

時空間拘束を利用した車両前照灯の路上反射位置推定

小林 直樹[†] 北原 格^{††} 亀田 能成^{††} 大田 友一^{††}

^{††} 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。夜間は車両の前照灯が点灯しているため、道路監視カメラ映像において前照灯は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。我々は、これまでに前照灯と路面での前照灯の反射の位置関係から車両位置を正確に推定する手法を提案してきた。この手法は、路面反射率が一定であるという前提条件を必要とする。実際の路面には道路標示等が存在し、路面反射率が一定であるという前提条件が成り立たずに、反射位置を誤検出する問題があった。本稿では、反射位置を時空間的に走査し、反射位置を推定する手法を提案する。実際の道路映像に適用して3次元位置が推定できることを示した。

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

Localization of Reflection of a Headlight by Using Spatio-Temporal Constraint on Road Surface

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

^{††} Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba
1-1-1 Tennoudai, 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 have previously proposed to estimate its three dimensional position based on the spatial constraint of the headlight and its reflection on road surface. Since this method requires an assumption that the reflection on the road is constant, it cannot be applied to the road surface where the reflection property is not constant. To overcome this problem, we propose a method of detecting the reflection position by scanning the images spatio-temporally. Our proposed method has been tested with video sequences of vehicles running on a road.

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

1. はじめに

近年、高度道路交通システム (ITS : Intelligent Transport Systems) の研究が進められていて、その中でも交通事故防止を目的としたシステムの研究が行われている。これらの研究の実現にあたっては、いずれも車両に情報を問い合わせることなく、受動的に道路上の車両の正確な位置を求めることが昼夜を問わず必要である。設置台数の多いものの夜間の利用が難しい道路監視カメラをこの問題に役立てられれば望ましい。

既存の車両位置の推定手法として、超音波式やループコイル式、光式などのセンサを用いた手法 [1]-[3] がある。これらの手

法は、局地的な領域に限定してセンサを利用し情報取得することで高精度な推定が可能であるが、一定の範囲にわたって車両位置を求めることは困難である。

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、夜間は車両の前照灯が点灯しているため、安定した前照灯の観測が可能である。そのため、車両の前照灯を用いた手法 [4]-[7] が多く提案されている。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、車両の3次元位置を推定できない。

我々は、これまでに前照灯と路面での前照灯の反射の位置関係から車両位置を正確に推定する手法 [8] を提案してきた。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ため、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、空間的に走査することで反射位置を検出することを提案していた。この手法は、路面反射率が一定であるという前提条件を必要とする。実際の路面には道路標示等が存在し、路面反射率が一定であるという前提条件が成り立たずに、反射位置を誤検出する問題があった。

本稿では、反射位置を時空間的に走査し、路面反射率が一定とみなせる領域のみを用いて、反射位置を推定する手法を提案する。これにより、一部の路面の路面反射率が一定でさえあれば、反射位置を推定することができる。

2. 関連研究

道路監視カメラを用いた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 [4]–[7] 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、これらの手法では路面に対する車両の3次元位置を推定していない。

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 [9]–[11] が提案されている。Kamijoら [10] 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。安部ら [11] 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。しかし、これらの手法でも、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。

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 [12] [13] 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、推定精度を確保す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

