

車載カメラ映像の道路面経時差分による前方障害物検出

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 本稿では、自車が車載カメラから得た現在の画像と、過去に同地点で得られた障害物の映っていない画像との間の差分を用いて前方障害物を検出する手法を提案する。差分を利用することにより、事前に検出対象の形状を把握することなく検出が可能となる。このとき、同じ道路を走行する場合でも、車両の位置や姿勢が走行の度に異なるため、単純な画像差分によっ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、道路面が平面であるという仮定の下、両画像中の道路面間を射影変換して位置合わせを行い、それらの差分を用いて障害物検出を行う。実験の結果、提案手法は適合率 86%、再現率 100% で前方障害物を検出できることがわかった。

キーワード 前方障害物検出, 経時差分, 車載カメラ, ITS

Detection of Forward Obstacles from In-Vehicle Camera Images by Temporal-Subtraction of Road-Surface

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

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8601 Japan

^{††} Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University
1-38 Nakauzura, Gifu, Gifu, 500-8288 Japan

^{†††} School of Information Science & Technology, Chukyo University
101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi, 470-0393 Japan

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

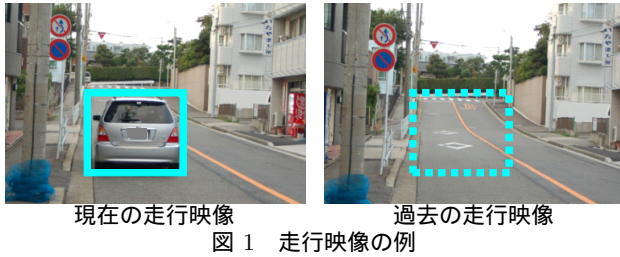
Abstract We propose a method which detects forward obstacles by using subtraction between a current image and the past image taken at the same road. The subtraction enables the detection of obstacles without using shape characteristics of obstacles. However, it is difficult to detect them from the simple difference image. Because the position and the posture of the vehicle are different at each driving. To overcome this problem, the proposed method makes a registration between the road surface in both image by using projective transformation before the subtraction, assuming that the road surface is a plane. Experimental results showed that the proposed method detected forward obstacles with accuracy of a precision 86% and a recall 100%.

Key words Detection of Forward Obstacles, Temporal-Subtraction, In-Vehicle Camera, ITS

1. 背景と目的

近年、自動車における運転者支援システムの研究やその実用化が盛んに行われている。その中でも本研究では、車載カメラを用いた前方障害物の検出に注目する。これを実現することにより、ドライバへの注意喚起や路上駐車車両の自動取締りが実現可能になる。前方障害物

の検出に関しては様々な研究がなされており [1] [2], 製品化されているものもある [3] [4]。これらは現在の走行情報のみを用いて検出するため、検出対象が予め学習できるものに限定される。一方、近年 Google street view などのサービスが実用化されてきており、各道路を走行して得た映像のデータベースの構築やその利用に関する研究 [5] [6] [7] が盛んに行われている。以上の背景から、



我々はいままで、過去の走行映像と現在の走行映像との比較に基づく前方障害物の検出を行ってきた。我々はその初期的な検討として、画像中の水平方向エッジ特徴の差による前方車両の検出手法を提案した [8]。この手法は、車両などの水平方向エッジ特徴の多い前方障害物を検出するものである。しかし、人物や自転車・バイクなど、水平方向エッジ特徴に乏しい障害物は検出が困難であるという問題があった。

本稿では、過去と現在の映像中の道路面間の直接的な差分を求めることで、検出対象の形状特徴に依存しない、道路面上の前方障害物の検出手法を提案する。

2. 提案手法

提案手法では、図 1 のような現在の走行映像と過去の走行映像から、対応するカメラ位置のフレームを求め、それらの差分により前方障害物を検出する。簡単のため、片側 1 車線の道路を対象とし、自車走行車線上の障害物を検出対象とする。

