Real Time Method to Detect the Waving Drive from a Single Camera

Tomoaki Teshima Non-member (Keio University, tomoaki@ozawa.ics.keio.ac.jp) Hideo Saito Member (Keio University, saito@ozawa.ics.keio.ac.jp) Shinji Ozawa Member (Aichi University of Technology, ozawa@aut.ac.jp) Keiichi Yamamoto Non-member (Mitsubishi Fusou Bus, keiichi.yamamoto@mitsubishi-fuso.com) Toru Ihara Non-member (Mitsubishi Fusou Bus, toru.ihara@mitsubishi-fuso.com)

Keywords: ITS, Lateral position egomotion, Top-View Image, Homography, Real-Time system, Waving detection

In this paper, we propose a method to detect the waving drive from a single camera in real-time. In some situation, the waving drive of the vehicle is very danger.

In the previous method, the waving drive detection was based on the extracted trajectory of the vehicle. The trajectory extract method was using either of marker, natural feature points or matching of the input image. The method which uses a marker is reliable, but in snow road, the marker based method can't be used.

The natural feature points approach and matching of the input images approach is very robust against the situation. These method compute there motion from the movement of each feature or the difference of the input image between 2 short different time. On the other hand, any moving object will cause a sever error on the estimated trajectory. Thus, to estimate the trajectory, the problem becomes the distinguish between the static area and the moving area.

In this paper, we propose a method which uses the matching of 2 input images. To avoid the effect of other running cars, we use only static area between the front vehicle.

Figure 1 shows the example of the input image and the top-view image. The boxed area drawn on the input image expresses the region of the top-view image. The convert from the input image to the top-view image is done using Homography. The Homography is calculated once previously according to the camera position and the angle. We assume that there are no moving object included in this region.

From the 2 conecutive top-view frame, we estimate the velocity of the vehicle. The difference of the 2 top-view image is caused by the velocity of the vehicle, since no moving object is included in the top-view.

In this paper, we introduce a simple model of the vehicle velocity. In the model, the velocity is express by 1 rotation and 1 translation, which corresponds to rotation and translation of the top view image. From the input image and the top view image, we can provide a predicted image of the next top view. In this method, we try a lot of parameters to generate the top view image. We choose the parameter which give the minimum difference from the real top view image and the predicted next top view image.

In the experiment, we made an experimental system which moves in real time. To reduce the computation time, we introduced the particle filter.

The experiment results show the robustness against the environment situation and fast computatin speed quick enough to estimate the trajectory.



Fig. 1. Example of the input image and the Top-View image



Fig. 2. Example of the difference between 2 *Top-View* images

論 文

単眼カメラを用いた車両の実時間蛇行検出手法

 非会員
 手島
 知昭*
 正
 員
 斎藤
 英雄*

 正
 員
 小澤
 慎治**
 非会員
 山本
 恵一***

 非会員
 伊原
 徹***

Real Time Method to Detect the Waving Drive from a Single Camera

Tomoaki Teshima^{*}, Non-member, Hideo Saito^{*}, Member, Shinji Ozawa^{**}, Member, Keiichi Yamamoto^{***}, Non-member, Toru Ihara^{***}, Non-member

In this paper, we propose a method to detect the waving drive from a single camera in real-time. The requirement for the proposed method is computation time, accuracy and the dependency on the lane marker. The previous waving drive detection systems are based on the detection of the lane marker. Thus, the previous systems can't work on a road with no lane marker, like a snow road. The proposed method uses the planar region in front of the vehicle by converting it to a top-view image. The system is able to work on a road without a lane marker. To resolve the problem of the computation time, we apply the particle filter to speed up the proposed method. The proposed method is tested on both synthesized and real image to check the accuracy and computation speed. The experiment shows that the proposed method works on both roads with or without lane marker. Also, an online experiment is done to demonstrate that proposed method works in real-time.

キーワード:ITS, 水平位置推定, 俯瞰画像, ホモグラフィ, 実時間システム, 蛇行検出 **Keywords:** ITS, Lateral position estimation, Top-View Image, Homography, Real-Time system, Waving detection

1. はじめ

車載カメラを用いた車両の蛇行検出が近年行われている。 この蛇行検出は居眠り防止を目的とした技術で、車線内で の水平位置から蛇行の有無を推定する。蛇行検出とは車両 の水平位置を算出する手法である。ここでいう蛇行とは、 運転者が無意識に、主に居眠り時に起こす蛇行を想定して いる。車両の水平位置を推定するためにカメラを利用した 方法は多数提案されており、これらは大まかに、白線など の特定の画像パターンを基準とする方法⁽¹⁾、自然特徴点を 追跡する方法⁽²⁾、画像全体のマッチングを利用する方法⁽³⁾

