前照灯の路上反射位置を利用した車両の3次元位置推定

† ‡ 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 〒 305-0573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 E-mail: †nkobayashi@image.iit.tsukuba.ac.jp, ††{kitahara,kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 本研究では、道路監視カメラ映像を用いた、夜間における車両位置の3次元位置推定手法を提案する。夜間は車両が前照灯を点灯しているため、道路監視カメラ映像において前照灯であれば安定した観測が可能である。しかし、画像上での前照灯位置のみでは、車両の3次元位置推定を行うことができない。本研究では、路面での前照灯の反射に着目し、前照灯と前照灯の反射の位置関係から車両位置を3次元的に推定する手法を提案する。路面での前照灯の反射は、前照灯と比べて弱く観測されることがある。そのため、前照灯の反射位置を単純な画像処理で検出することは困難である。本研究では、画像上での前照灯位置を手掛かりに探索範囲を絞り込み、前照灯の反射位置を検出する。

キーワード ITS, 道路監視カメラ, 前照灯, 路面, 反射, 車両の3次元位置推定

Three Dimensional Localization of a Vehicle by Using Reflection of Headlights on Road Surface

Naoki KOBAYASHI[†], Itaru KITAHARA^{††}, Yoshinari KAMEDA^{††}, and Yuichi OHTA^{††}

† ‡ Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba Tennoudai 1–1–1, Tsukuba, Ibaraki, 305–8573 Japan

E-mail: †nkobayashi@image.iit.tsukuba.ac.jp, ††{kitahara,kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a new method for three dimensional localization of vehicle headlights in surveillance camera images at night time. It is impossible to estimate the three dimensional position of a vehicle headlight only by using the position of the headlight in images. We estimate the three dimensional position from the positional relationship of the headlight and its reflection on road surface. The reflection on the road is observed weakly and it cannot be detected by a conventional computer vision method. We detect the reflection position of the headlight by defining a scan line based on the spatial constraint of the headlight.

Key words ITS, surveillance camera, headlight, road, reflection, 3D vehicle localization

1. はじめに

近年,道路交通における交差点での事故防止を目的としたシステムの研究 [1]-[4] が盛んに行われている。これらのシステムでは,交差点に進入する車両の交差点までの距離が必要である。そのため,交差点進入車両の先端部分を車両位置として,高精度な車両位置の推定が求められている。昼夜を問わない事故防止を目的としたシステムの運用のために,夜間における車両位置の推定が特に求められている。

夜間における走行車両の位置推定の手法として, 道路監視カメラを用いることが考えられる. 走行車両を車両前面から撮影するように設置された道路監視カメラ映像においては, 夜間は車両が前照灯を点灯しているため, 安定した前照灯の観測が可

能である.しかし,画像上での前照灯位置のみでは,前照灯の空間位置を一意に定めることができないため,車両の3次元位置推定を行うことができない.

本研究では、路面での前照灯の反射に着目し、前照灯と前照灯の反射の位置関係から車両位置を3次元的に推定する手法を提案する。路面での前照灯の反射は、前照灯と比べて弱く観測される。そのため、前照灯の反射位置を単純な画像処理で検出することは困難である。本研究では、画像上での前照灯位置を手掛かりに探索範囲を絞り込み、前照灯の反射位置を検出する。

2. 関連研究

道路監視カメラを用いた車両位置の推定については様々な手 法が提案されている.

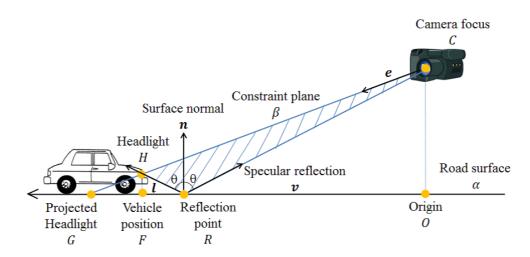


図 1 前照灯と前照灯の反射の位置関係を利用した前照灯位置の推定

夜間照明条件下でも可能な車両追跡法として,特徴量のクラスタリングを用いた手法が提案されている。安部ら[5]は,夜間でもある種類の特徴点を検出できることに着目し,車両から検出された特徴点の軌跡群をグラフ分割アルゴリズムによりクラスタリングすることで車両の追跡を行う手法を提案している。 Kamijoら[6]は,画素値の空間微分を用いた照度変化にロバストな車両追跡法を提案している。しかし,これらの手法は,路面における車両の3次元位置の推定までは行っていない。