現在の走行映像と過去の走行映像のフレーム間の差分を求める際、同じ道路の走行映像でも自車両の位置や姿勢が走行の度に異なるため、単純に平行移動などの簡単な位置合わせで障害物を検出することは困難である。そこで、道路面が平面であるという仮定の下、現在と過去のフレーム中の道路面を射影変換することによって位置合わせを行い、それらの差分を用いて障害物検出を行う。このとき、現在と過去の道路面間の射影変換行列が必要となり、そのために道路面上の対応点が 4 点必要となる。しかし、道路面はテクスチャが単調であり、一般的な画像特徴では精度良く対応点を求めることが困難である。そこで、両画像間の基礎行列と車線位置を求め、車線とエピポラ線の交点を用いて対応点を 4 点決定する。一方、現在のフレームと過去のフレーム間の差分を求めるためには、各フレームの時間方向の位置合わせが必要となる。しかし、単一フレーム同士での位置合わせでは精度が悪い。そこで、走行映像は時系列で得られることを利用し、DP マッチングを行って時間方向の位置合わせを行う。

実際の処理の流れを図 2 に示す。各処理について以下で詳しく説明する。

2.1 特徴点抽出・基礎行列推定

まず、過去の走行映像と現在の走行映像の各フレーム間の基礎行列を求める。本研究では、SIFT(Scale-Invariant

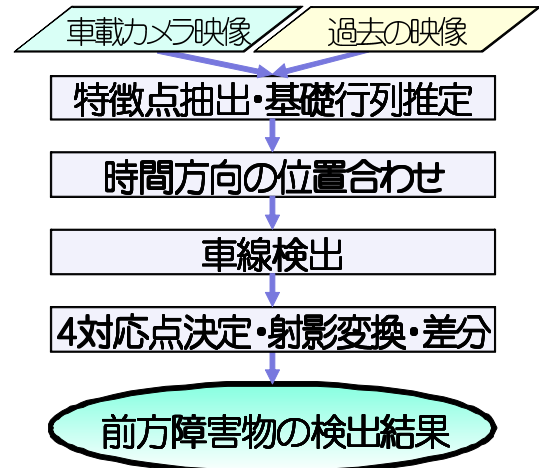


図 2 処理の流れ

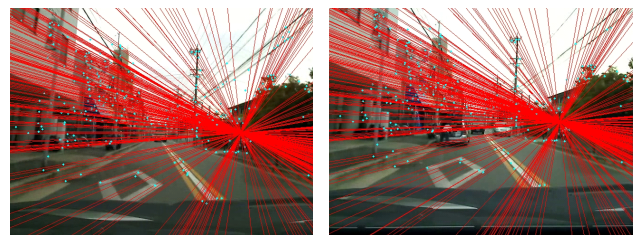


図 3 基礎行列推定結果

Feature Transform) 特徴 [9] を用いて特徴点を抽出し、RANSAC アルゴリズムを用いて基礎行列を推定した。RANSAC アルゴリズムとは、ランダムサンプリングに基づくロバストな推定手法である。RANSAC アルゴリズムによって外れ値とならなかった点と、それに対応するエピポラ線を描画したものを図 3 に示す。

2.2 時間方向の位置合わせ

過去の走行映像と現在の走行映像の各フレームの時間方向の対応付けは、DP マッチングによって行う。この際、類似度指標として、フレーム上の消失点の x 座標とエピポールの x 座標との距離を用いる。ただし簡単のため、本手法ではカメラが正面を向いていると仮定し、消失点をフレームの中心とする。過去の走行映像と現在の走行映像が全く同じ直線上にある可能性は低く、多くの場合平行にずれて走行する。過去と現在の走行方向が平行かつ走行位置が真横に来たとき、エピポールの x 座標は消失点の左右に大きく外れるため、この性質を利用して類似度指標を定めることができる。図 4 にフレーム間の位置関係を示す。現在の走行映像の A のフレームが、過去の映像のどのフレームに対応するかを考えた場合の、簡単な例を図 5 に示す。左図は A と B のフレームの場合で、2 つのカメラの位置が前後にずれているため、エピポールの位置がフレームの中心に寄っていて、類似度は低くなる。右図は A と C のフレームの場合で、カメラの位置が真横にあるため、エピポールの位置がフレームの端に寄っていて、類似度は高くなる。この図では簡