* 慶應義塾大学 理工学研究科 〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1 Keio University, Graduate School of Science and Technology 3-14-1, Hiyoshi, Yokohama, Kanagawa 223-8522
** 愛知工科大学 〒 443-0047 愛知県西波左間馬乗 50-2 Aichi University of Technology 50-2, Umanori, Nishihasama, Aichi 443-0047
*** 三菱ふそうバス&トラック(株) 〒 211-0023 神奈川県川崎市中原区大倉町 10 Mitsubishi Fusou Bus & Truck Corporation 10, Okura, Nakaharam, Kanagawa 211-0023 の3つに分けられる。

特定の画像パターンを基準とする手法では、各フレーム で基準パターンとして白線や道路標示などを検出し、その 位置に基づきカメラキャリブレーションを行う。この方法 ではフレーム毎に基準に対するカメラの絶対位置を求める ことができるが、基準となる画像パターンが無い路面には 用いることができない。

自然特徴点を追跡する方法では、数フレームにわたって 追跡された自然特徴点の軌跡からカメラの運動ベクトルを 計算し、それを積分することで水平位置を得る。この手法 では画像内に基準となる画像パターンが無くてもカメラの 運動ベクトルを計算できる。その一方で画像中に運動物体 が存在していると、特徴点の動きが運動物体によって引き 起こされたのか、カメラの運動によって引き起こされたの か切り分ける必要がある。車載カメラを利用する状況では 並走車や対向車など移動物体が画像中に含まれることが想 定され、何らかの手法で静止物体領域と動物体領域に切り 分ける必要があり、容易ではない。また、自然特徴点の追 跡は一般に困難な問題とされ、多くの手法が研究されてい る⁽⁴⁾⁽⁵⁾が、誤追跡を完全に防ぐことはできないために結果 として運動ベクトルの計算を誤りやすい。 画面全体のマッチングを利用する手法では、カメラの動 きによって引き起こされる画像の変化をモデルで表す。そ して入力画像を、仮定した運動パラメータにより、微小時 間後の状態に変化させ、変化させた画像と実入力画像のマッ チングにより、仮定した運動パラメータの妥当性を評価す る。この評価を最大にするような、運動パラーメータを推 定する。この手法では、自然特徴点を利用して位置を計算 する手法と同様に、動物体が画像中に写りこんだときに精 度が低下する。そのため、移動物体と静止物体の切り分け が必要となる。しかしながら、基準となる特定の画像パター ンを必要とせず、さらに自然特徴点の誤追跡の影響を受け ないため、安定にカメラの運動ベクトルの推定を行うこと が期待できる。

そこで、本論文では画像のマッチングを用いた手法に基 づいて、路面上のテクスチャの動き方から、カメラの運動 ベクトルを推定する手法を提案する。本手法では、白線が 無い路面でも適用できるように、路面上の標示、標識など の、基準となる画像パターンを用いることなく、路面上の 任意の静止領域のマッチングによって、運動を推定する。 特に本手法では、マッチングの高速化と高精度化を図るた め、マッチングを行う前に画像を俯瞰画像に変換して画像 マッチングの際の自由度を制限する。さらに追跡のために パーティクルフィルタ⁽⁶⁾を利用することで、更なる高速化 を実現する。

本論文は以下の章から成り立つ。2章では本手法で用い ている前提や想定する状況について説明する。3章では俯 瞰画像を生成するための手法を説明する。4章では理論に 基づいて合成画像,実画像両方で実験を行い,結果への白 線の有無の影響,計算速度についての考察を記す。5章で は本論文についてまとめる。

2. 前 提

本手法では、車両の蛇行を検出するため、路面上のテク スチャの動き方からカメラの運動ベクトルを推定する。本 手法では、運転者が居眠りを起こしたときに行うとされて いる、蛇行運転を想定する。この蛇行運転は、0.1Hz-0.2Hz 程度の周波数を有することが知られている。そこで本手法 では 0.1-0.2Hz の蛇行の検出を目的とする。

本手法が対象としているのは、車両が高速道路上や大型 の幹線道路を、急激な加減速なしに走行している状況であ る。本手法では、前提として車両は車間距離を10mとり、 入力画像には、路面のみが写っている領域が存在している とする。車間距離が詰まっている状況は考慮しない。

また本手法では,撮影された静止領域には,なんらかの テクスチャがある路面を対象とする。つまり新雪に完全に 覆われた路面や,単色のアスファルトでできた路面など,テ クスチャが全く無い路面は対象外とする。さらに雨の日の 道路のように,路面で鏡面反射を起こしている状況も対象 外とする。