夜間における車両追跡手法として、車両の前照灯を用いた手法 [7]—[10] が提案されている。夜間は車両が前照灯を点灯しているため、前照灯は道路監視カメラ映像において安定した観測が可能である。これらの手法は、画像中で前照灯を検出し、クラスタリングにより前照灯の対を検出することで、画像中での前照灯追跡を実現している。しかし、画像上での前照灯位置のみでは、前照灯の空間位置を一意に定めることができないため、[5] [6] と同様に、路面における車両の3次元位置の推定を行うことができない。

路面における車両の3次元位置の推定手法として、ステレオカメラを用いた手法[11][12]が提案されている。この手法では、視点の異なる画像を利用して、路面における車両の3次元位置を推定することができる。しかし、ステレオカメラを用いた手法では、推定精度を向上させるためには適切なベースライン設定が必要であり、既に設置済みの道路監視カメラでは利用が難しい場合がある。

3. 路面での前照灯の反射を利用した前照灯位置 の推定

本研究では、路面での前照灯の反射に着目し、前照灯と前照灯の反射の位置関係から車両位置を 3 次元的に推定する手法を提案する。図 1 のように、本研究では、前照灯位置を H と定義し、前照灯位置 H を路面 α に鉛直方向に射影した位置を車両位置 F と定義する。前照灯位置 H を 3 次元的に推定することで、車両位置 F が得られる。

3.1 想定環境

本研究では、単独で設置されている道路監視カメラを利用す

る. 事前に道路監視カメラのキャリブレーションを行い, 道路 監視カメラと路面の関係は既知と仮定する. このとき, 道路監 視カメラの焦点位置を C とし, これを既知とする. また, 焦点 位置 C を路面 α に鉛直方向に射影した位置を世界座標系の原 点 C と定義する.

路面は均一な平面と仮定する. この路面を平面 α と定義する. 路面の法線ベクトルを n と定義し、これも既知とする.

3.2 前照灯の直接光

本研究では、前照灯は点光源と仮定する。前照灯位置 H が 画像座標系に投影される位置を前照灯画像位置 H' と定義する.

画像座標系の前照灯画像位置 H' のみを利用して,前照灯位置 H を一意に定めることはできない.ここで,前照灯画像位置 H' を路面 α に投影した位置を前照灯投影位置 G と定義し,焦点位置 G から前照灯投影位置 G への単位方向ベクトルを E と定義する.このとき,前照灯投影位置 E が得られるならば,前照灯位置 E は線分 E とのどこかに存在するため,前照灯位置 E は、実数 E を用いて,

$$\overrightarrow{OH} = \overrightarrow{OC} + \lambda e, \qquad 0 < \lambda < \|\overrightarrow{CG}\| \tag{1}$$

と表せる.

前照灯投影位置 G を求めることができれば、副次的に e が求まるため、実数 λ を用いて前照灯位置 H を表すことができる.

3.3 路面での前照灯の反射光

本研究では,路面での前照灯の反射のうち,鏡面反射成分に着目する.路面の法線ベクトルnに対して,鏡面反射して焦点位置Cに到達する反射光を利用する.図1のように,前照灯位置Hが焦点位置Cに対して鏡面反射する α 上の位置を鏡面反射位置Rとする.前照灯位置Hと鏡面反射位置Rと焦点位置Cの3点を含む平面を拘束面 β と定義する.今ここで,鏡面反射位置Rから前照灯位置Hへの単位方向ベクトルをR、鏡面反射位置Rから焦点位置Rへの単位方向ベクトルをRとする.

