

車輪の位置と車両の対称性に基づく 3次元形状復元手法

鴫 亮輔[†] 北原 格[‡] 亀田 能成[‡]

[†] 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

[‡] 筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] s1520805@u.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara,kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 本研究では、車両画像中の車輪に注目し、路面に対してキャリブレーションされた少数の道路監視カメラで対象車両の空間位置を求め、それによって車両の三次元形状を復元する方法を提案する。車輪中のホイールが真円形であることに注目し、幾何的拘束と画像処理によって車両の空間位置を求める。求めた空間位置を使って、複数フレームに渡る観測から仮想的に観測視点を増やす。さらに、車両の対称性を用いて仮想的な観測視点を倍増させる。提案手法の性能をシミュレーション実験により評価した。

キーワード 3次元形状復元, シェープフロームシルエット, カメラキャリブレーション, 車輪検出, 位置推定

3D Shape Reconstruction Method Based on Wheel Position and Body Symmetry of a Vehicle

Ryosuke TOKI[†] Itaru KITAHARA[‡] and Yoshinari KAMEDA[‡]

[†] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba,

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan

[‡] Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

E-mail: [†] s1520805@u.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara,kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract This paper proposes a 3D shape reconstruction method of a moving vehicle on a street where a few road surveillance cameras are available. The 3D reconstruction needs the pose of the vehicle and it is obtained by extracting a tire shape in an image. The approach uses the conditions that the shape of the wheel of a tire is circle, and that it stands squarely to the ground. The contact point of the tire is estimated by checking the intensity change from the ground to the center of the wheel. The performance of the the proposed method is evaluated in a simulation experiment.

Keywords 3D shape reconstruction, shape from silhouette, camera calibration, wheel detection, Position estimation

1. はじめに

交通状況解析において、通過する車両について、様々な情報を取得する方法が研究されている[1-5]. こうした取り組みにより、高度に情報化された交通社会において、より快適な交通環境を作り出すことができる。我々は、1か所に数台程度設置された道路監視カメラを利用することで、それらのカメラ撮影範囲に車両が進入してきたときに、その三次元的な外形復元が可能であることを先行研究[14]で示した。この手法は、車両の対称性を利用することで、仮想的に対象を撮影したカメラを倍増できることが特徴である。こうした多カメラからの三次元形状復元においては、カメラと対象との位置関係が必要である。道路監視カメラと路面との間のキャリブレーションまでは事前に行え、このもとの、空間的な車両の位置を画像情報から正確に

推定することが必要である。

そこで本研究では、車両画像中の車輪に注目し、路面に対してキャリブレーションされたカメラで対象車両の空間位置を求め、それによって車両の三次元形状を復元する方法を提案する。本手法と[14]を組み合わせることで、少数の道路監視カメラから路上の車両の三次元形状復元が可能であることを、シミュレーション実験を通じて確認する。

こうした提案手法を通じて、車両ごとにその外形が得られれば、応用の一例として、車種別等の交通量分布を調べることが可能となる。また、車輪の位置から対象車両の空間位置が得られれば、車線に対する車両の位置取り等の詳細な運動解析も可能になるであろう。

2. 関連研究

多カメラからの対象の三次元形状復元手法については、対象の点群の対応を利用する Structure from Motion[6]-[8](以下 SfM)の方法と、物体のシルエット画像を拘束条件として三次元形状を復元する Shape from Silhouette[9]-[11]がある。我々の予備実験によれば、SfM の手法を路上の車両に適用しても、安定した三次元形状復元を行うことは難しい傾向があった。そのため、我々は後者の手法を用いる。

車輪は車両に必ず備わっている構造であり、ホイールについては真円形であることと、路面に対してほぼ鉛直であるという、際立った特徴がある。そのため、カメラ画像中から車輪を検出し、車両の位置を推定する研究が他にも行われている[12][13]。これらの研究においては、魚眼カメラを利用し、その射影歪みなどの特性を考慮した上で位置推定を行っている。

3. 車輪検出による車両位置の算出手法

道路監視カメラから見た対象車両の3次元位置を画像中の車輪検出から求める手法について述べる。

車輪のうち、車両側面から見える側をここでは考える。そのうち、タイヤゴムとホイールとの境界を成す円(ホイール円)は真円形であり、その面は鉛直軸を含むことになる。このホイール円の中心を車輪中心点とする。車輪中心点から路面に下した点を、車輪位置とし、これを求めることが目標となる。

ホイール円は画像中において楕円として観測される。そこで、画像処理の楕円検出手法を用いて、ホイール円の検出を行う。楕円検出により楕円の中心位置、つまりホイール円の画像上での中心位置が求まる。これを画像車輪中心点と呼ぶ。