以上の前提を踏まえた上で, 従来手法を適用させること

のできなかった,白線の見えない路面においても,蛇行検 出を可能とする手法を提案する。

3. 手 法

本手法では、1章で述べたとおり路面上に位置の絶対的 な基準となる白線などの画像パターンが無くても、蛇行を 検出可能な手法を提案する。本手法では、任意の路面領域 の画像パターンを、時刻の異なるフレーム間とマッチング させることによって、車両のフレーム間での運動ベクトル を推定する。このとき、マッチング演算の高速化のために 入力画像を俯瞰画像に変換し、さらにパーティクルフィル タの利用により、マッチングに必要な計算量の軽減を図っ ている。本手法は従来手法の中で、画像のマッチングを利 用する種類に分類される。

本手法はFig.1に示すとおり、大まかに2段階のステッ プに分けられている。1段階目では1フレーム間の運動ベ クトルを推定する。そのために、俯瞰画像のマッチングを 用いる。入力画像に映っている路面を真上から撮影したよ うな俯瞰画像に変換し、2フレーム間での俯瞰画像を比較す ることで1フレーム間での運動ベクトルを推定する。この 第1段階の処理がFig.1の"Matching of the Top-View" に相当する。

また、第2段階では求められた運動ベクトルの結果をも とに、次フレームでの運動ベクトルを予想する。前フレー ムで求められた結果は、次フレームでも似た結果になると 予想される。そのため、求められた結果をもとに、次フレー ムでの運動ベクトルを予測することで、計算量の削減を図 る。計算量の削減のためにはパーティクルフィルタを用い る。この第2段階の処理がFig.1の"State prediction from previous frame using particle filter"に相当する。

本手法では、走行中の車両を〈3・1〉節で説明するモデルに 当てはめて運動ベクトルを推定する。本手法で用いるモデ ルでは、運動ベクトルを進行する方向と進行した距離の2 次元パラメータで表す。〈3・2〉節では俯瞰画像への変換につ いて説明する。この変換により、推定するパラメータを2 つに減らし、探索空間を削減している。〈3・3〉節では評価の 手順を説明する。Fig.1に示すとおり、本手法では俯瞰画 像のマッチング処理により、現フレームから次フレームへ の運動ベクトルを推定する。

本手法では,パラメータの仮定と評価の反復によって解 を求める。反復回数を増やすことでより最適な解を求めら



Fig. 1. Brief explanation of our method



れるが、その一方で計算コストが高くなり、実時間処理に は向かない。そこで本手法では Fig.1 に示すように、パー ティクルフィルタを用いることで反復回数を削減する。パー ティクルフィルタの詳細について(3·4)節で説明する。

(3・1) カメラモデル 本節では、本手法で利用する カメラモデルについて説明する。カメラモデルを Fig.2 に 示す。世界座標系の原点は現フレームのカメラ鉛直真下と し、カメラの光軸は Z_W 軸と共平面であるとする。また、 カメラ座標系の X_C 軸は世界座標系の X_W 軸と平行であ るとする。vは1フレーム間にカメラが移動した距離であ り、車速に相当する。 θ は車両の進行方向を表し、直進時 に $\theta = 0$ とする。また、車両は平面上を走行しているとし て、カメラの高さ h はフレーム間で変化せず、またカメラ の X_W 軸と Z_W 軸周りに関する回転運動 R_X , R_Z は0で あるとする。カメラは車両に固定されているため、カメラ の Y_W 軸周りに関する回転運動 R_Y は進行方向 θ と等しく なる。

関らや Martinet らが提案した手法 ^{(7) (8)} においては自動 車の運動を自転車に近似した「自転車モデル」を利用して いる。これらの手法では、カメラの X_W 軸周りの回転運動 に関しても考慮している。一方本手法では、カメラから近 い路面上を観測しており、回転運動を 0 に近似できるため、 自己運動推定は本来の回転 3 次元 + 並進 3 次元の 6 自由 度から、進行方向 θ と車速 v の 2 自由度にまで減らしてい る。これは、本手法が高速道路走行中の車両を対象として いるために導入できる仮定である。

4章の実験においては、このモデルが妥当な仮定である ことを示す。

〈3・2〉 俯瞰画像の生成 本手法では、内部パラメー タが既知である単眼カメラを利用する。ここで〈3・1〉節で定 義したモデルを用い、2つの外部パラメータ行列を求める。 (1) 式に示されるのは、現フレームにおける外部パラメー タ行列である。つまり現フレームにおけるカメラと路面の 位置関係を表す行列である。この外部パラメータは、処理 開始前にキャリブレーションを行うことであらかじめ求め ておく。