このとき, \boldsymbol{l} , \boldsymbol{v} と \boldsymbol{n} は, $\boldsymbol{\beta}$ 内に存在し, \boldsymbol{n} と \boldsymbol{l} , \boldsymbol{n} と \boldsymbol{v} の成 す角は等しい. よって, \boldsymbol{l} と \boldsymbol{v} は, \boldsymbol{n} に対して,

$$\frac{1}{2}(\boldsymbol{l}+\boldsymbol{v}) = (\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{n})\boldsymbol{n} \tag{2}$$



図 2 昼間の道路監視カメラ映像

を満たす.

また, 前照灯位置 H は, 実数 μ を用いて,

$$\overrightarrow{OH} = \overrightarrow{OR} + \mu \mathbf{l}, \qquad \mu > 0 \tag{3}$$

と表せる. よって, (2) と (3) より,

$$\overrightarrow{OH} = \overrightarrow{OR} + \mu(-\boldsymbol{v} + 2(\boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{v})\boldsymbol{n}), \qquad \mu > 0$$
(4)

となる.

鏡面反射位置 R を求めることができれば、副次的に v が求まるため、実数 μ を用いて前照灯位置 H を表すことができる.

3.4 前照灯位置の推定

 \overrightarrow{OH} に関する式 (1) と (4) は、いずれも拘束面 β 内で成立している。そのことから、平面 β 内の 2 つの半直線の交点として、 \overrightarrow{OH} を求めることができる。すなわち、(1) と (4) より、

$$\overrightarrow{OC} + \lambda e = \overrightarrow{OR} + \mu(-v + 2(n \cdot v)n)$$
(5)

と表せるため、(5) を満たすような実数 λ と μ を求めることで、 \overrightarrow{OH} を求める.

4. 画像上での前照灯の反射位置の検出

道路監視カメラと路面 α との関係は予め得られているため、前照灯投影位置 G と鏡面反射位置 R を求めるには、図 3 のような道路監視カメラ画像において、前照灯画像位置 H' と鏡面反射画像位置 R' を検出できればよい.

しかし、図3のように、路面での前照灯の反射は、前照灯と 比べて弱く観測される。そこで本研究では、画像上での前照灯 位置を手掛かりに探索範囲を絞り込み、前照灯の反射位置を検 出する手法をとる。

4.1 前照灯画像位置 H'の検出

背景差分法を用いて、移動物体領域を算出する。 図 4 で車両全体を覆う矩形は、その一例である。移動物体領域において、HLS 色空間の輝度 L の値が閾値以上の領域を検出し、前照灯領域とする。前照灯領域の重心を前照灯画像位置 H' とする。検出した移動物体領域と左右の前照灯画像位置 H' は、図 4 のようになる。



図 3 夜間の道路監視カメラ映像

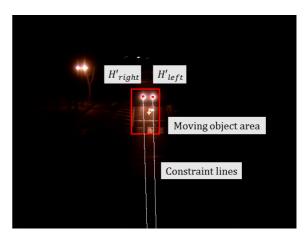


図 4 左右の前照灯画像位置 H' と拘束線

4.2 鏡面反射画像位置 R'の拘束線

前照灯画像位置 H' を手掛かりに鏡面反射画像位置 R' の探索範囲を絞り込む.

(4) で示す前照灯位置 H の存在する半直線は画像内でも半直線となり、その端点は前照灯位置 H の画像への射影点 H' である。鏡面反射位置 R の射影点 R' は、この画像内の半直線上に存在する。この画像内の半直線を鏡面反射画像位置 R' の拘束線と呼ぶ。鏡面反射画像位置 R' の拘束線の一例を図 4 に示す。

4.3 拘束線上の輝度モデル

拘束線上で,鏡面反射画像位置 R' を検出するために,輝度 モデルを定義する.

観測される路面の輝度は、夜間のように環境光がないとみなせる状況では、光源からカメラへの直接光とその路面での反射 光の合成となる.