我々は、これまでに前照灯と路面での前照灯の反射の位置関係から車両位置を正確に推定する手法 [8] を提案してきた。その概要を本節に示す。

本研究では、路面は均一な平面と仮定する。図1のように、この路面を平面 α と定義する。路面の法線ベクトルを \mathbf{n} と定義し、これも既知とする。

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

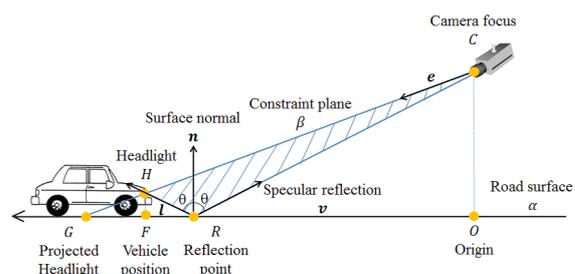


図1 前照灯と前照灯の反射の位置関係を利用した前照灯位置の推定



(a) 昼間 (b) 夜間

図2 道路監視カメラ映像

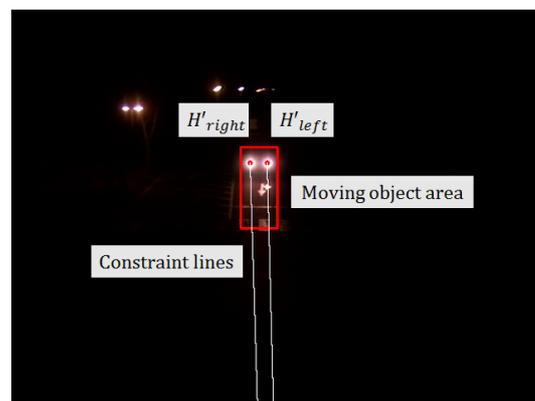


図3 左右の前照灯画像位置 H' と拘束線

視カメラの焦点位置を C とし、これも既知とする。また、焦点位置 C を路面 α に垂直に射影した位置を世界座標系の原点 O と定義する。

前照灯が路面 α で鏡面反射して、焦点位置 C で観測されるということは、鏡面反射位置 R が前照灯位置 H と焦点位置 C を含み、鏡面反射位置 R からの路面の法線ベクトル \mathbf{n} を含む拘束面 β 上に存在するということである。かつ、その拘束面 β は焦点位置 C からは拘束線として観測される。すなわち、画像上での前照灯位置 H の投影点 H' から拘束線に沿っていけば、鏡面反射画像位置 R' を発見することができる。一例として、図2(b)における鏡面反射画像位置 R' の拘束線を図3に示す。

4. 画像上での前照灯の反射位置の検出

4.1 拘束線上の鏡面反射画像位置 R' の空間走査

拘束線に沿って走査できるのは、拘束線の走査範囲に対応する路面の法線が同一であるからである。

拘束線上の観測輝度モデルが想定する式通りになるには、路面反射率が拘束線上の至るところで同一である必要がある [8]。これにより、図4に示すように、拘束線上の鏡面反射成分によ

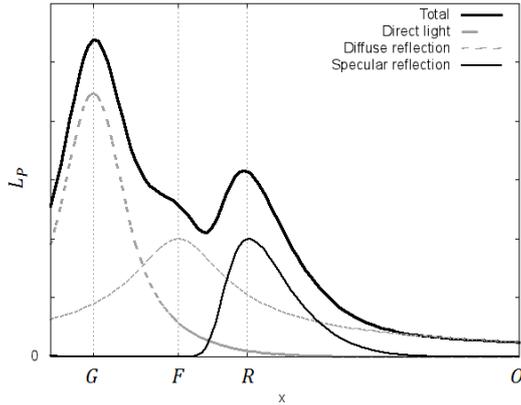


図4 拘束線上の観測輝度モデル

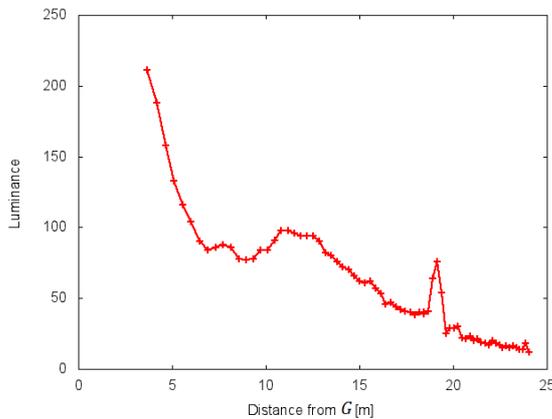


図5 図3の右側前照灯の拘束線上の輝度値

る極大値が現れる。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。

図3の右側前照灯 H'_{right} に対応する拘束線上の輝度値を図5に示す。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5では、極大値が約 11[m] の位置にあることがわかる。

拘束線上の空間走査手法は、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の各フレームにおいて、左右の前照灯の拘束線上の輝度値と検出した鏡面反射位置 R とその俯瞰図を図6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] である。Luminance が拘束線上の輝度値である。Frame number が初期画像の画像番号を1としたときの画像番号である。

なお、前照灯の高さを与えられれば、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 が求まれば、鏡面反射位置 R を計算できる。この計算により求めた鏡面反射位置 \hat{R} を図6の Reflection のマーカーで示す。

図6(a')では、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} が概ね一致していることが確認できる。

しかし、図6(b')では、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} が一致していないことがある。これは、実際の路面に灰色のアスファルトの他に白色の道路標示が



図7 路面に対する観測直線 ($v = 188, 206$)

存在し、表面の反射率が大きく異なることが原因である。反射率の高い領域は、図5の19[m]付近のように、その位置で不連続に極大値をつくる。このため、極大値による鏡面反射画像位置 R' の決定が成功しないことがある。