道路監視カメラが空間に対して事前にキャリブレーションされていると仮定すると、画像車輪中心点から路面に向かう鉛直な半直線は画像上で一意に決定できる。車輪位置は、この半直線に沿って画素の変化を調べ、タイヤゴム部が路面に接地している地点に相当する。図1は道路監視カメラによる対象車両の撮影の様子を表し、図2は車輪位置の探索を行う半直線を示す。

半直線上の隣接画素の輝度値変化を路面側から車輪中心位置へ算出し、閾値を超える変化がある点を接地点として推定する。

4. 検証実験

提案手法により、車両の位置推定及び3次元形状復元を行う検証実験を行った。

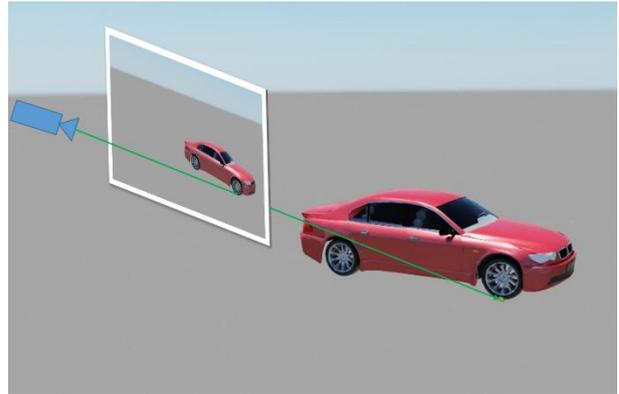


図1 対象車両の撮影

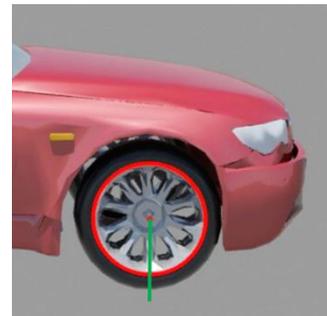


図2 ホイール円と車輪位置

4.1 実験環境

道路監視カメラの撮影空間内を車両が走行するシチュエーションをCG環境で作成した(図1)。CG環境の作成には、3Dモデリングソフトの Autodesk 3ds Max 2015 を使用した。車両の走行経路は直進とし、道路監視カメラを路上脇に設置する。用意したシーンと車両、カメラの位置関係を図3に示す。Camera 1は、車両側面にカメラが正対するように配置したもの、Camera 2は車両の斜め前に配置したものとなる。Camera 3は、直進する車両を俯瞰視点から撮影するものとなる。本実験に用いた車両のモデルの全長は196mm、カメラで取得する画像サイズは1920×1080[pixel]である。

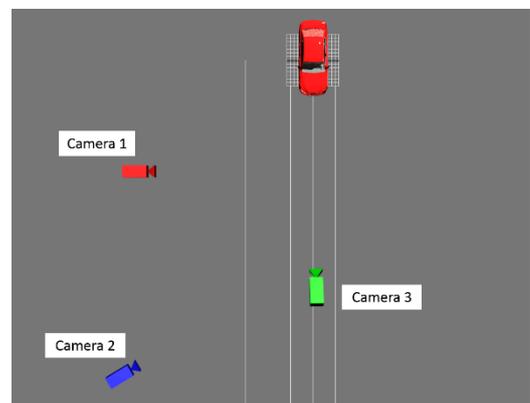


図3 車両とカメラの位置関係

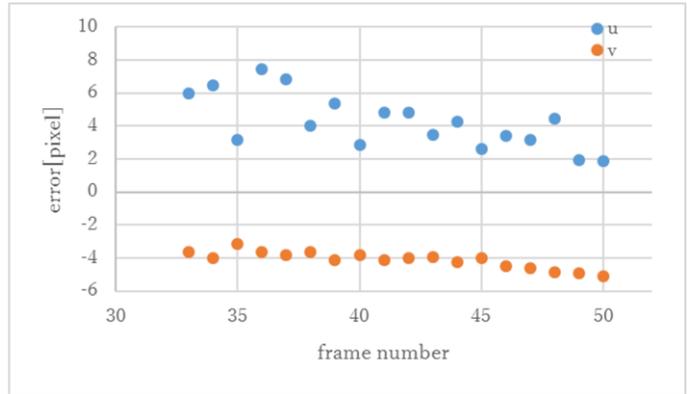
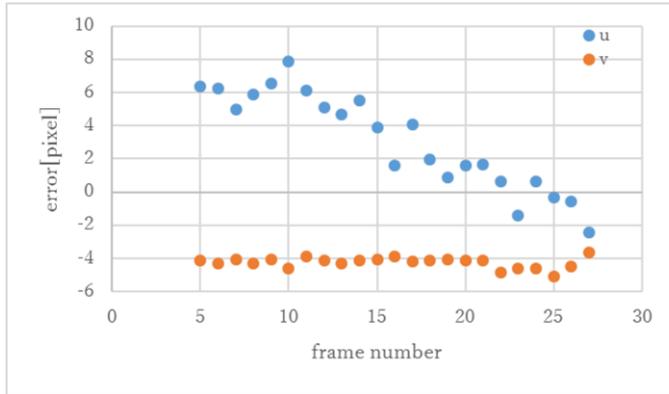


