

平行ステレオを用いたガラス越し遠景夜景画像からの 夜景と映り込みの分離

鶴見 文哉^{*1}, 山下 淳^{*2}, 金子 透^{*1}, 浅間 一^{*2}

Separation of Night Scene and Reflection from Nightscape Parallel Stereo Image of Distant View through Window

Fumiya TSURUMI^{*1}, Atsushi YAMASHITA^{*2},
Toru KANEKO^{*1}, Hajime ASAMA^{*2}

^{*1} Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University
3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka 432-8561, Japan

^{*2} Department of Precision Engineering, The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

Camera images taken through window glass sometimes have a problem of reflection from the glass surface. It is conspicuous in night scene because reflection intensity is considerable compared to the outside objects. This paper proposes a method for separation of night scene and reflection. The method takes two different images at once by using stereo camera. In the acquired images, the disparity of night scene is considered to be zero if the scene is of a distant view. In this paper, we treat the case that the relative position of reflection and night scene in stereo images are known and the disparity appears only in the reflection. By using the relative position, night scene and reflection are separated. Experimental results showed the effectiveness of the proposed method.

Key Words : Image Separation, Stereo Camera, Reflection, Nightscape Image

1. 序 論

近年、生活支援ロボットやレスキューロボットなど、ロボットに関する様々な研究が行われている。これらのロボットが目的となる動作を行うとき、その対象となる物体を認識することは必要不可欠である。

ロボットが周囲の物体を認識するために、カメラやレーザーなどが多くの研究で用いられている。特にカメラは撮影された物体の形状や色、また2視点からの撮影画像を用いることによって物体までの距離など、物体の認識に利用できる多くの情報を得ることができる。

しかし、ロボットと対象の物体の間に視野を遮蔽するような不要物が存在するとき、ロボットの物体認識に影響が現れることが考えられる。その遮蔽物の1つにガラス面に現れる映り込みが考えられる。

映り込みとは、ガラスが完全な透明物体ではなく表面で反射するために、周囲の物体や人が映る現象のことである。ガラス面の反射による映り込みは身の周り



(a) Window glass.

(b) Show window.

Fig. 1 Examples of reflection.

の様々な場面で見られる。例としては、窓ガラスや街のショーウィンドウ、夜間の車・電車・バスの窓ガラスなどで、ガラスの奥にある物体と映り込んだ周辺の物体が混ざり合うことなどがある(図1)。特に映り込みは夜間の夜景の撮影など、窓ガラスの手前と奥の明暗差が大きいほどはっきりと現れる。

映り込みが発生すると、ガラスの奥の対象の物体と映り込みの色が混ざったり、物体の正確な形状が計測できなくなったりする。そのため、映り込みが発生した画像を用いて物体認識を行うと、ロボットが事前に与えられた物体の情報との類似度が低下し、物体の認識に失敗したり、物体の位置推定に問題が生じたりすることが考えられる。

^{*1} 静岡大学工学部機械工学科 (〒 432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1) {f0130041, tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

^{*2} 東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1) {yamashita, asama}@robot.t.u-tokyo.ac.jp

そこで、ガラス越しの画像からでも正確な物体認識を行うために、夜景撮影などの映り込みがはっきり現れるような場合にも対応した、対象と映り込み物体の分離手法が必要である。

これまで、我々はロボットの視野が遮蔽された場合に、物体認識のために取得された画像から視野を明瞭化する研究を行ってきた。

その1つにレスキューロボットが作業を行うとき、降雨などの理由によりロボットのカメラについた水滴を除去する研究^{(1)~(3)}がある。複数台のカメラを使い、それぞれのカメラ間で水滴の存在しない領域を補間する手法である。しかし、これらの手法では水滴によって遮蔽される領域がカメラ間で重なった場合に除去を行えないことが問題である。

また、カメラを回転させたときの視差の変化を用いて水滴を除去する手法^{(4)~(6)}もある。しかし、これらの手法は水滴がカメラのレンズに付着していることを利用しているため、映り込みの除去に応用することはできない。

その他には、金網越しに対象物体を撮影した画像から、金網の影響を除去し、対象物体を再現性高く復元する研究がある⁽⁷⁾。この手法では、対象物体に焦点を合わせた画像と、金網に焦点を合わせた画像を用いて金網の除去を行う。しかし、この手法の問題点として、対象物体に焦点を合わせたとき金網が焦点ぼけを生じていることが必要になることが挙げられる。