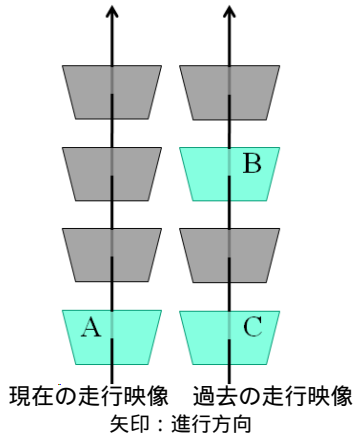


図 4 現在と過去のフレーム間の位置関係

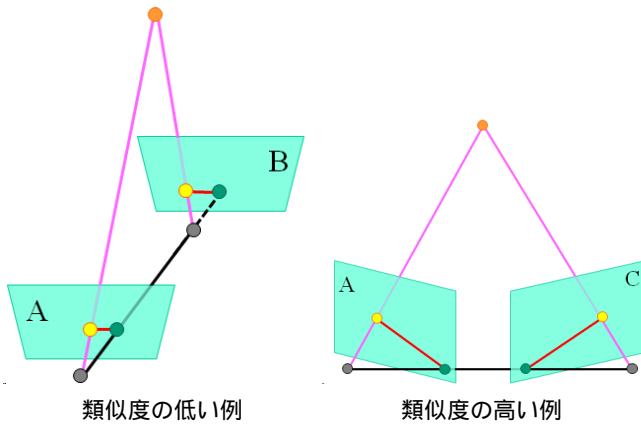


図 5 エピポールの位置の例

単のためカメラの向きを少し傾けているが、これが平行になったときにエピポールの位置はフレーム外へ発散する。図 6 に類似度の低いとき、図 7 に類似度の高いときの実例を示す。

ここで、基礎行列は 2.1 で示したように特徴点ベースで求めている。そのためこの類似度指標はオクルージョンに強く、さらに、障害物を避けているフレームなどのずれが大きいフレームの対応付けにも対応できる。

2.3 車線検出

次に、2.2 で対応付いた過去の走行映像と現在の走行映像の 2 フレームから、ハフ変換を用いて車線を検出する。初めのフレームでは、ハフ空間のエッジ方向を車線が存在し得る範囲に限定して検出する。その後のフレームでは、直前のフレームでの検出結果からハフ空間のエッジ方向と距離の範囲を共に限定して検出することによって、検出精度の向上を図る。図 8 に検出結果の例を示す。