図 4 楕円検出値の誤差 (左 : Camera 1, 右 : Camera 2)

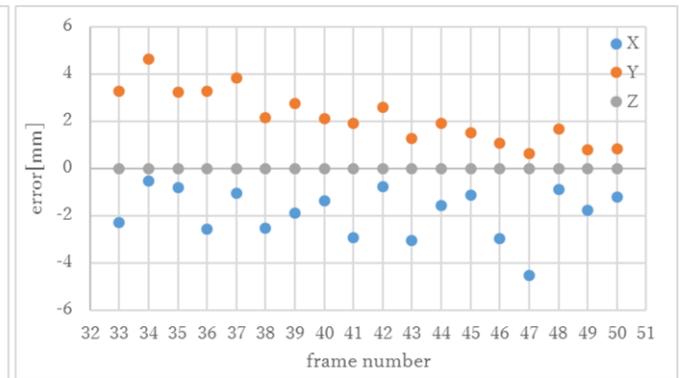
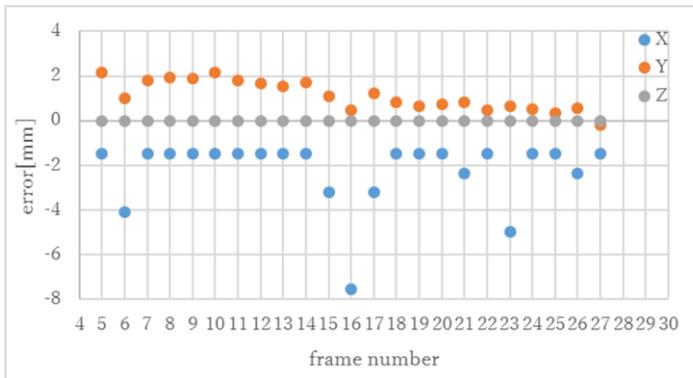


図 5 車両位置推定誤差(左 : Camera 1, 右 : Camera 2)

4.2 車輪検出による車両位置の推定精度の検証

Camera 1, Camera 2 において取得した車両の走行画像に楕円検出処理及び接地点推定処理を行い、画像座標における車両の接地点を求め、その精度を検証する。撮影するカメラの内部、外部パラメータはキャリブレーション済みのため、その定数を用いて各フレームにおける車両の位置を算出する。本実験では、前輪の検出を行い、前輪の接地点を車両位置として取得した。

4.2.1 車輪位置の推定精度の検証

Camera 1 と Camera 2 の画像に対し、楕円検出処理により推定した車輪中心位置と真値との誤差を求めた。図 4 に結果を示す。車輪の検出は、Camera 1 と Camera 2 においてそれぞれ、27 フレーム、18 フレーム分検出された。各カメラにおける検出値の誤差の平均は表 1 のようになった。

グラフより、楕円検出においてその中心位置の v 座標の値は、画像中の車輪中心より下方向に検出される傾向があることがわかる。これは、光源方向とホイール、タイヤとの位置関係及び、形状に影響を受けていると考えられる。

表 1 車輪中心位置検出の平均誤差

	u [pixel]	v [pixel]
Camera 1	-2.1	0.84
Camera 2	4.3	-4.1

4.2.2 車両位置の算出精度の検証

各フレームにおける画像中の接地点から車両の 3 次元位置を算出し、真値との誤差を比較した結果を図 5 に示す。表 2 に各シーンにおける X , Y , Z の誤差の平均を示す。

表 2 車両位置推定の平均誤差

	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
Camera1	-2.14	0.945	0.00
Camera2	-1.89	2.18	0.00

検出されたフレーム枚数は Camera 1 は 27 フレーム、Camera 2 では 18 フレームであった。CG 環境における車両のサイズは全長約 196mm であるため、車両位置の誤差の平均は約 1.1%内である。