一方で,(2),(3) 式に表されるのは,次フレームでの外 部パラメータである。(2),(3) 式で表される座標系の原点 は、現フレームの世界座標の原点となる。パラメータッと



Fig. 3. Example of the difference between 2 *Top-View* images

 θ を仮定するすることで外部パラメータ行列を求めること ができる。

内部パラメータは既知であるので、2組の外部パラメータ 行列から2つの射影行列を計算する。射影行列の中でY_W 軸に相当する2列目を消去することで、射影行列から平面 射影行列ホモグラフィを求める。このホモグラフィを求め ることにより、入力画像を変換した俯瞰画像を得る。この 俯瞰画像は路面上と画像中の座標が1対1で対応付けされ ている画像である。

得られた2つのホモグラフィにより,2枚の俯瞰画像を 作る。(1)式より作成したホモグラフィを現フレームの入力 画像に,(2),(3)式より作成したホモグラフィを次フレー ムの入力画像に適用する。これにより,2枚の俯瞰画像を 生成する。

〈3・3〉パラメータの評価 本手法では、2章で説明したように車両の前方に静止領域が存在し、その表面は見込み角によらず、映りこみが変化しない路面を対象としている。〈3・1〉節で定義したパラメータッとθが正しい場合、その2つのパラメータによって変換された俯瞰画像は同じものになる。よって画像の類似度はパラメータの尤度を表すと考えられる。

本手法では、次フレームにおける合成俯瞰画像と、現フ レームにおける俯瞰画像との間で類似度を計算する。本手 法では SAD(Sum of Absolute Difference) 値を用いて類 似度を計算し、パラメータを評価する。Fig.3 に俯瞰画像 の差分を示す。Fig.3 を黒くするようなパラメータを探索 する。

ここまでの処理で、パラメータの候補と各パラメータの



(c) RAIL (frame 1)



(e) TEXTURE (frame 1) (f) TEXTURE (frame 300) Fig. 4. Synthesized input images



Fig. 5. The *Top-View* and its region at frame 150

Table 1. Parameter for the experiment on synthesized images

Parameter	Value	
ϕ	8.13 °	
h	2.0(m)	
Focal Length	360 (pixel)	
Image Size	360×240 (pixel)	
Number of Particle filter	20 (particles)	

尤度が求められた。このパラメータの候補より、最大の尤 度をもつパラメータを、そのフレームにおける運動ベクト ルとする。

(3・4) パーティクルフィルタを用いた探索回数削減 計 算量をさらに削減するため、パーティクルフィルタ (6) によ る運動パラメータの状態追跡を行う。パーティクルフィル タは、状態追跡時に前フレームの状態を分布の形で保存す るのが特徴である。追跡時に前フレームでの推定結果から, 尤度の高かった探索空間を重点的に検索する仕組みになっ ている。

本手法ではフレーム間で等速直線運動を行うモデルをパー ティクルフィルタに用いた。



Fig. 6. The estimated lateral position of camera using the synthesized image.

実験・考察

本手法の追跡精度と計算速度を検証するため、実験によ る検証を行った。〈4・1〉節では合成画像を用いた実験を行っ た。〈4・2〉節、〈4・3〉節、〈4・5〉節では実際に車載カメラか ら撮影された画像を用いた実験を行った。(4・4)節ではミニ チュアで再現した実画像で実験を行った。

本手法では画像中に動物体が含まれていても蛇行を検出 できることを〈4・1・2〉節の実験にて検証し、〈4・6〉に考察を 記述する。本手法において路面表面に白線がなくても水平 位置を推定できることを〈4・1・1〉節、〈4・3〉節、〈4・4〉節の実 験にて示し、〈4・6〉節にて考察を記す。本手法が蛇行推定に 十分な計算速度を有することについて(4.5)節に実験結果を 示し、〈4・7〉節にて考察を記す。

水平位置を推定するために本手法では1フレーム間での 運動ベクトルを計算し、時系列に加算している。加算する 際、微小なノイズの積み重ねにより、低周波ノイズが現れ てしまう。そこで、0.1Hz 以下の帯域を取り除く HPF を 通すことにより、低周波ノイズを取り除いた。

〈4·1〉 合成画像を用いた実験 本節では推定結果の 精度検証と,路面のパターンに依存しないことを示すため 合成画像を用いて実験を行った。画像合成には POV-Ray for Windows ver 3.6 を利用した。実験に用いたパラメー タを Table 1 に示す。