他方、撮影された画像から映り込みを除去する研究が従来から行われてきた。その1つに偏光フィルタを利用したものがある^{(8)~(11)}。この手法はガラスの表面で反射する映り込みが偏光する性質を利用し、カメラに取り付けた偏光フィルタを回転させながら映り込みの強さの異なる複数枚の画像を取得して除去を行う。他には絞り調節やフォーカス調節によって生じる焦点ぼけの変化を利用した手法⁽¹²⁾や、独立成分分析を利用した手法^{(13)~(14)}がある。しかし、これらの手法は画像を多数枚撮影するため、撮影対象が静止している必要がある。

我々も画像から映り込みを除去する研究として、平行ステレオ画像を用いて夜景から映り込みを除去する手法^{(15)~(17)}を提案した。これらの手法はステレオカメラを用いて1度の撮影で2枚の異なる画像を撮影する。そして手法^{(15)~(16)}では、映り込みの撮影される位置の違い（視差）から、ステレオ画像間の映り込みの位置関係を求め除去を行う。しかし、この手法では映り込みが発生しているかどうかに関わらず画像の端から端まで処理を行っているために誤差が蓄積し、画像全体

にノイズが現れる問題がある。また、手法⁽¹⁷⁾では、ステレオ画像中から夜景の撮影された領域を求め、夜景と映り込みを分離する。しかしこの手法では、夜景と映り込みが混ざり合っている場合、映り込みの影響を取り除くことはできない。

そこで、本論文ではこれらの手法^{(15)~(17)}の問題を解決することを目的とした、夜景と映り込みの分離手法を提案する。

2. 画 像 取 得

本手法では以下の条件で撮影を行う（図2）。2台の同種類のカメラを用いてステレオ画像を撮影する。撮影する2台のカメラは水平方向に並べて設置する。また、2台のカメラの光軸は、互いに平行になるようにする。そして、焦点距離、ホワイトバランス、露出時間などの設定を同じにする。

窓ガラスと窓ガラスに映り込む室内の物体（映り込み物体）は平面かつ窓ガラスに平行であるとし、ステレオカメラの基線方向も窓ガラスに平行になるように設置する。このときカメラは平行ステレオであり、ガラスは完全な平面でその厚みも無視できるものとする。

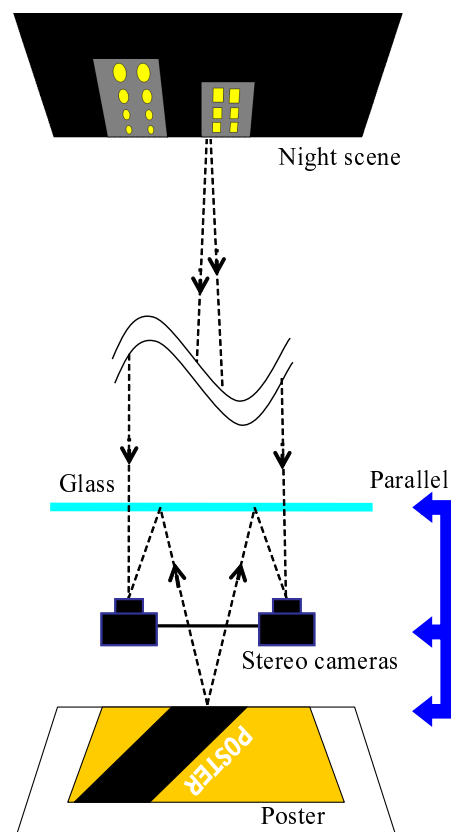


Fig. 2 Positional relationship of image acquired.

また、取得画像においては夜景は遠方にあるとする。遠方にある場合、夜景の視差はゼロであるとみなすことができる。一方、映り込みは室内にあるため夜景に比べて距離が近く、視差が生じ、夜景の一部分と混ざり合って映っているものとする。そのため、撮影されたステレオ画像間では夜景に視差は無く、映り込みのみ視差が存在する。窓ガラス、映り込み物体、ステレオカメラの基線方向が平行であり、窓ガラスと映り込み物体が平面であることから、取得画像上で映り込みの視差は一樣になる。窓ガラスが曲面の場合や、映り込みの視差が一樣でない場合は本手法では映り込み物体を除去することはできない。