2.4 4 対応点決定・射影変換・差分

最後に、道路面の射影変換を行って領域内の差分を求

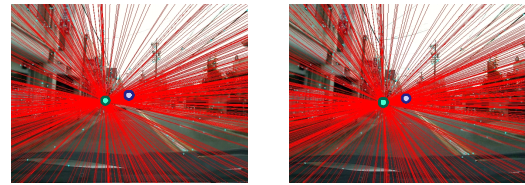


図 6 類似度の低い例

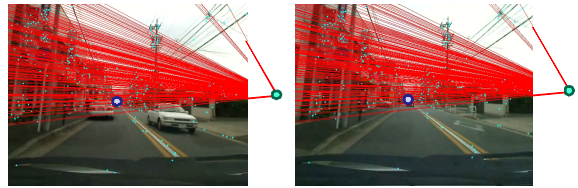


図 7 類似度の高い例

緑点：エピポール
青点：消失点

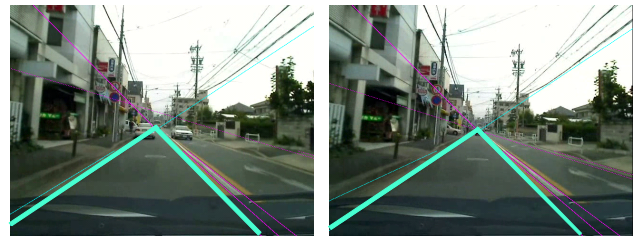


図 8 車線検出結果

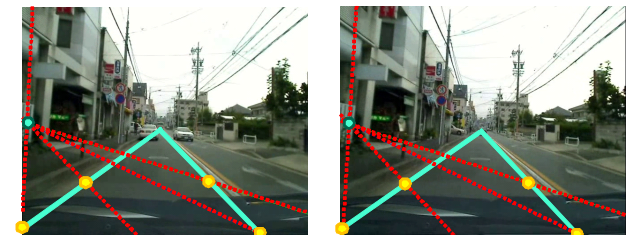


図 9 対応点決定の例

赤破線：エピポーラ線
青線：車線
緑点：エピポール
黄点：対応点

め、差の大きい領域を前方障害物の検出結果とする。まず、2.3 で求めた車線上の適当な点を決め、これと基礎行列からエピポーラ線を求める。このエピポーラ線と他方のフレーム中の車線との交点を対応点とする。左側縁石上から 2 点、センターライン上から 2 点の 4 つの対応点を決定したのち、車線に挟まれた領域を道路面として射影変換する。そして、対応付いた領域間の差分を求め、差が大きい領域を前方障害物候補領域として検出する。図 9 に対応点決定の例を示す。しかし、4 つの対応点が正確に求まっていない場合、道路面を射影変換する際に誤差が生じる。このとき、ずれた部分のセンターラインや横断歩道などの路面表示領域の差分値が大きくなり、図 10 のように両フレームで共通に存在するものの端の部分が誤検出されてしまう。そこで、求めた前方障害物候補領域をラベリングし、面積が閾値以下の小領域、もしくは縦横比が閾値以上の細長い領域を除去する。こうして残った領域を、前方障害物領域として検出する。



図 10 誤検出の例



図 11 前方障害物領域の例 (車)

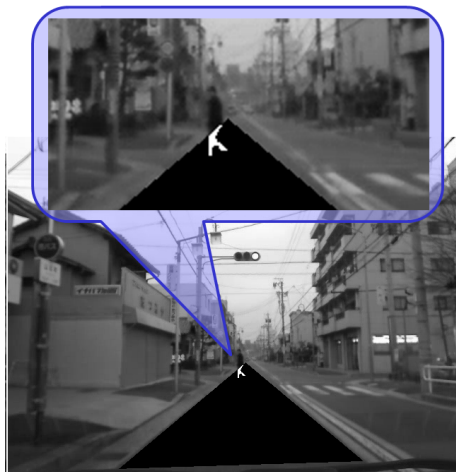


図 12 前方障害物領域の例 (人)

図 11 に車両を検出した例，図 12 に歩行者を検出した例を示す．

3. 実 験

実際の車載カメラ映像 (640 × 480 pixel) を用いて実験を行い，提案手法の評価を行った．実験データは，WEB カメラを図 13 のように車両に取り付けて取得した．

2.2 の DP マッチングによる時間方向の対応付けは，路上駐車車両を避けている部分でも良好に対応付けができた．図 14 に対応付け結果から適当に間引いたものを示す．

対応付けられた 2 系列の映像 1200 フレームからランダムに 100 フレームを選び，検出精度の評価を行った．



図 13 車載カメラの設置の様子

表 1 検出結果

	Precision	Recall
A	0.67 (=76/113)	0.86 (=76/88)
A-E	0.72 (=72/100)	0.87 (=72/83)
A-H	0.80 (=64/80)	0.98 (=64/65)
A-(E+H)	0.86 (=61/71)	1.00 (=61/61)

A(100 フレーム) : 全 100 フレームの結果

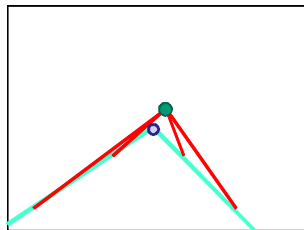
E(8 フレーム) : 車線とエピソード線が平行

H(22 フレーム) : 車線検出失敗

結果は，1 障害物に 1 つでも前方障害物領域があれば 1 検出，誤検出は 1 前方障害物領域につき 1 検出として数えた．100 フレームのうち，4 対応点がうまく求まらなかった 30 フレームを除いたところ，適合率 86%，再現率 100% で検出できた．ここで，適合率 (Precision) とは， $\frac{\text{正解検出数}}{\text{全検出数}}$ で表され，高いほど誤検出が少ない．また，再現率 (Recall) とは， $\frac{\text{正解検出数}}{\text{全正解数}}$ で表され，高いほど検出もれが少ない．詳細な結果を表 1 に示す．E はエピソード線が消失点付近にあり，車線とエピソード線とが平行に近くなったため，射影変換行列が十分な精度で求まらなかったフレームである．また，H は車線位置がうまく求められなかったフレームである．