図 5 の Camera 1 のグラフより、フレーム 16 において、推定誤差が大きくなっている。これは、接地点の推定に失敗したことが原因である。

4.3 3次元形状復元結果の検証

4.3.1 1台のカメラによる3次元形状復元結果

算出した車両位置を基に、カメラの相対移動を実現し、鏡像変換処理を行い Shape from Silhouette に必要なパラメータを算出し、3次元形状復元を行う。Camera 1, Camera 2 において3次元形状復元に用いた相対移動および鏡像変換により増加したカメラ配置、シルエット画像、及び復元結果を図6と図7に示す。それぞれにおいて、左上が復元に用いたシルエット画像集合、左下はカメラの配置を上から直交投影で表示したもの、右は復元結果をレンダリングしたものである。

復元に用いたカメラの台数は、相対移動および鏡像変換により10台である。カメラの相対移動により台数を増加させることはできたが、車両の動き方は直進であったため、視点の角度変化が小さく、復元された形状は実形状より大幅に膨らんだものとなっている。これは多様な視点確保できなかった場合の Shape from Silhouette 法の特徴である。

4.3.2 俯瞰視点を追加した3次元形状復元結果

ここで、[14]と同様に、俯瞰視点の Camera 3 を追加する。Camera 3 の相対移動は Camera 1, 2 で算出した移動量を用いることで実現した。俯瞰視点を追加した復元結果を図8と図9に示す。視点の数は、前節のカメラ配置に対し1台増加して、カメラ11台分となる。

俯瞰視点を追加したことで、車両側面部分のシルエット制約を得ることができ、復元結果が実形状に近づいていることがわかる。

4.4 考察

楕円検出及び接地点の推定について、値が大きくなりすぎてしまう場合がある。これは、画像上の接地点推定が大きくなりすぎた場合に起こる。この原因として、本稿では、隣接画素間の輝度値変化のみで車輪と地面の境界の判別を行っていることが挙げられる。車輪と地面との輝度値の差が大きい画像においては、閾値が小さくなり、わずかな輝度値変化を検出し、誤検出してしまっている。しかし、[13]においては、車輪と地面の境界領域の濃淡値プロファイルを作成することで、安定して検出する手法を提案している。このことから、判別のための要素を増加させることで改善できるものと考えられる。

3次元形状復元の結果については、カメラが1台かつ、車両が直進ししかない場合、カメラの姿勢にバリエーションがないため、3次元形状復元の精度の向上は困難であることが見て取れる。しかし、4.3.2節で示したように、俯瞰視点を加えることで、復元された形状は実形状に近くなる。カメラ台数が2台という、現

実に実現が容易なカメラ配置において、走行する車両の3次元形状が取得できるといえる。さらなる復元精度の向上においては、カメラの姿勢のバリエーションが多くなることを望ましい。車両がカメラに対し、姿勢を変える状況は、右左折時などを考慮すると起こり得る状況である。今後の展望として、前後左右輪の3次元的制約を導入し、車両の姿勢変化を算出することで、3次元形状復元の精度向上が期待できると考える。

5. おわりに

本研究では、道路監視カメラの撮影空間内を走行する車両の3次元形状復元を、車輪位置に基づいて実現できることを示した。本手法では、車両の位置姿勢を推定するために、画像中から車輪を検出し、地面との接地点を算出した。取得した値を用いて提案手法を適用し、3次元形状復元結果を得た。今後の課題として、車両の6自由度の姿勢推定を画像処理により行い、現実シーンでの実用化を進めることが挙げられる。

文 献

- [1] 鈴木一史, 中村英樹, "交通流解析のためのビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer の開発と性能検証", 土木学会論文集 D, Vol.62, No.3, pp.276-287, 2006.
- [2] Y. Wang, and M. Papageorgiou, "Real-time freeway traffic state estimation based on extended Kalman filter: a general approach", Transportation Research Part B: Methodological 39.2, pp.141-167, 2005.
- [3] J. ZHOU, D. GAO, D. ZHANG, "Moving vehicle detection for automatic traffic monitoring", IEEE transactions on vehicular technology, Vol.56, No.1, pp51-59, 2007.
- [4] JW. Hsieh, SH. Yu, YS. Chen and WF. Hu, "An automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.7, No.2, 175-187, 2006.
- [5] 若林拓史, 小嶋紀之, 大石理, "交通流ビデオ解析システムの開発と交通コンフリクト解析への適用", 土木計画学研究・論文集, Vol.19, pp.765-775, 2002.
- [6] 金出武雄, コンラッドポールマン, 森田俊彦, "因子分解法による体形状とカメラ運動の復元", 電子情報通信学会論文誌(D-II), Vol.J76-D-II, No.8, pp.1497-1505, 1993.
- [7] N. Snavely, SM. Seitz, and R. Szeliski, "Photo tourism: exploring photo collections in 3D", ACM transactions on graphics(SIGGRAPH2006), Vol.25, No.3, 2006.
- [8] WU, Changchang, et al, "VisualSFM: A visual structure from motion system", 2011.
- [9] A. Laurentini, "The Visual Hull Concept for Silhouette-Based Image Understanding", IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.16, No.2, pp.150-162, 1994.