提案手法を用いて映り込みの除去を行うこと条件として、撮影される左画像の左から視差分の領域と、右画像の右から視差分の領域に映り込みのない領域が必要となる。

図2では映り込み物体はポスターであり、ガラスとステレオカメラの基線方向と平行に設置されている。

3. 夜景と映り込みの分離

ステレオカメラで撮影された画像には夜景と映り込みが混ざって撮影される。図3に図2の環境での撮影画像の例を示す。ここで、撮影画像は夜景の画素値(図4)と映り込みの画素値(図5)の足し合わせであると表現できる。

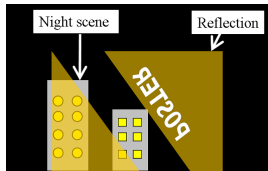


Fig. 3 Acquired image.

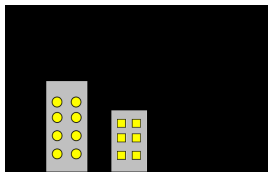


Fig. 4 Night scene.



Fig. 5 Reflection.

$I^L(x,y)$, $I^R(x,y)$ を撮影した左右カメラ画像の画素値, $I_f^L(x,y)$, $I_f^R(x,y)$ を映り込みの画素値, $I_b(x,y)$ を夜景の画素値とすると以下のように表すことができる。夜景の画素値は視差がゼロであるため、左右カメラ画像で同じである。また、 (x,y) の x は画像の水平方向の位置、 y は垂直方向の位置である。

$$I^L(x,y) = I_f^L(x,y) + I_b(x,y) \quad (1)$$

$$I^R(x,y) = I_f^R(x,y) + I_b(x,y) \quad (2)$$

また、2枚の画像間での映り込みの撮影される水平方向の位置の違いを視差 d とする。ここで、式(1)、(2)について、映り込みの水平方向の視差を考慮して、 $I_b(x)$ について解くと以下ようになる。

$$I_b(x) = I^L(x) - I^R(x-d) + I_b(x-d) \quad (3)$$

$$I_b(x) = I^R(x) - I^L(x+d) + I_b(x+d) \quad (4)$$

垂直方向 y は、カメラが平行ステレオであり左右カメラ画像において同一走査線となるため考慮しなくて良い。式(3)は左カメラ画像(図6)から映り込みを分離し夜景の画素値を求める式である。同様に、式(4)は右カメラ画像(図7)から映り込みを分離し夜景の画素値を求める式である。

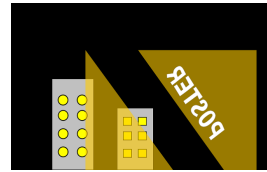


Fig. 6 Left image.

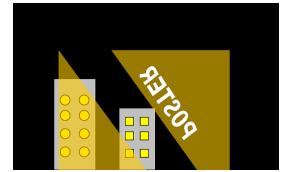
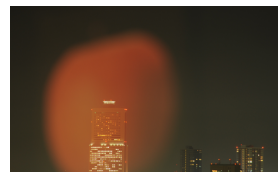


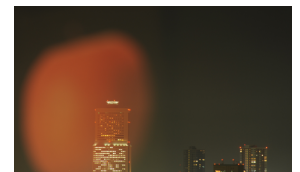
Fig. 7 Right image.

しかし、これらの式はすでに分離処理を行った夜景の画素値を用いて、視差 d 離れた次の画素の分離処理を行う。そのため、処理の過程でわずかでもノイズが発生した場合、処理を行うごとにノイズが蓄積されることが問題となる。ノイズの発生例を以下に示す。

図8はビルの夜景に室内の赤い物体が映り込んだ撮影画像である。図8に分離処理を行った画像を、図9に示す。図9(a)は赤い映り込みの左端がノイズとして画像の右端まで現れている。同様に、図9(b)ではビルがノイズとして画像の左端まで現れている。

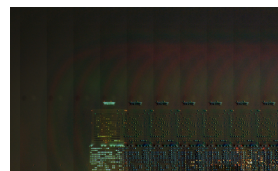


(a) Left.

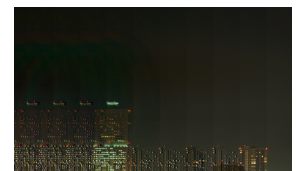


(b) Right.

Fig. 8 Stereo image.



(a) Left.



(b) Right.

Fig. 9 Noise.