4.2 拘束線上の鏡面反射画像位置 R' の時空間走査

路面に対する観測直線を設定し、拘束線上の時空間走査手法を提案する。

4.2.1 路面に対する観測直線の設置

観測直線は、反射率が一定である領域を選んで、かつ、拘束線と唯一の点で交わるように用意する。このとき、拘束線と観測直線は直交している方が望ましい。

例えば、図2(a)のような環境において、反射率が一定となるように設置した観測直線の一部を図7に示す。図7の上部の観測直線が、画像座標系縦軸の座標値 $v = 188[\text{pixel}]$ に位置する観測直線であり、下部の観測直線が、画像座標系縦軸の座標値 $v = 206[\text{pixel}]$ に位置する観測直線である。今回は、画像座標系縦軸の座標値が $v = 188$ から $v = 206$ までの1[pixel]毎に19本の観測直線を用意する。

4.2.2 観測直線と拘束線の交点の輝度値

図8のように、映像の各画像において、鏡面反射画像位置 R' の拘束線を算出する。注目する1本の観測直線と、映像の各画像での拘束線の交点との輝度値を画像毎に取得する。

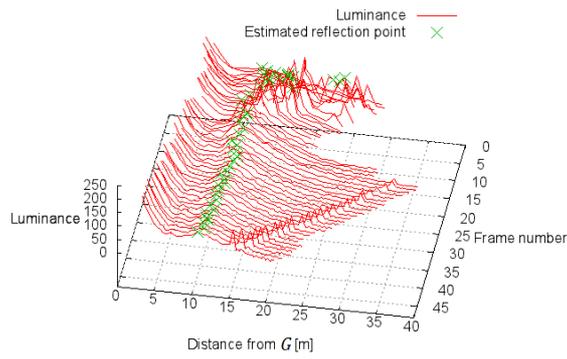
車両が観測直線に近づいてくる場合、観測直線と拘束線の交点との輝度値を画像毎に取得することで、厳密には観測直線上で交点は、時間の経過につれて、わずかに動いていく可能性があるため、拘束線の輝度値を時空間方向に走査することになる。

注目する1本の観測直線と、映像の各画像での拘束線の交点の輝度値を図9に示す。

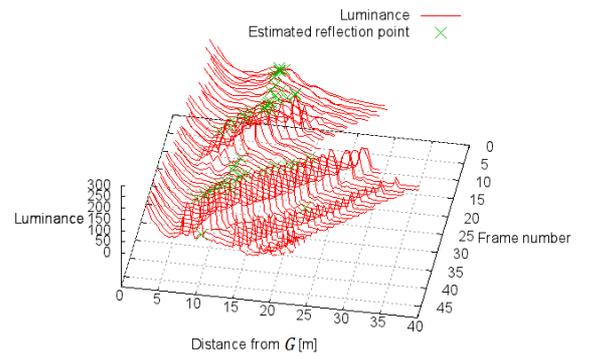
4.2.3 鏡面反射画像位置 R' の検出

図9において、観測直線と拘束線の交点の輝度値の極大値を検出する。この極大値が、注目した観測直線において、鏡面反射成分が最も大きくなる時刻の画像である。鏡面反射成分が最も大きくなる画像における、観測直線と拘束線の交点を鏡面反射画像位置 R' とすることができる。

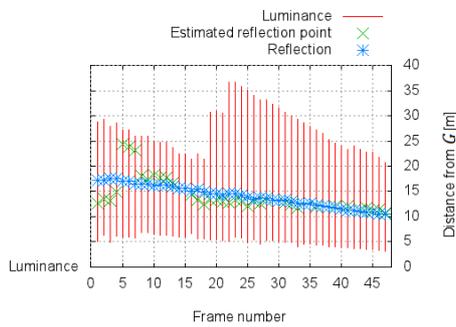
拘束線上の時空間走査手法は、設定した観測直線単位で行うことができるため、前照灯位置 H は各観測直線とある時刻で



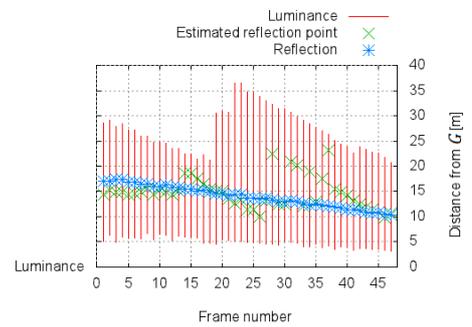
(a) 右前照灯



(b) 左前照灯



(a') 右前照灯 (俯瞰図)



(b') 左前照灯 (俯瞰図)

図 6 映像のフレーム単位での前照灯の拘束線上の輝度値と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} とその俯瞰図