- [10] K. Forbes, F Nicolls, G. De. Jager. and A. Voigt, "Shape-from-silhouette with two mirrors and an uncalibrated camera", In Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision (ECCV), 2006.
- [11] K. Forbes, "Calibration, Recognition, and Shape from Silhouettes of Stones", PhD thesis, University of Cape Town, June 2007.
- [12] 加藤晃市, 仲西正, 塩昭夫, 石井健一郎, "超広角単眼視による移動物体の形状抽出", 信学技報 PRU, Vol.93, No.229, pp.39-45, 1993.
- [13] K. Hirose, T. Toriu, H. Hama, "A Position Estimation Based on Tire-Road Contact Points Considering Displacements of Two Concentric Circles on a Circular Fisheye Image", Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers, Vol.23, No.3, pp.56-64, 2011.
- [14] 梶亮輔, 北原格, 亀田能成, "車両の進行方向に対する対称性を利用した外形復元", 信学技報 MVE, Vol.115, No.245, pp.103-108, 2015.

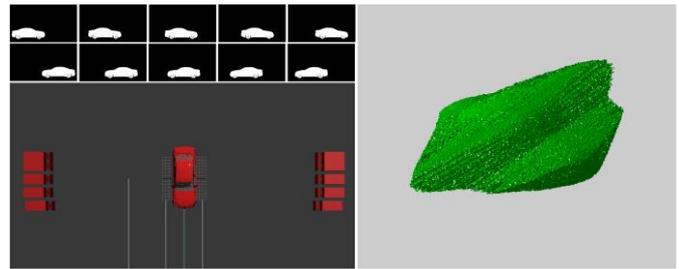


図 6 camera1 のみによる 3 次元形状復元

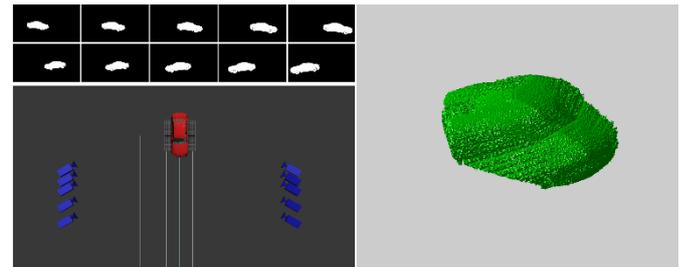


図 7 camera2 のみによる 3 次元形状復元

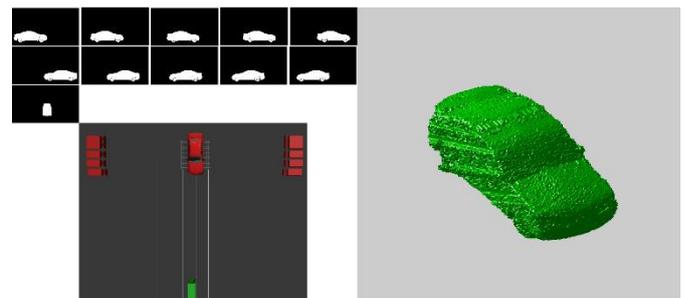


図 8 camera1 と camera3 による 3 次元形状復元

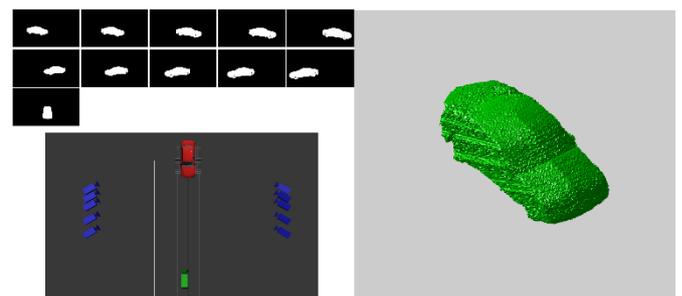


図 9 camera1 と camera3 による 3 次元形状復元