そこで、画像中の映り込みが発生していない領域や黒色の物体が映り込んだ領域などの、映り込みの影響のない領域を用いて、これらのノイズを軽減する。

撮影画像の画素値は夜景の画素値と映り込みの画素値の足し合せという仮定から、映り込みの影響のない領域は画素値が小さくなくと考えられる。また、夜景の大部分は画素値が小さく、黒に近い色であると考えられる。そのため、撮影画像中の黒画素の領域は映り込みが発生していない、夜景だけが撮影された領域であると考えることができる。この領域を今後、夜景領域と呼ぶ。夜景領域を図 10 に示す。図中の白で示した領域が夜景領域である。

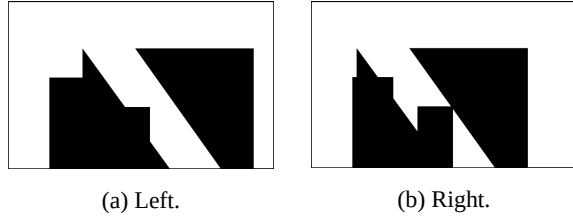


Fig. 10 Night scene region.

夜景領域と対応した位置にある画素に関しては、夜景の画素値を式によって求めるのではなく、撮影画像の画素値をそのまま与える。そのため、夜景領域を挟むことで蓄積されていたノイズをリセットすることができる。

その他に、ノイズを軽減するための対策として、左右カメラ画像から映り込みを除去した画像に対してアルファブレンディングを行うことが考えられる。

左カメラ画像からの分離では、画像の右側にいくに従ってノイズが蓄積するため、画像の左側の重みを大きくし、右側の重みを小さくする。同様に、右カメラ画像からの分離では、画像の左側にノイズが蓄積するため、画像の右側の重みを大きくし、左側の重みを小さくする（図 11）。

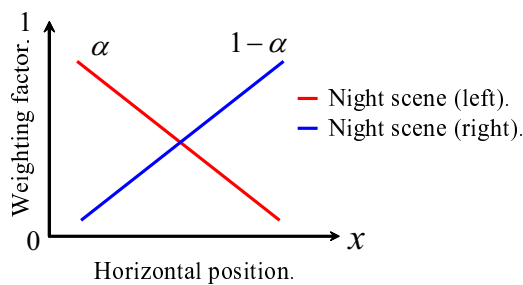


Fig. 11 Weighting factor.

画像の水平方向の大きさを w とすると、 α は次式で表せる。

$$\alpha = \frac{x}{w} \quad (5)$$

夜景領域に含まれる画素は、撮影画像から画素値を与えているためノイズが発生しない。そこで、左右の

どちらかの画像が夜景領域に含まれる画素では、夜景領域である画像の重みを 1 とする。左右画像が共に夜景領域の位置では、夜景は視差なしと仮定しているためどちらの画像を用いてもかまわない。本論文では、左右画像が共に夜景領域の位置では左カメラ画像の重みを 1 とした。以下に、アルファブレンディングを用いたノイズ軽減の式を示す。

$$I_b(x) = (1 - \alpha) \times I_b^L(x) + \alpha \times I_b^R(x) \quad (6)$$

$I_b^L(x)$ は左カメラ画像から分離を行った夜景の画素値、 $I_b^R(x)$ は右カメラ画像から分離を行った夜景の画素値である。

以上を踏まえた、実際の処理の流れを示す。左カメラ画像からの処理を例に用いて説明する。

1. 撮影画像から映り込みの視差 d を求める。
2. 出力する夜景画像に左カメラ画像から、 $I_b(0) \sim I_b(d-1)$ の画素値を与える。左カメラ画像の $I_b(0) \sim I_b(d-1)$ の領域には映り込みの影響は無い。
3. 撮影画像から夜景領域を求める。閾値を設定し、撮影画像中で輝度値が閾値以下の領域を夜景領域とする。
4. 夜景画像の $I_b(0) \sim I_b(d-1)$ 以外の領域の中で、夜景領域に含まれる画素に左カメラ画像の画素値をそのまま与える。
5. 夜景領域以外の領域に式 (3) を用いて分離を行った夜景の画素値を与える。以上により、左カメラ画像から分離を行った夜景画像が作成される。
6. 同様の処理を、左右逆にして右カメラ画像に行うことで、右カメラ画像からの夜景画像を作成する。
7. 左カメラ画像から分離した夜景画像と右カメラ画像から分離した夜景画像を用いてアルファブレンディングを行い、最終的な夜景画像を作成する。