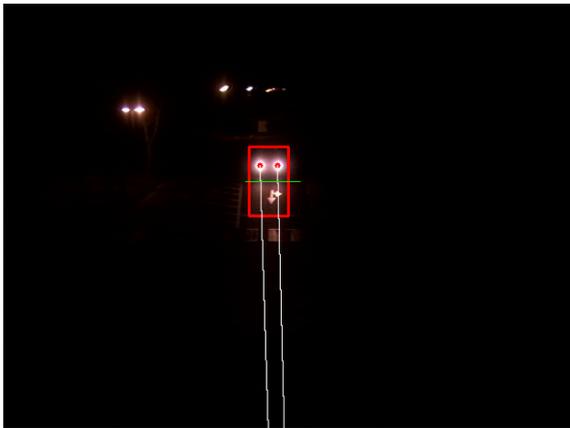


図 8 観測直線と拘束線の交点

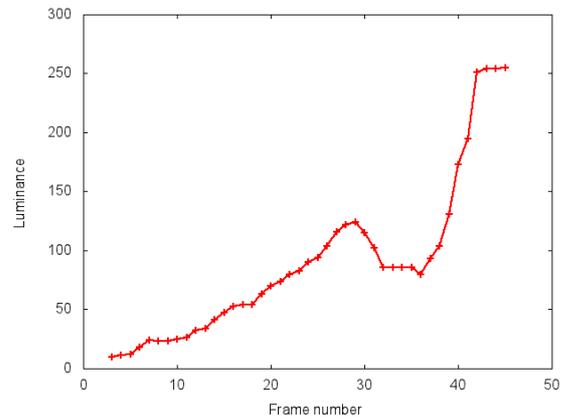


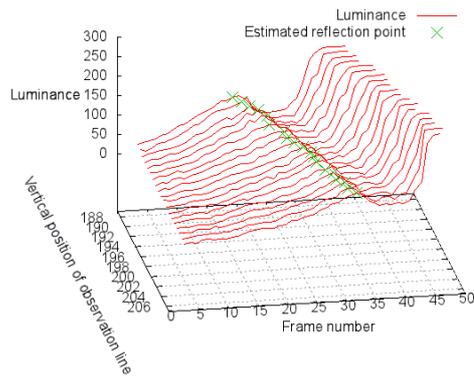
図 9 観測直線と映像の各画像での拘束線の交点の輝度値

もって求まる。

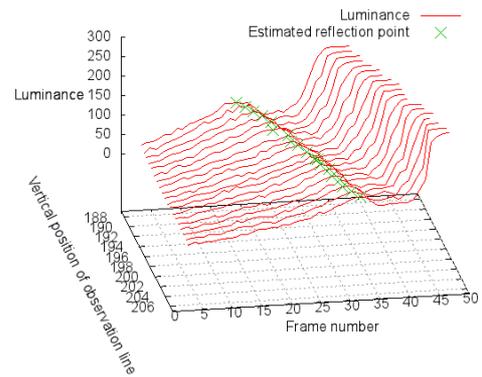
ある道路監視カメラ映像において、図 7 において設定した 19 本の各観測直線と左右の前照灯の拘束線の交点の輝度値と、検出した鏡面反射位置 R と、その俯瞰図を図 10 に示す。Frame number が初期画像の画像番号を 1 としたときの画像番号である。Luminance が観測直線と拘束線の交点の輝度値である。Vertical position of observation line が図 7 において設定した 19 本の各観測直線が位置する画像座標系縦軸の座標値 [pixel]

である。

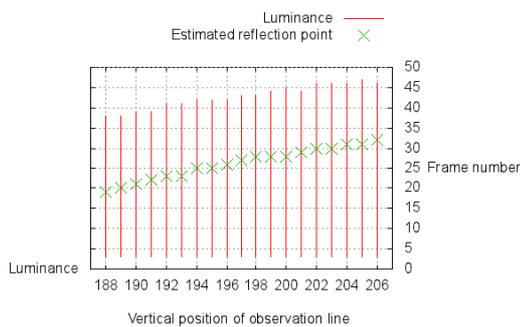
図 6(a)(b) と図 10(a)(b) を比較すると、時空間走査手法は、空間走査手法に比べて、観測した輝度値が不連続に変化するようなところがないことが分かる。そのため、図 6(a')(b') の検出した鏡面反射位置 R に対して、図 10(a')(b') の検出した鏡面反射位置 \hat{R} は、より安定して鏡面反射位置 R を検出することができていることがわかる。