〈4・1・1〉 路面テクスチャに対するロバスト性本節の実験では本手法が路面上に白線が無い状況でも蛇行を検出できることを示す。

実験では路面のテクスチャを3種類用意し、それ以外は 同じ条件とした。実験用の入力画像をFig.4に示す。

1種類目はガードレールと白線が映っている画像を,2種 類目にはガードレールのみ映っている画像を,3種類目に は白線がない画像をそれぞれ用意した。各テクスチャの上 を車が居眠り運転で蛇行したと想定した映像を生成した。 各入力画像において,カメラは同じ軌跡を示す。Fig.5 (a) に俯瞰画像に使用された領域を,Fig.5 (b) に俯瞰画像の 例を示す。

各入力画像から得られた運動軌跡を Fig.6 に示す。Fig.6 の MARKER はガードレールと白線が映っている画像を入力とした結果, RAIL はガードレールのみ映っている画像 を入力とした結果, TEXTURE は白線もガードレールも 無い画像を入力とした結果, Ground Truth に正解値をそれぞれ示す。

各結果と正解値との差は,正解値の振幅に比べて十分小 さい。正解値からの差は TEXTURE の場合で平均 25cm, 正解値の振幅 4m に対して 6.25%である。この結果より, 本手法が白線を利用せずに水平位置を推定しており,何ら かのテクスチャが画像に撮影されていればカメラの水平位 置が推定可能である。

〈4・1・2〉 画像中の動物体の影響 画像中の動物体が 本手法に及ぼす影響について本節で検証する。車載カメラ 画像において,リアルタイムでの背景と対象領域の切り出 しについて,Keらなどが提案した手法⁽⁹⁾など,複数存在 する。本手法では路面領域の切り出しに計算コストをかけ ずに,車両前方に存在する車間の領域に着目して静止領域 を切り出す。

合成画像生成時に利用したパラメータは Table 1 と同じ で,自車両の右側から追い越し車両が現れる状況を生成し た。生成した入力画像の例を Fig.7 に,実験結果を Fig.8 に示す。

今回の実験において, FOE を用いた手法⁽³⁾ とオプティ カルフローを用いた手法と比較を行った。また動物体の影 響を評価するために, FOE を用いた手法においてマスキン グをした場合としなかった場合の2通りを試した。オプティ カルフローを用いた手法では KLT⁽¹⁰⁾ を利用して特徴点の 追跡を行い, 求められたオプティカルフローからカメラの 運動ベクトルを復元した。マスキングした領域は Fig. 5(a) に示された白枠の中と同じ領域を利用した。



Fig. 8. The estimated lateral position of camera using the synthesized image with moving object.

本手法の結果を Fig.8 に示す。本手法の推定結果は正解 値の振幅と比較して差異が小さい。一方で他の手法は,動 物体による影響を受けているため,正解値とは程遠い結果 を推定している。本手法では,動物体の映りこまない車両 前方の路面領域を利用しているため,動物体の影響を受け ることなく水平位置を推定できる。

一方で他の手法では、車両前方の路面領域だけを利用す る処理はうまくいかない。これは領域を制限することで、単 純に情報量が減ってしまうからである。実験ではFOEを用 いた手法、オプティカルフローを用いた手法と比較を行っ たが、FOEを用いた手法では消失点近傍の、オプティカル フローでは画像全体の移動情報が必要になる。車両前方の 路面だけ利用していては情報量が足りない、もしくはない ため、推定が行えない。画像全体を使った場合、どちらの 手法においても動物体を含む領域を利用するため、動物体 と静止領域の切り分け処理が必要となり、現実的ではない。 以上のように、本手法は他の白線を利用しない手法に比 べて動物体の影響を減らすことができる。

〈4・2〉 実画像での実験 実環境における精度実証のた





Table 2.	Parameter	for	${\rm the}$	$\operatorname{experiments}$	on	real
images						

Parameter	Value
ϕ	5.40°
h	2.5(m)
Focal Length	577.7 (pixel)
Image Size	360×240 (pixel)
Number of Particle filter	20 (particles)

め、実画像を用いて実験を行った。実験時の環境を Table 2 に、入力画像の例を Fig. 9 に、Fig. 10 に各フレームでの俯 瞰画像に利用している領域と俯瞰画像を表示する。本手法 は、車両の前方の路面だけを利用して水平位置を推定する。 動物体が映りこんでいないため、動物体の影響を受けるこ となく水平位置を推定できる。Fig. 10 に示された領域は幅 5m、長さが 4m である。

この実験では白線ありの画像を入力としたため、白線の 位置検出に基づく結果を正解値として取り扱う。白線の位 置検出に基づく手法は結果を正規化し、本手法の結果と合 わせ Fig. 11 に示す。

