

過去の車載カメラ映像との道路面差分による前方障害物の検出

Detection of Forward Obstacles by

Subtraction of Road-Surface between Present and Past In-Vehicle Camera Images

久徳 遙矢† 出口 大輔† 高橋 友和‡ 井手 一郎† 目加田 慶人‡ 村瀬 洋†
Haruya KYUTOKU†, Daisuke DEGUCHI†, Tomokazu TAKAHASHI‡, Ichiro IDE†,
Yoshito MEKADA‡, Hiroshi MURASE†

†名古屋大学 大学院情報科学研究科

‡岐阜聖徳学園大学 経済情報学部 ‡中京大学 情報理工学部

†Nagoya University, ‡Gifu Shotoku Gakuen University, ‡Chukyo University

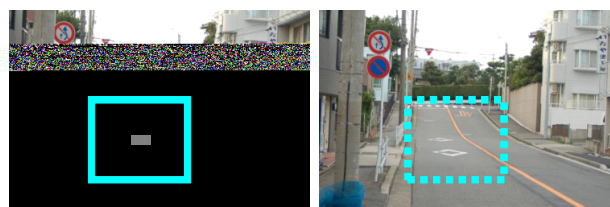
E-mail: kyutoku@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract

本稿では、過去の車載カメラ映像との道路面差分による前方障害物検出手法を提案する。提案手法は、自車が車載カメラから得た現在の画像と、過去に同じ道路を走行して撮影さ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ものである。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のみ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の位置合わせを行い、それらの差分を用いて障害物検出を行う。実際の車載カメラ映像を用いた実験の結果、提案手法は適合率 86%, 再現率 100% で前方障害物を検出することがわかった。

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、汎用性の高い車載カメラを用いた前方障害物の検出に注目する。これにより、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と思われる。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・利用 [5][6][7] は容易に実現可能であると考えられる。以上の背景から、本研究ではこれ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、対象の形



現在の走行映像

過去の走行映像

図 1 走行映像の例

状に依存しない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差分をとることで、検出対象の形状特徴に依存しない前方障害物の検出手法を提案する。

2 提案手法

本研究では、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、単純に平行移動などの簡単な位置合わせで差分を求めることは、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

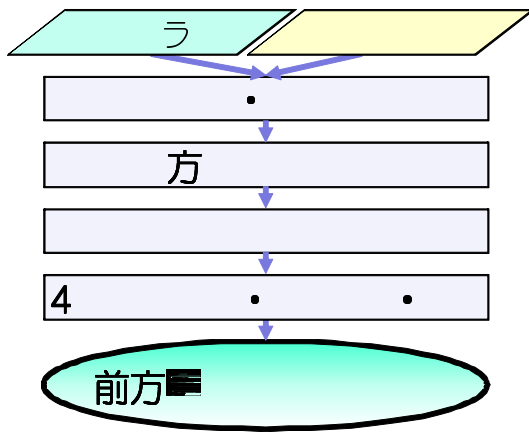


図2 処理の流れ

物検出を行う。このとき，現在と過去の道路面の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，車線とエピポーラ線の交点を用いて対応点を4点決定する。基礎行列は，両フレーム間のSIFT(Scale-Invariant Feature Transform)特徴による対応点とRANSACアルゴリズムにより求める。また，車線位置は方向を限定したHough変換によって求める。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。DPマッチングの類似度指標には消失点とエピポールの距離を用いた。実際の処理の流れを図2に示す。各処理については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 Feature Transform)特徴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ー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，2.4における対応点決定の精度向上のため，フレーム上での消失点の x 座標とエピポールの x 座標との距離を用いる。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

現在の走行映像 過去の走行映像
赤線 : エピポーラ線
青点 : SIFT特徴点

図3 基礎行列推定結果

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，これを類似度指標とした。図4に類似度の低い例，図5に類似度の高い例を示す。

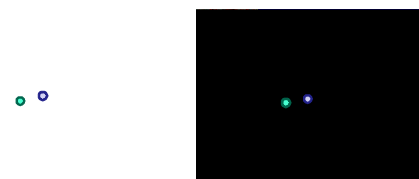
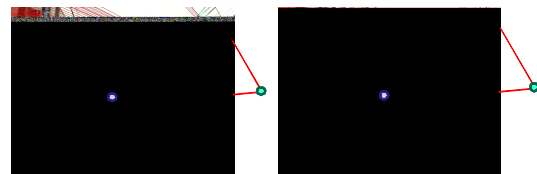