4. 実 験

本手法の有効性を確認するために実験を行った。撮影環境を図 12 に示す。

カメラは Nikon 社製の D700 を使用し、画像サイズは 1400×800 、ISO 感度は 200、露出時間は 10 秒、F 値は 8 で撮影を行った。映り込み物体は、図 13 に示すような 2 枚のポスターとした。また、夜景領域は、撮影画像中の輝度値が 12 以下の領域とした。

撮影したステレオ画像を図 14、15 に示す。映り込みの影響により、撮影されたビルの色や形状はわからない。また、撮影画像から求めた夜景領域を図 16、17 に示す。図中の白で示す領域が夜景領域である。撮影画像と比較すると、夜景が撮影された部分を適切に抽



Fig. 12 Experimental environment.

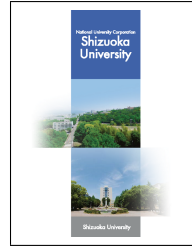


Fig. 13 Reflection objects.

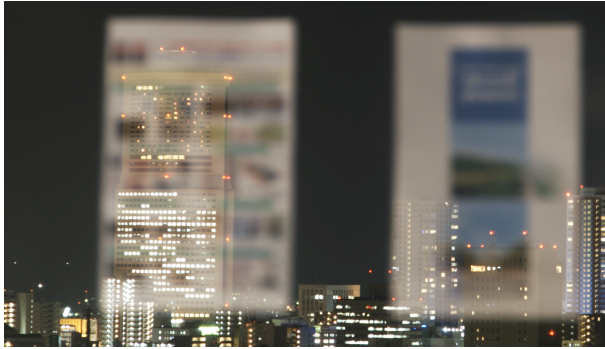


Fig. 14 Left image.



Fig. 15 Right image.

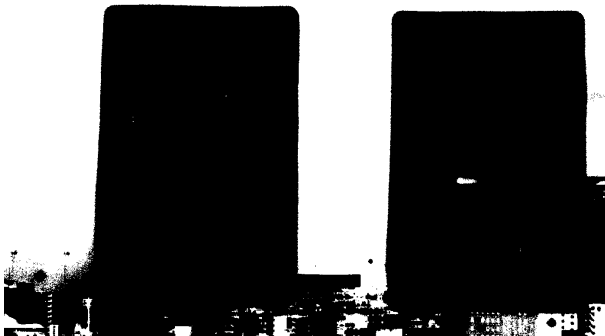


Fig. 16 Night scene region (left).

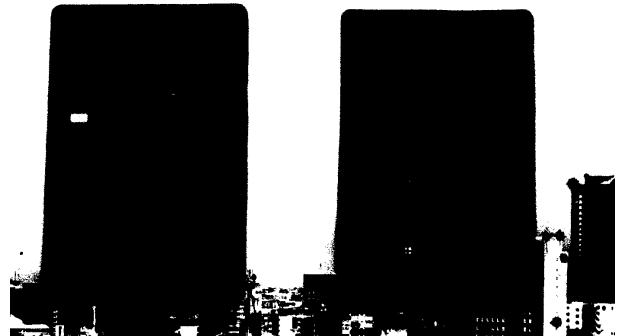


Fig. 17 Night scene region (right).

出できていることがわかる。

分離を行った左右の夜景画像を図 18, 19 に示す。一部でノイズの影響が目立つものの、撮影画像ではわからなかったビルの色や形状などがはっきりわかるようになった。図 18 と図 19 を用いてアルファブレンディングを行った夜景画像を図 20 に示す。図 18, 19 と比較すると、ノイズを軽減できていることがわかる。

提案手法で分離を行った夜景画像と比較するために、同じ位置で窓ガラスを開けて撮影した画像を図 21 に示す。これは映り込みがなく真値と呼べる夜景画像である。夜景の真値との差分画像を用いて、映り込みを分離できていることを示す。差分画像では、差分の小さい領域は青く表示され、差分が大きくなるにつれて赤色に近づいている。

まず、撮影したステレオ画像と夜景の真値の差分画像を図 22, 23 に示す。また、提案手法の夜景画像と

夜景の真値の差分画像を図 24 に示す。図 22, 23 では、映り込みが現れた領域に差分が生じていることがわかる。これに対して図 24 では、映り込みが現れた領域の差分が大きく減少し、夜景の真値に近い値となっていることがわかる。

