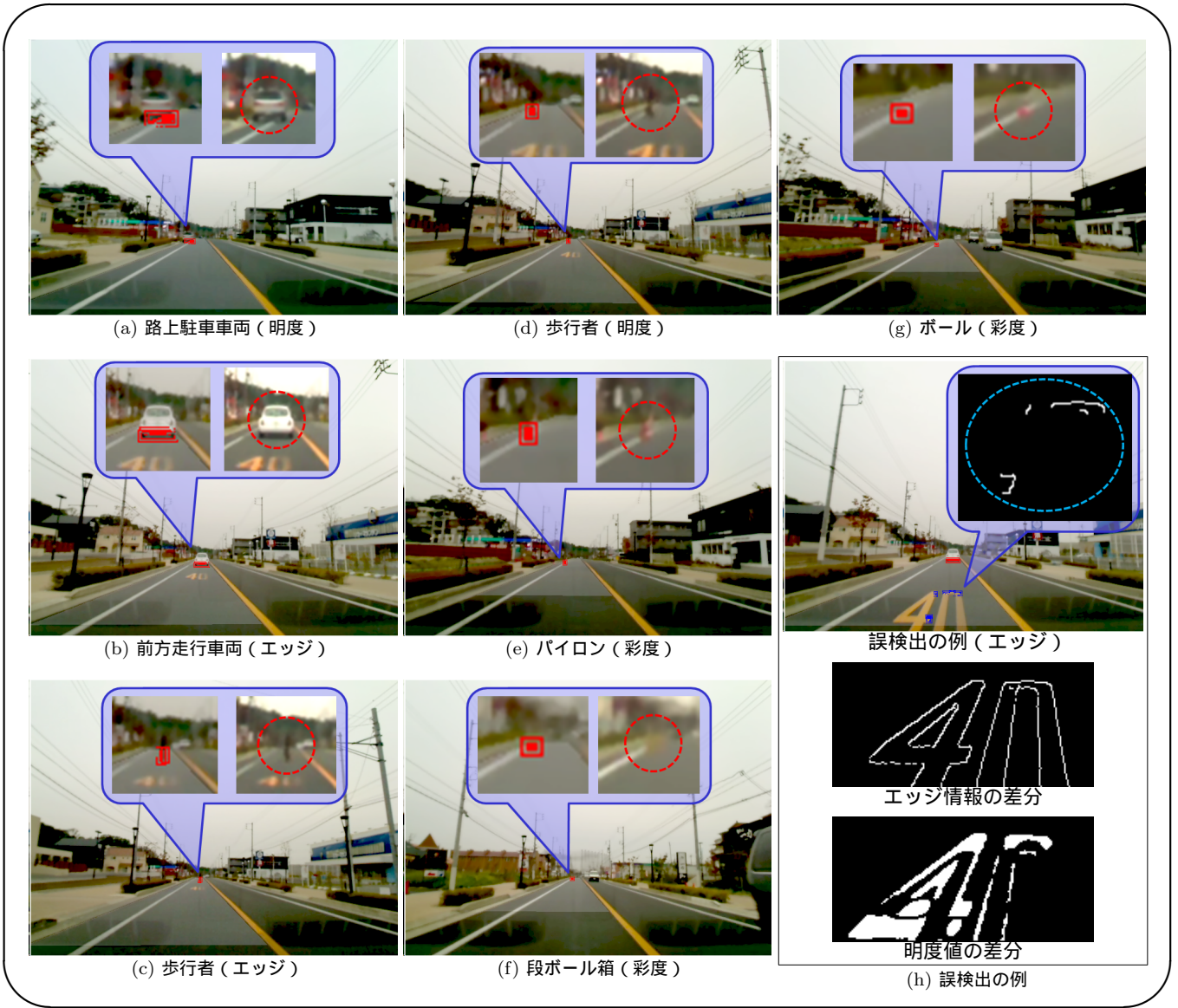


図 13 検出結果の例

- 像データベース作成のための色調統一と動物体の除去,”
信学技報, MVE2009-40, Oct. 2009
- [5] 内山 寛之, 出口 大輔, 高橋 友和, 井手 一郎, 村瀬 洋,
“複数映像統合による車載カメラ映像からの移動物体除
去,” 信学技報, PRMU2009-102, Nov. 2009
- [6] 富士通テン (株), “運転支援システム用フュージョンセ
ンサの開発,” 富士通テン技報, Vol.37, pp31-39, Jun.
2001
- [7] 本田技研工業 (株), 技術紹介,
<http://www.honda.co.jp/tech/auto/>
- [8] トヨタ自動車 (株), 研究・技術,
<http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/safety/>
- [9] 日産自動車 (株), 技術紹介,
<http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/>
- [10] Juan M. Collado, Cristina Hilario, Arturo de la Es-
calera, Jose M. Armingol, “Self-calibration of an On-
Board Stereo-vision System for Driver Assistance Sys-
tems,” Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium
2006, pp.156-162, Jun. 2006
- [11] 西田 健次, 栗田 多喜夫, “特徴選択と Soft-Margin
SVM の Boosting を用いた歩行者検出,” 信学技報,
PRMU2004-187, Feb. 2005
- [12] 尾崎 貴洋, 山内 悠嗣, 藤吉 弘亘, “Joint HOG 特徴を用
いた 2 段階 AdaBoost による車両検出,” 動的画像処理
実利用ワークショップ (DIA2008), I1-13, Mar. 2008
- [13] David G. Lowe, “Distinctive Image Features from
Scale-Invariant Keypoints,” International Journal on
Computer Vision, Vol.60, No.2, pp.91-110, Nov. 2004
- [14] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles, “Random
Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting
with Applications to Image Analysis and Automated
Cartography,” Comm. Of the ACM, Vol.24, No.6,
pp.381-395, Jun. 1981
- [15] 田村 秀行, “コンピュータ画像処理,” オーム社, 2002.
- [16] John Canny, “A Computational Approach to Edge
Detection,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Ma-
chine Intelligence, Vol.8, No.6, pp.679-698, Nov. 1986
- [17] Gunilla Borgefors, “Hierarchical Chamfer Matching
: A Parametric Edge Matching Algorithm,” IEEE
Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence,
Vol.10, No.6, pp.849-865, Nov. 1988
- [18] 島田 敬士, 谷口 倫一郎, “時空間符号列群による照明変
動に頑健なハイブリッド型背景モデル,” 画像の認識・理
解シンポジウム (MIRU2009), OS5-1, Jul. 2009
- [19] 田中 達也, 島田 敬士, 谷口 倫一郎, 山下 隆義, 有田
大作, “時空間特徴を考慮した動的背景モデル構築とそ
れに基づく物体検出,” 画像の認識・理解シンポジウム
(MIRU2009), IS3-11, Jul. 2009