直接光については、前照灯とその周辺での路面観測のみを考える。画像上では、前照灯からの直接光はハレーション等を伴って観測される。本稿では、ハレーションを正規分布を用いた Multiple Gaussian Filters のモデル[13] で与えて、直接光の観測をモデル化する。

一方で、反射光の観測のモデル化については、Phong の反射 モデル[14] を用いる.このモデルでは、反射は鏡面反射と拡散 反射に区別され、鏡面反射方向から物体面を観測した場合は、 物体面の反射パラメータと入射光の強度に依存するが、多くの

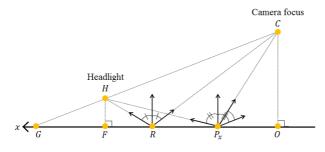


図 5 反射の幾何モデル

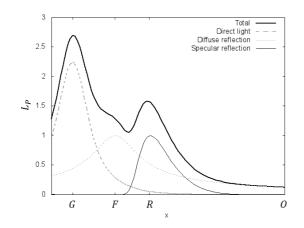


図 6 図 5 の反射の幾何モデルにおける観測輝度 L_P

場合,鏡面反射成分が拡散反射成分を上回るように観測される. この直接光と反射光の合成による観測輝度変化を路面に投影 して,図式化したものを図5と図6に示す.

図 6 に示すように、前照灯の観測輝度勾配がゆるやかな部分に鏡面反射が強く現れる R があれば、観測輝度は、R において極大値をとる.

よって、拘束線上の輝度値が極大値となる位置を鏡面反射画像位置 R' とする.

4.4 拘束線上の鏡面反射画像位置 R'の検出

前照灯画像位置 H' から拘束線上の輝度値を走査し、極大値を検出することで、鏡面反射画像位置 R' を検出する.

ただし、車両の前照灯の移動に伴って、路面での前照灯の反射も移動する。前照灯領域は明らかに鏡面反射画像位置 R' を含まない。よって、移動物体領域にあり、かつ、前照灯領域にない拘束線上の輝度値のみを走査する。

図 4 の例に対する拘束線上の輝度値を図 7 に示す.図 7 は,右側の前照灯 H'_{right} に対応する.横軸が前照灯投影位置 G から路面上での拘束線上の距離 [m] であり,縦軸がそのときの輝度値である.図 7 では,極大値が約 12[m] の位置にあることがわかる.

提案処理は、映像のフレーム単位で行うことができるため、 前照灯位置 H は各フレームで求まる.

ある道路監視カメラ映像において,前照灯右側の拘束線上の輝度値と検出した鏡面反射位置 R を図 8 に示す.その俯瞰図を図 9 に示す.Distance from G が前照灯投影位置 G からの拘束線上の距離 [m] であり,Luminance が拘束線上の輝度値である.Frame number は初期画像の画像番号を 0 としたときの画

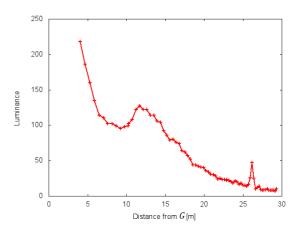


図 7 図 4 における H'_{right} の拘束線上の輝度値

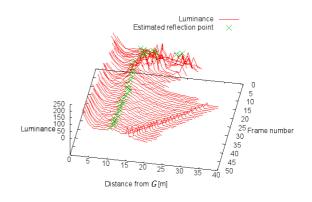


図 8 道路監視カメラ映像における前照灯右側の拘束線上の輝度値と 検出した鏡面反射位置 R

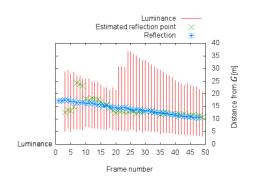


図 9 検出した鏡面反射位置 R と計算により求めた鏡面反射位置 R (俯瞰図)

像番号である.

なお、前照灯の高さを与えられれば、(1) より、前照灯位置 H を一意に定めることができる。前照灯位置 H を用いて、(5) より、鏡面反射位置 R を計算できる。計算により求めた鏡面反射位置 \hat{R} を図 9 に示す。図 9 より、検出した鏡面反射位置 R と計算により求めた鏡面反射位置 \hat{R} がよく一致していることが確認できる。

5. 実 験

本研究の提案手法の有効性を示すために実験を行った.

5.1 実験環境

本学構内の道路に設置した道路監視カメラを使用した. 道路監視カメラには SONY DXC-9000 を使用した. 道路監視カメラが撮影する画像の解像度は, 640×480 画素であり, 撮影のフレームレートは $15 \mathrm{fps}$ である. 道路監視カメラが撮影する路面の昼間の様子は, 図 2 に示す通りである.