実験結果では、夜景の照明のような輝度値が大きい部分がノイズとして現れた。提案手法では、撮影画像の画素値は夜景の画素値と映り込みの画素値を足し合わせた値であるとしている。しかし、このような夜景の輝度値が大きい部分では、夜景の画素値と映り込みの画素値を足し合わせた値がカメラのダイナミックレンジを超えてしまい、撮影画像の画素値と等しくならない場合がある。この夜景の画素値と映り込みの画素値を足し合わせた値と、撮影画像の画素値の差がノイズの 1 つの原因であると考えられる。

また、もう 1 つのノイズの原因に、左右のカメラ画



Fig. 18 Night scene (left).



Fig. 19 Night scene (right).



Fig. 20 Night scene (alpha blending).



Fig. 21 Ground truth.

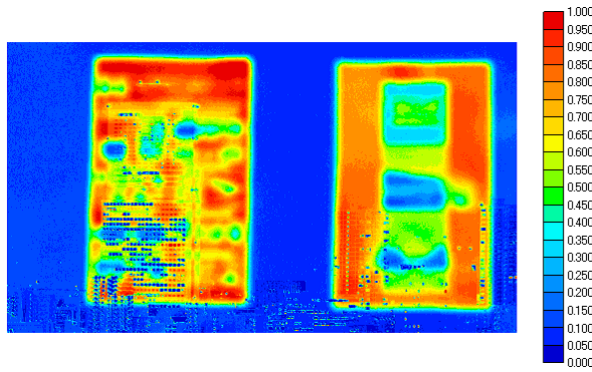


Fig. 22 Difference with ground truth (left).

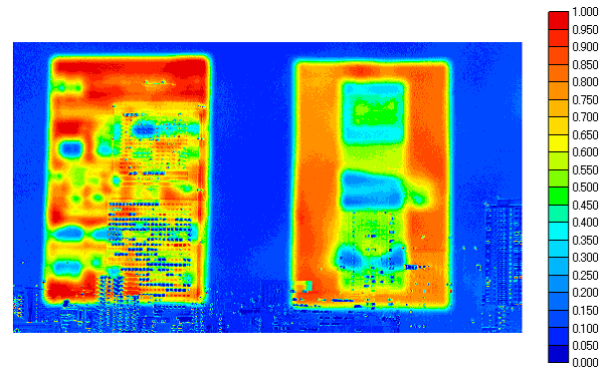


Fig. 23 Difference with ground truth (right).

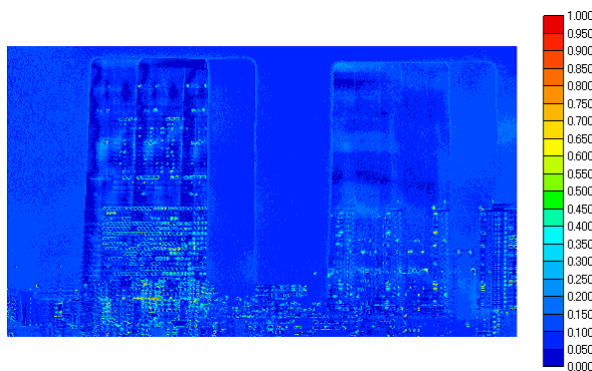


Fig. 24 Difference with ground truth (our method).

像間で撮影される夜景の位置のずれがある。提案手法では左右のカメラ画像間で夜景の視差はゼロであると仮定しているが、実際の画像ではわずかにずれることがあり、このずれによってノイズが発生すると思われる。

以上、図 22, 23, 24 に示した夜景の真値との比較から提案手法を用いることで、映り込みを分離した真値に近い夜景画像が得られたことがわかる。この結果から、このようなノイズが発生している場合でも、映り込みと夜景を分離することができた。

5. 結 論

ガラス越しに遠景夜景を撮影した2枚のステレオ画像から、映り込みのみ視差があることを利用して、夜景と映り込みを分離する手法を提案した。実験結果から、提案手法の有効性を確認した。

今後の課題として、ノイズの軽減や、分離を行うための撮影条件の緩和などが挙げられる。特に現在の撮影条件は、窓ガラスと映り込み物体とステレオカメラの基線方向が平行でなければならないため、制約が強い。そのため現在の提案手法は撮影条件を満たす限られた環境では有効だが汎用的な手法であるとは言えない。そこで、撮影条件を緩和し、これらが平行ではない状況に対応する必要がある。