図4 類似度の低い例



緑丸 : エピポール
青点 : 消失点

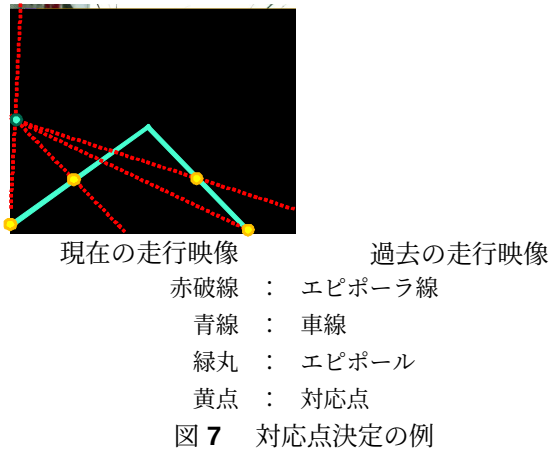
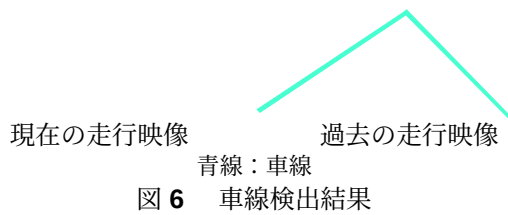
図5 類似度の高い例

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，方向を限定したHough変換を用いて車線を検出する。図6に検出結果を示す。

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7に対応点決定の例を示す。このとき，4つの対応点が正確に求まっていない場合，センターラインや横断歩道などの路面表示領域の差分が完全にならず，図8のように端の部分が誤検出されてしまう。そこで，求まった前方障害物候補領域をラベリン



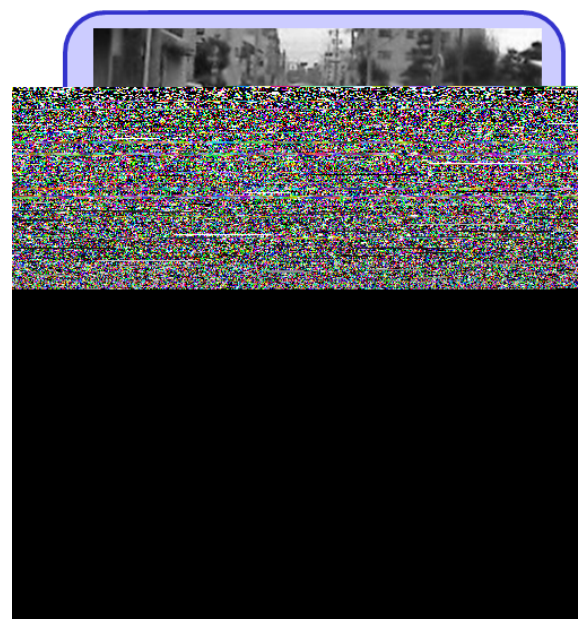
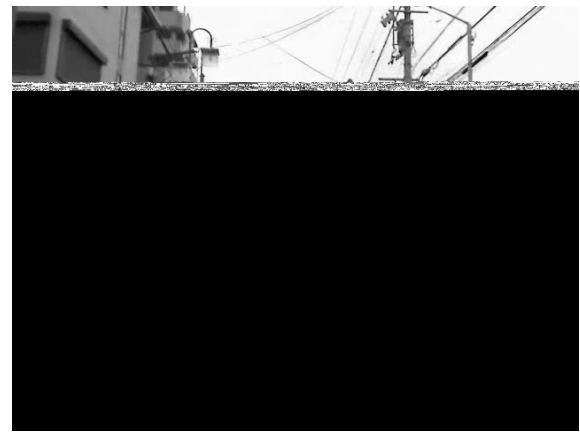
グし，面積が閾値以下の小領域もしくは縦横比が閾値以上の細長い領域を除去する．こうして残った領域を，前方障害物領域として検出する．図 9 に例を示す．ここで，エピソードと消失点とが近い場合，車線とエピソード線が平行に近くなってしまい，交点の誤差が大きくなってしまう．しかし 2 映像の対応するフレームでの自車の位置と進行方向が共に近くない限り，そのようなことは起きない．

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 10 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 11 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．数え上げ方は，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．詳細な結果を表 1 に示す．E はエピソード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．これは，現在の走行映像と過去の走行映像の走行位置がほぼ同じときに生じた．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．これは，路上駐車車両を避けている部分や，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．

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，車線が精度良く検出され，かつ，エピソードと消失点が十分に離れているときには，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．今後，路面表示検出 [9] 等を用いた路面上の対応点の高精度な位置決定や，複数の過去の映像から射影変換行列を求めることによる，4 対応点の位置ずれの低減を検討する必要がある．

図 10 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) : 車線とエビポーラ線が平行

H(22 フレーム) : 車線検出失敗

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，4 対応点の位置精度向上や，走行位置の異なる複数系列のデータベースの利用，天候の違いへの対応などが必要である．

参考文献

- [1] 朱ら，“エビポーラ平面画像解析に基づいた路上駐車車の検出”，電気学会 ITS 研究会資料，ITS-03-32，Sep. 2003.
- [2] 尾崎ら，“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，“モバイ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] 石川ら，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] 佐藤ら，“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] 久徳ら，“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] 野田ら，“生成型部分空間法を用いた車載カメラ映像中路面標示認識”，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 11 DP マッチング結果