5.2 実験内容

道路監視カメラにおいて、路面上を走行してくる車両を車両前面から撮影する。撮影した映像の各フレームに対して、提案手法を用いて、車両の前照灯位置 H の推定を行う。

道路を走行している車両の前照灯位置 H の真値を取得することは困難である. そこで,実験で用いる車両の前照灯の高さを取得し,車両の前照灯の高さの推定についての精度評価を行う.

5.3 実験結果

本稿では、車両 A、車両 B、車両 C、車両 D の異なる車両 4 台の実験結果を示す.

提案手法を用いて推定した左右の前照灯位置 H より求めた 距離 OF を図 10 に示す.

車両 A, 車両 B, 車両 C, 車両 D の推定した左右の前照灯の高さの平均値と標準偏差を表 1 に示す.

5.4 実験結果の考察

車両 A, 車両 B, 車両 C, 車両 D は同一道路上でわずかに 走行軌跡が異なるが、全体としては概ね同じである。そのこと が図 10 のグラフの概形から見て取れる。

また、本実験では車両が一定の速度で走行したため、左右の前照灯位置 H より求めた距離 OF と時間は、線形関係をもつはずである。図 10 より、推定した左右の前照灯位置 H より求めた距離 OF の変化は、ある直線に沿って変化しているといえる。

次に、表1より、車両の前照灯の高さの推定の精度評価につ いて考察する.表1より、提案手法を用いて推定した前照灯の 高さの平均値は、真値に近いことがわかる. しかし、標準偏差 は、約 0.10-0.20[m] のばらつきがあることがわかる. 画像処理 解析の様子を調査すると、前照灯画像位置 H' は安定して検出 することができているため、この原因は鏡面反射画像位置 R' の誤検出と考えられる. 提案手法では、任意の路面において、 表面の反射係数が一定であると仮定している.しかし、実際の 路面には灰色のアスファルトの他に白色の道路標示が存在する. アスファルトと道路標示は反射係数が大きく異なる. 道路標示 に拘束線がさしかかると、輝度値が不連続に大きくなるように 観測されていた. 実際に、図4の前照灯右側の拘束線上には、 前照灯投影位置 G からの距離が 26[m] のところに道路表示が 存在する. そのため, 前照灯投影位置 G からの拘束線上の距離 が 26[m] の付近で、輝度値が不連続に大きくなっていることが 図7から読み取れる. 同様に、図8においても、輝度値が不連 続に大きくなる位置を確認することができる. これにより, 前 照灯の高さを誤推定したと考えられる.

6. おわりに

本研究では、路面での前照灯の反射に着目し、前照灯と前照灯の反射の位置関係から車両位置を3次元的に推定する手法を提案した。提案手法を用いた車両位置の推定を行う実験を行い、本研究の提案手法の有効性を示した。今後の課題として、探索範囲が不均一な反射係数をもつ路面への対応が挙げられる。