比較のため、〈4·1·2〉節で利用した、FOEを用いた手法の 結果も合わせて載せる。Fig.9に示すとおり、入力画像700 フレーム前後で実車を追い越す車両が存在する。その近辺 で FOE に基づく手法では結果が不自然に振れており、動 物体によって水平位置推定が邪魔されていることが分かる。

このことより, 蛇行を推定するための手法として, 本手 法は他の手法より優れていることがわかる。

〈4・3〉 雪道における実験 本手法が白線が無い状況 下でも有効であることを示すために雪道上で実験を行った。 雪道実験の入力画像の例を Fig.12 に,実験に用いた俯瞰 画像の例を Fig.13 に示す。Fig.12 に示すとおり,まっす ぐな幹線道路の雪道上を車両が直進しており,路面上に白 線は見えない。本実験では画像中に他の走行車両は含まれ ていない。

比較のため、〈4・2〉節と同じく FOE の座標に基づいた位 置検出手法を用いた結果を掲示する。正解値として評価し ていた白線に基づく手法は白線が見えなかったため、用い なかった。

Fig. 14 に推定された結果を示す。Fig. 14 では、車両が 直進したという推定結果になっており、実際に実験時に車 両はハンドル操作なしに直進していた。実際の車両の動き と同じような直線状の推定結果が得られているところから 本手法が雪道上でも正しく動作することを示している。一



(a) Top-View image



(b) The region of the Top-View image

Fig. 10. The *Top-View* image and its region at frame 850



Fig. 11. The estimated lateral position of camera using the real image.

方で FOE の座標に基づいた位置検出手法では雪道上を直 進しているにもかかわらず,水平位置が左右に振れており, 実際の車両の動きとは明らかに異なる結果となっている。

この結果より,本手法では白線や道路標示などの位置が 無くても従来の白線を利用する手法ではできなかった,雪 道上で水平位置の推定を実現している。

これらの結果により、本手法が従来手法より広い範囲の 画像に適用できることが分かる。



(a) Frame 1

(c) Frame 301

(d) Frame 451







(b) Example of the (a) The region of the Top-View image Top-View image Fig. 13. The Top-View image and its region at frame 121 on the snow road



Fig. 14. The estimated lateral position of camera on the snow road

〈4・4〉 白線の無い環境下での蛇行 本手法が白線が 無い道の上でも蛇行を検出できることを示すために実験を 行った。実際の環境として、雪道上を蛇行させながら走行 することは困難であり、路面上にランダムなテクスチャを 用意することでミニチュアの実験を行った。Fig. 15 に実験 に利用した入力画像の一部を, Fig. 16 に俯瞰画像の一例と その生成に用いた領域を示す。

Fig. 15 では絨毯の上に小さい紙片をまき、その上をカメ ラを18mに渡って動かし、撮影を行った。地面とカメラの 光学中心の間の距離は 15cm であった。この実験はカメラ

Table 3.	The parameters	used f	for the	experiment
on the sn	ow road			

Parameter	Value
ϕ	5.40°
h	2.5(m)
Focal Length	577.7(pixel)
Image Size	360×240 (pixel)
Number of Particle filter	20 (particles)

の高さ 2.5m, 車速約 90km/h, 15fps で撮影した環境を想 定した。

Fig. 17 に本手法による結果と正解値を示す。平均誤差 は16mm であった。蛇行の振幅は200mm に対して誤差は 8%であり十分小さい。つまり白線が無い道の上でも妥当な 水平位置を推定できた。

〈4・5〉 実時間システム 本手法の目指すところは車 載システムによる実時間の水平位置の推定である。性能評 価のため、車載システムをノート PCと Web カメラによっ て作成し、実験を行った。車載システムに用いたカメラの 仕様を Table 4 に,計算機の主な仕様を Table 5 に,実験 時の入力画像の例を Fig. 18 に示す。

実験時の環境として、雪道を用意することは困難であり、 通常の高速道路上にて実験を行った。Fig. 18 に示す通り, 路面上には白線が描かれているが、3章で説明したように、 本手法では白線の位置検出は行っていない。俯瞰画像に利 用したのは車両前方 6m,幅約 4mの領域を利用した。

計算時間削減のため、作成した実時間システムでは車両 の速度推定は行わず車両の速度センサを利用した。これに より計算すべきパラメータを0のみの1つとした。パーティ クルフィルタを利用せずに角度に関しては全探索を行った。 これにより計算時間は0.25秒まで削減され、4Hzで水平位 置が推定できた。居眠り運転中に発生する蛇行の周波数は 0.1Hz-0.2Hz 程度であることが経験的に知られており、こ の計算時間は蛇行判定のために十分速い計算速度である。