窓ガラスと映り込み物体とステレオカメラの基線方向を平行にする理由は、映り込みの視差を一樣にすることで、ステレオ画像間での映り込みの位置関係を求めるためである。そのため、別の方法で映り込みの位置関係が分かれば、これら全てを平行にする必要は無い。特徴点などを利用してステレオ画像間での映り込みの位置関係を求めることで、これらが平行ではない状況にも対応した、より汎用的な手法にすることができると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、科研費若手研究 (A)22680017 の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- (1) Atsushi Yamashita, Masayuki Kuramoto, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: "A Virtual Wiper -Restoration of Deteriorated Images by Using Multiple Camera-", Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2003), pp.3126-3131, 2003.
- (2) 山下淳, 田中友, 原田知明, 金子透, 三浦憲二郎: "バーチャルワイパーバーチャルワイパー〜画像処理を用いた屋外環境での視野明瞭化〜", 第10回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp.549-556, 2005.
- (3) Yuu Tanaka, Atsushi Yamashita, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: "Removal of Adherent Waterdrops from Images Acquired with a Stereo Camera System", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.89-D, No.7, pp.2021-2027, 2006.
- (4) Atsushi Yamashita, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: "A Virtual Wiper -Restoration of Deteriorated Images by Using a Pan-Tilt Camera-", Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2004), pp.4724-4729, 2004.
- (5) Atsushi Yamashita, Takahiro Harada, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: "Virtual Wiper -Removal of Adherent Noises from Images of Dynamic Scenes by Using a Pan-Tilt Camera-", Advanced Robotics, Vol.19, No.3, pp.295-310, 2005.
- (6) Atsushi Yamashita, Isao Fukuchi, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: "Removal of Adherent Noises from Image Sequences by Spatio-Temporal Image Processing", Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2008), pp.2386-2391, 2008.
- (7) 松井彰良, 山下淳, 金子透: "金網越し複数焦点画像からの金網除去", 第15回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp.170-175, 2010.
- (8) Alexander M. Bronstein, Michael M. Bronstein, Michael Zibulevsky and Yehoshua Y. Zeevi: "Blind Separation of Reflections Using Sparse ICA", Proceedings of the 4th Symposium on Independent Component Analysis and Blind Single Separation, pp.227-232, 2003.
- (9) Yoav Y. Schechner, Joseph Shamir and Nahum Kiryati: "Polarization-based Decorrelation of Transparent Layers: The Inclination Angle of an Invisible Surface", Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV1999), Vol.2, pp.814-819, 1999.
- (10) 岩瀬正樹, 山村毅, 田中敏光, 大西昇: "映り込み分離カメラシステム", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D, No.6, pp.1224-1232, 1998.
- (11) Noboru Ohnishi, Kenji Kumaki, Tsuyoshi Yamamura and Toshimitsu Tanaka: "Separating Real and Virtual Objects From Their Overlapping Images", Proceedings of the 4th European Conference on Computer Vision (ECCV1996), Vol.2, pp.636-646, 1996.
- (12) Yoav Y. Schechner, Nahum Kiryati and Ronen Basri: "Separation of Transparent Layers Using Focus", International Journal of Computer Vision, Vol. 39, No.1, pp.25-39, 2000.
- (13) Hany Farid and Edward H. Adelson: "Separating Reflections from Images Using Independent Components Analysis", Journal of the Optical Society of America A, Vol.16, No.9, pp.2136-2145, 1990.
- (14) Hany Farid and Edward H. Adelson: "Separating Reflections and Lighting Using Independent Components Analysis", Proceedings of the 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (ICCV1999), Vol.1, pp.262-267, 1999.
- (15) 油井広明, 山下淳, 金子透: "平行ステレオ画像を用いたガラス越し遠景夜景画像からの映り込み除去", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.8, pp.127-130, 2011.
- (16) 鶴見文哉, 山下淳, 金子透: "ステレオ画像を用いたガラス越し遠景夜景画像からの映り込み除去に関する検討", 画像の認識・理解シンポジウム 2011 (MIRU2011) 論文集, pp.942-947, 2011.
- (17) 鶴見文哉, 山下淳, 金子透: "ステレオ画像を用いたガラス越し遠景夜景画像からの夜景と映り込みの分離", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.39, pp.21-24, 2011.