文 献

- [1] 森田航平, 亀田能成, 北原格, 大田友一, ウィンドシールドディス プレイを用いた交差点における進入車両提示法, 日本バーチャル リアリティ学会第 18 回大会論文集, pp.295-298, 2013.
- [2] K. Kojima, A. Sato, F. Taya, Y. Kameda, Y. Ohta, NaviView: Visual Assistance by Virtual Mirrors at Blind Intersection, Intelligent Transportation Systems, 2005. Proceedings. 2005 IEEE, pp.592–597, 2005.
- [3] 矢野孝明, 大田友一, NaviView:道路監視カメラ映像を用いた運転者への視覚支援-交差点における死角削減-, ITS シンポジウム2002, vol.1, pp.65-70, 2002.
- [4] 市原栄太郎, 高尾広行, 大田友一, NaviView:仮想車載カメラ映像による運転者の視覚支援, 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理 J82-D-II(10), pp.1816-1825, 1999.
- [5] 安倍満,小沢慎治,特徴点群抽出とグラフ分割を用いた撮影環境にロバストな車両追跡法,電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界 J90-A(1), pp.54-65, 2007.
- [6] S. Kamijo, T. Nishida, M. Sakauchi, Occlusion Robust and Illumination Invariant Vehicle Tracking for Acquiring Detailed Statistics from Traffic Images, IEICE TRANSAC-TIONS on Information and Systems, Vol.E85-D, No.11, pp.1753-1766, 2002.
- [7] R. Cucchiara, M. Piccardi, Vehicle Detection under Day and Night Illumination, Proceeding of the International ICSC Symposium of Intelligent Industrial Automation, pp.789– 794, 1999
- [8] K. Robert, Video-based Traffic Monitoring at Day and Night Time Vehicle Features Detection and Tracking, Intelligent Transportation Systems, 2009. ITSC '09. 12th International IEEE Conference on, pp.1-6, 2002.
- [9] H.T. Chen, L.W. Tsai, H.Z. Gu, S.Y. Lee, B.S. P. Lin, Traffic Congestion Classification for Nighttime Surveillance Videos, Multimedia and Expo Workshops (ICMEW), 2012 IEEE International Conference on, pp.169–174, 2012.
- [10] S. Zhou, J. Li, Z. Shen, L. Ying, A Night Time Application for a Real-Time Vehicle Detection Algorithm Based on Computer Vision, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(10), pp.3037–3043, 2013.
- [11] T. Aizawa, A. Tanaka, H. Higashikage, Y. Asokawa, M. Kimachi, S. Ogata, Road Surface Estimation Robust against Vehicles' Existence for Stereo-Based Vehicle Detection, Intelligent Transportation Systems, 2002. Proceedings. The IEEE 5th International Conference on, pp.43–48, 2002.
- [12] M. Kagesawa, S. Ueno, K. Ikeuchi, H. Kashiwagi, Recognizing Vehicles in Infrared Images Using IMAP Parallel Vision Board, Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on (Volume:2, Issue:1), pp.10–17, 2002.
- [13] M. Kawase, Practical implementation of high dynamic range rendering, In Game Developers Conference, 2005.
- [14] B.T. Phong, Illumination for Computer Generated Pictures, Communications of the ACM, Volume 18, Issue 6, pp.311– 317, 1975.

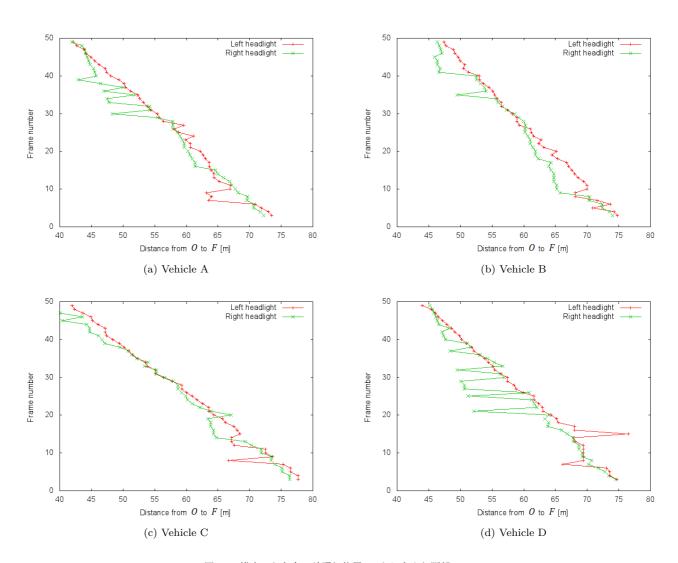


図 10 推定した左右の前照灯位置 H より求めた距離 OF

表 1 車両の推定した左右の前照灯の高さの平均値と標準偏差

Vehicle	Observation frames	True value[m]	Average(Right)[m]	Standard deviation(Right)	Average(Left)[m]	Standard deviation(Left)	
A	47	0.68	0.650	0.117	0.710	0.186	
В	47	0.70	0.677	0.059	0.800	0.154	
C	47	0.60	0.618	0.085	0.704	0.177	
D	47	0.67	0.679	0.127	0.802	0.239	