4. 考 察

実験結果より，エピソードと消失点間の距離に基づく類似度指標を用いた DP マッチングで，2 つの車載カメラ映像の時間方向の対応付けが実現できることを確認した．また，対応付けられたフレームで，車線とエピソード線から十分な精度で射影変換行列が求められたときには，道路面差分による前方障害物検出ができることを確認した．車線検出の失敗は，路上駐車車両を避けているフレームや，横断歩道などにより道路面上のテクスチャが複雑なフレームで生じた．今後，より高精度な車線検出を行う必要がある．また，道路面上のテクスチャが複雑な場合，路面表示検出 [10] 等を用いた路面上の対応点の高精度な位置決定も検討する必要がある．現在の映像と過去の映像の左右方向の走行位置の差が小さいとき，図 15 のように車線とエピソード線が平行に近くなってしまい，交点位置の誤差が大きくなってしまうため，精度よく射影変換を行えない．これは，走行位置が左右に異なる複数の過去の映像を用意し，よりエピソードの位置が良い映像から射影変換行列を求めることにより回避できる．さらに，実際の道路面は完全な平面ではないため，どれだけ高精度な射影変換を行っても誤差が発生する可能性がある．また輝度値による差分では，天候の変



緑点：エピポール
 青点：消失点
 赤線：エピポーラ線
 青線：車線

図 15 エピポールと消失点が近い例

化などに対して弱い．そのため，エッジ特徴などによる差分を検討する必要がある．

5. む す び

本報告では，過去の映像と現在の映像の時間方向の位置合わせと，路面間の直接差分による前方障害物検出を提案した．実験により，検出対象形状を事前に学習することなく前方障害物が高い精度で検出できることが示された．今後，より高精度な車線検出や，走行位置の異なる複数系列のデータベースの利用などによる，道路面位置合わせの精度向上が必要である．また，天候の違いへの対応などが必要である．

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．本研究の一部は文部科学省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] 朱成華, 平原清隆, 池内克史, “ エピポーラ平面画像解析に基づいた路上駐車検出 ”, 電気学会 ITS 研究会資料, ITS-03-32, Sep. 2003.
- [2] 尾崎貴洋, 山内悠嗣, 藤吉弘巨, “ Joint HOG 特徴を用いた 2 段階 AdaBoost による車両検出 ”, DIA2008 講演論文集, I1-13, Mar. 2008.
- [3] 本田技研工業, 広報発表, Aug. 2004
- [4] 本田技研工業, 技術紹介
<http://www.honda.co.jp/tech/auto/Information/>
- [5] 山野芳樹, “ モービルマッピングシステムによる道路空間データ収集手法の開発 ”, APA, no.77-1, (財)日本測量調査技術協会, Nov. 2000.
- [6] 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 ”, PCSJ/IMPS2005 予稿集, P-4.08, Nov. 2005.
- [7] 佐藤准嗣, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋, “ GPS 座標付き全方位映像群からの市街地映像マップの構築と街並変化の検出 ”, 信学論, Vol.J90-D, No.4, Apr. 2007.
- [8] 久徳遥矢, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋, “ 過去の車載カメラ映像との差分による前方車両の検出 ”, FIT2008 講演論文集, H-038, Sep. 2008.
- [9] D.G. Lowe, “ Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints ”, IEEE International Journal on Computer Vision, Vol.60, no.2, pp.91-110, 2004
- [10] 野田雅文, 高橋友和, 井手一郎, 目加田慶人, 村瀬洋, “ 生成型部分空間法を用いた車載カメラ映像中路面標識認識 ”, MIRU2008 講演予稿集, IS2-6, Jul. 2008.



A : 過去の映像のキーフレーム
 B : A と同時刻のフレーム
 B' : DP マッチング後の A に対応するフレーム

図 14 DP マッチング結果