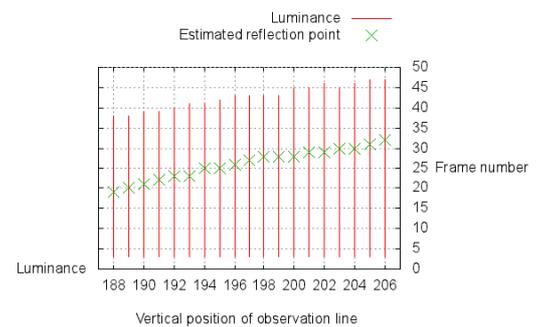
(a) 右前照灯



(b) 左前照灯



(a') 右前照灯 (俯瞰図)



(b') 左前照灯 (俯瞰図)

図 10 観測直線単位での観測直線と前照灯の拘束線の交点の輝度値と検出した鏡面反射位置 R とその俯瞰図

5. 実験

提案手法の推定精度について評価実験を行った結果をここに報告する。

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 15fps 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(a) 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。撮影した映像に対して、提案した空間走査手法と時空間走査手法を用いて、車両の前照灯位置 H の推定を行う。空間走査手法は映像のフレーム単位で前照灯位置 H を求めることができる。時空間走査手法は、設定した観測直線単位で前照灯位置 H を求めることができる。

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。

空間走査手法により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。時空間走査手法により推定した左右の前照灯の高さの平均値と標準偏差を表 2 に示す。

5.4 実験結果の考察

表 1 より、空間走査手法により推定した左右の前照灯の高さの精度について考察する。空間走査手法により推定した前照灯の高さの平均値は真値に近いが、標準偏差は約 $0.06\text{--}0.24\text{[m]}$ 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。空間走査手法では、任意の路面において、路面反射率が一定であると仮定している。しかし、実験に使用した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し、アスファルトと道路標示は反射率が大きく異なる。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のが観測されていた。これにより、前照灯の高さを誤推定したと考えられる。

表 2 より、時空間走査手法により推定した左右の前照灯の高さの精度について考察する。時空間走査手法により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。また、標準偏差は、約 $0.02\text{--}0.05\text{[m]}$ であり、ばらつきは小さい。時空間走査手法は、路面反射率が一定となるように観測直線を設定した

表 1 空間走査手法により推定した左右の前照灯の高さの平均値と標準偏差

Vehicle	Observed frames	True value[m]	Average(Right)[m]	Standard deviation(Right)[m]	Average(Left)[m]	Standard deviation(Left)[m]
A	47	0.68	0.650	0.117	0.710	0.186
B	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

表 2 時空間走査手法により推定した左右の前照灯の高さの平均値と標準偏差

Vehicle	Observation lines	True value[m]	Average(Right)[m]	Standard deviation(Right)[m]	Average(Left)[m]	Standard deviation(Left)[m]
A	19	0.68	0.664	0.019	0.659	0.034
B	19	0.70	0.740	0.036	0.743	0.045
C	19	0.60	0.600	0.025	0.606	0.033
D	19	0.67	0.711	0.028	0.709	0.023

ため、安定して鏡面反射画像位置 R' を検出することができたといえる。

以上より、路面反射率が一定でない所が見られる場合は、路面反射率が一定となるように観測直線を用意して、時空間走査手法を行った方が前照灯位置 H の推定に有効であるといえる。

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。本稿では、反射位置を時空間的に走査し、反射位置を推定する手法を提案した。提案手法を用いた車両前照灯の高さの推定を行う実験を行い、提案手法の有効性を示した。

文 献

- [1] 金山憲司, 都市交通と映像情報メディア, 映像情報メディア学会誌, 映像情報メディア 53(1), pp.55–61, 1999.
- [2] A.P. Boedihardjo, C.T. Lu, AOID: Adaptive On-Line Incident Detection System, Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC '06. IEEE, pp.17–20, 2006.
- [3] X. Zhu, A. Gan, An Artificial Neural Network Model for Incident Detection on Major Arterial Streets, Proceeding of 15th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2008.
- [4] 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.
- [5] 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, 2009.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 小林直樹, 北原格, 亀田能成, 大田友一, 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, 電子情報通信学会技術研究報告.ITS, vol.113, no.433, pp.111–116, 2014.
- [9] D. Beymer, P. McLauchlan, B. Coifman, J. Malik, A Real-Time Computer Vision System for Measuring Traffic Parameters, Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. Proceedings., 1997 IEEE Computer Society Conference on, pp.17–19, 1997.
- [10] S. Kamijo, T. Nishida, M. Sakauchi, Occlusion Robust and

Illumination Invariant Vehicle Tracking for Acquiring Detailed Statistics from Traffic Images, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol.E85-D, No.11, pp.1753–1766, 2002.

- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.