本手法による水平位置の推定結果を Fig. 19 に示す。実 験中に居眠りを想定した蛇行運転を行い、その区間を入力 画像として利用した。本実験では正解位置として、白線を 用いた実験結果と比較する。

本実験においては正解値を得られなかったので、定量的な 誤差を検討することはできないが、白線から得られた検出 結果に良く追従した結果が得られていることが分かる。目 標とする蛇行は約0.1Hz-0.2Hz 程度の周波数, つまり5-10 秒程度のゆっくりとした周期の蛇行を対象としている。本

⁽f) Frame 751









(a) Region used to create(b) Example of thethe Top-View imageTop-View image

Fig. 16. The input image on the random texture road



Fig. 17. The estimated lateral position of camera on the random texture road

手法は白線を用いた手法を 40 秒以上,安定して追従して おり,蛇行検出に十分な性能を有していると推察できる。

〈4・6〉 白線の無い環境下での性能に関する考察 〈4・1〉 節の Fig. 6 より,路面のテクスチャが Fig. 4 程度のテクス チャがあれば蛇行が十分検出できることが分かる。また,従 来手法では適用することのできなかった白線の無い路面で も適用できることが分かる。Fig. 17 の結果よりこれは実画

Table 4. Specification of the Web camera

Parameters	Value		
ϕ	18.68°		
h	2.4(m)		
Focal Length	419.539(pixel)		
Image Size	320×240 (pixel)		
Frame Rate	15fps		

Table 5. Specification of the laptop computer

CPU	Pentium4 2.6GHz
Memory	2.0GB
OS	WindowsXP Pro(SP2)
Compiler	Visual Studio . NET VC++
Platform	VC++ + OpenCV

Table 6. Computation Time for 1 Frame

Situation	Proposed Method	Entire Search
Lane Marker	0.28sec	3.07sec
Snow Road	0.28sec	3.16sec
Synthesize	0.27sec	2.77sec

像を用いた実験においても同じことが言える。

〈4·3〉節の雪道上での実験では前車両の轍や,雪が溶けて アスファルトが見えている部分がある。〈4·3〉節の実験では 雪道上で蛇行運転をすることができなかったが,〈4·1〉節や 〈4·2〉節の実験より雪道上でも蛇行検出することが可能で あると推察される。

〈4・7〉計算時間に関する考察 本手法では、自由度を 2 に固定した単純なモデルを当てはめ、パーティクルフィ ルタを利用することにより、計算時間の削減を行っている。 パーティクルフィルタを用いた結果を考察するため、本手 法と、探索領域内を一定間隔で全サンプリングした場合と で比較を行った。

計算時間を比較した結果を Table 6 に示す。各場合にお いて、全サンプリング手法より本手法の方が計算時間を削 減できていることが分かる。つまりパーティクルフィルタを 用いたことにより、計算時間を削減できたことを意味する。

Oka ら⁽¹¹⁾ や Pupilli ら⁽¹²⁾ が示すように,パーティクル フィルタを用いて探索を行う場合,数千-数万のオーダで パーティクルを利用するか,探索空間の次元を減らす必要 がある。本手法の想定する状況では計算時間は限られてお り,利用するパーティクルの数を増やすことは計算時間の 増大に直結する。本手法では推定すべきパラメータの自由 度を6から2に削減することで計算時間の削減を行ってい

電学論 C, 129 巻 9 号, 2009 年







Fig. 19. The lateral position of camera estimated in real time

る。また、〈4·1〉節で示した合成画像による実験は、本手法 で導入したモデルが妥当であることを示している。

5. むすび

本稿では,俯瞰画像のマッチングに基づいて車両の水平 位置を推定する手法を提案した。本手法の特徴として,以 下の3つがあげられる。

- ●白線を利用せずに水平位置の推定を行っている。
- 他の白線を利用しない手法に比べ、動物体の影響を減らせる。
- 計算時間が高速である。

1つ目の項目は実験〈4·1·1〉節、〈4·2〉節、〈4·3〉節より検 証されている。本手法は白線や道路標示などの基準となる テクスチャが無い状況でも水平位置を推定できる。

2つ目の項目は実験〈4·1·2〉節より検証されている。本手 法は車両前方にある車間距離のスペースを利用することで 実現されている。

3つ目の項目は実験〈4·7〉節、〈4·5〉節で検証されている。 本手法では移動量の推定を3次元の回転+3次元の並進の 計6次元探索から俯瞰画像を利用している事により3次元 減らし、単純運動モデルを用いることでさらに1次元減ら して2次元探索にまで削減している。また、パーティクル フィルタを用いる事でさらに探索時間を削減すると共に計 算時間を一定に保証している。

以上に述べたように本論文では、車載システムを視野に 入れた高速な手法を提案し、実験により本手法の有効性を 確認することができた。

謝 辞

本論文を執筆するにあたり,実験に協力頂いた三菱ふそ うトラック・バス株式会社の平本洋二氏,杉田幸治氏に感 謝する。

(平成 20 年 11 月 5 日受付, 平成 21 年 4 月 27 日再受付)

文 献

- (1) S. Nedevschi, C. Vancea, T. Marita, and T. Graf: "Online extrinsic parameters calibration for stereovision systems used in far-range detection vehicle applications", *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, Vol.8, No.4, pp.651–660 (2007-12)
- (2) M. J. Black and P. Anandan: "The estimation of multiple motions: Parametric and piecewise-smooth flow fields", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.63, No.1, pp.75–104 (1996-1)
- T. Teshima, H. Saito, S. Ozawa, K. Yamamoto, and T. Ihara:
 "Estimation of foe without optical flow for vehicle lateral position detection", In MVA, pp.406–409 (2005)
- (4) D.G. Lowe: "Object recognition from local scale-invariant features", In Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision. (1999)
- (5) T. Tuytelaars, H. Bay, and L.V. Gool: "Surf: Speeded up robust features", In *ECCV* (2006)
- (6) M. Isard and A. Blake: "Condensation ? conditional density propagation for visual tracking", *International Journal* of Computer Vision, Vol.29, pp.5-28 (1998)
- (7) A. Seki and M. Okutomi: "Ego-motion estimation by tracking road-regions extracted using stereo images", *Journal IPS Japan*, Vol.47, No.SIG 5 (CGVIM 13), pp.90–99 (2006-3)
- (8) P. Martinet and C. Thibaud: "Automatic guided vehicles: Robust controller design in imagespace", Auton. Robots, Vol.8, No.1, pp.25–42 (2000)
- (9) Q. Ke and T. Kanade: "Transforming camera geometry to a virtual downward-looking camera: robust ego-motion estimation and ground-layer detection", Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. Proceedings. 2003 IEEE Computer Society Conference on, Vol.1, pp.I-390-I-397 Vol.1 (2003-6)
- (10) B.D. Lucas and T. Kanade: "An iterative image registration technique with an application to stereo vision (ijcai)", In Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '81), pp.674-679 (1981-4)
- (11) K. Oka, Y. Sato, Y. Nakanishi, and H. Koike: "Head pose estimation system based on particle filtering with adaptive diffusion control", In Proc. IAPR Conference on Machine Vision Applications, pp.586–589 (2005-5)
- (12) M. Pupilli and A. Calway: "Real-time camera tracking using a particle filter", In In Proc. British Machine Vision Conference, pp.519–528 (2005)



手 島 知 昭 (非会員) 2005 年慶應義塾大学理工学部卒業。 2006年同大学院修士課程修了。2006年より同大 学博士課程にて ITS, 車載カメラ, 路面反射に関 する研究に従事。2008 年フランス University of Marne La Vallée に留学し, GPU を並列演算機 として利用した研究にも従事。



斎

藤英雄(正員) 1987 年 3 月慶應義塾大学理工学部電気 工学科卒業。1992年3月同大学院理工学研究科 博士課程電気工学専攻修了。1992年同大学助手。 同講師, 同助教授を経て, 2006年同教授。1997 年~1999 年米国カーネギーメロン大学ロボット 工学研究所訪問研究員。2000年~2003年科学技 術振興事業団さきがけ研究 21「情報と知」領域 研究員兼務。博士 (工学)。主としてコンピュータ

ビジョンに関する研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、映 像情報メディア学会,情報処理学会,日本 VR 学会, IEEE 会員。



小澤慎治(正員) 1943 年生, 1967 年慶應義塾大学工学部 電気工学科卒業。1974年同博士課程修了(工学博 士)。1970年同電気工学科助手,同教授,同理工 学部情報工学科教授を経て、現在、愛知工科大学 工学部情報メディア学科教授。画像と音声のディ ジタル情報処理に従事。道路画像の解析、スポー ツ映像の解析に興味を持っている。電気学会 ITS 技術委員会委員長。2006 年映像情報メディア学

会会長,などを歴任, IEEE, 電子情報通信学会, 画像電子学会など 会員。

山本恵一(非会員) 三菱ふそうにてカメラを用いた運転手 支援システムの開発に従事。

徹 (非会員) 三菱ふそうにてカメラを用いた運転手 井 原 支援システムの開発に従事。