

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

鶴見 文哉[†] 山下 淳[†] 金子 透[†]

[†] 静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

E-mail: †{f0130041,tayamas,tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

あらまし 展望台や高層ビルから撮影を行う場合、室内からガラス越しにしか撮影できないことがある。ガラス越しに撮影したカメラ画像には、撮影者や周囲の人間、物体がガラス面に映り込むという問題が起こる。この映り込みは夜景画像において顕著に現れる。そこで本論文では、ステレオカメラを用いてガラス越しに撮影した遠景夜景画像から、ガラス面に平行な映り込み物体を除去する手法を提案する。遠景の夜景には視差がなく、近景の映り込み物体にのみ様な視差があることから、映り込み物体と夜景の左右画像での位置関係が分かる。この位置関係を利用して映り込みの影響を求め撮影画像から除去する。実験により、本手法の有効性を示す。

キーワード 映り込み, 夜景画像, 遠景, 平行ステレオ

1. 序 論

我々の身の周りには多くの映り込みが存在する。映り込みとは、ガラスが完全な透明物体でなく表面で反射するために、ガラスなどの透明物体に周囲の物体や人が映る現象のことである。例えば、ビルの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車内の人や物体が映り込み、窓ガラスの向こう側の景色と混ざり合うことがある(図1)。また、映り込みは特に夜間における夜景の撮影などでは顕著に現れる。

展望台や高層ビルなどではきれいな夜景を楽しむことができるが、このような場所は室内から窓ガラス越しにしか撮影を行えない場合がある。窓ガラス越しに夜景をカメラで撮影する際は、室内と外との明暗差が大きいいため映り込みが大きく現れる問題がある。このような場合、映り込みを防ぐことが困難であり、本来撮りたい撮影対象のみ撮影することはできない。そこで、ガラス越しに撮影した画像から映り込み物体のみ除去し、きれいな夜景画像を求める手法が必要になる。

映り込みを除去する従来研究には、ガラスの表面で反射した光(映り込み)が偏光する性質を利用したものがある[1]~[4]。これはカメラに偏光フィルタを付け、回転させながらガラスに映る映り込みの強さの異なる複数枚

の画像を取得して除去する手法である。しかし、これらの手法では偏光フィルタが必要であることや複数回の画像を順次撮影しなければいけないこと、装置が複雑になる場合があることなどの問題がある。

また、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[5]や、独立成分分析を利用した手法[6],[7]がある。しかしこれらの手法は、単色画像が前提であることや再現性が悪い場合があることが問題である。

そこで我々は、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[8]を提案した。ステレオカメラでは、対象物を複数の異なる方向から同時に撮影できるという特徴がある。この手法はステレオカメラを用いることで1回の撮影で2枚の異なる画像を取得する。そして、映り込みの映る位置の違い(視差)を利用することで撮影画像から映り込みの除去を行う手法である。

文献[8]では、ステレオカメラを用いたシミュレーション実験を行った。本論文ではステレオカメラを用いて実際の映り込みの除去を行うことを目的とする。

2. 処理の概要

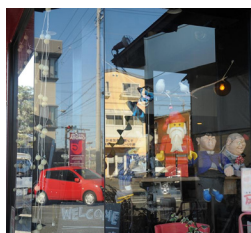
本研究では、まず2台のカメラからなるステレオカメラでステレオ画像を取得する。次に、取得したステレオ画像を用いて映り込み除去を行う。画像取得については2.1節で、映り込み除去については2.2節で述べる。

2.1 ステレオ画像取得

本手法では映り込みと夜景は以下の条件で撮影する。撮影を行う2台のカメラは1つの三脚に設置し、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こむ室内の物体(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



(a) 窓ガラス



(b) ショーウィンドウ

図1 映り込みの例

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。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、夜景の視差は非常に小さく、ゼロであるとみなすことができる。映り込みは、夜景よりも近く室内にあるため視差があり、夜景の一部と混ざり合って映っているものとする。そのため、撮影される画像は夜景の視差は無く、映り込みのみ視差が存在する。

映り込み物体は平面物体であるため取得画像上で視差が一様になる。窓ガラスが曲面の場合や、映り込みの視差が一様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。

図2に撮影時の位置関係を示す。図2の例では映り込みはドアから漏れる光であり、ガラスとステレオカメラの基線方向とドアが平行に設置されている。

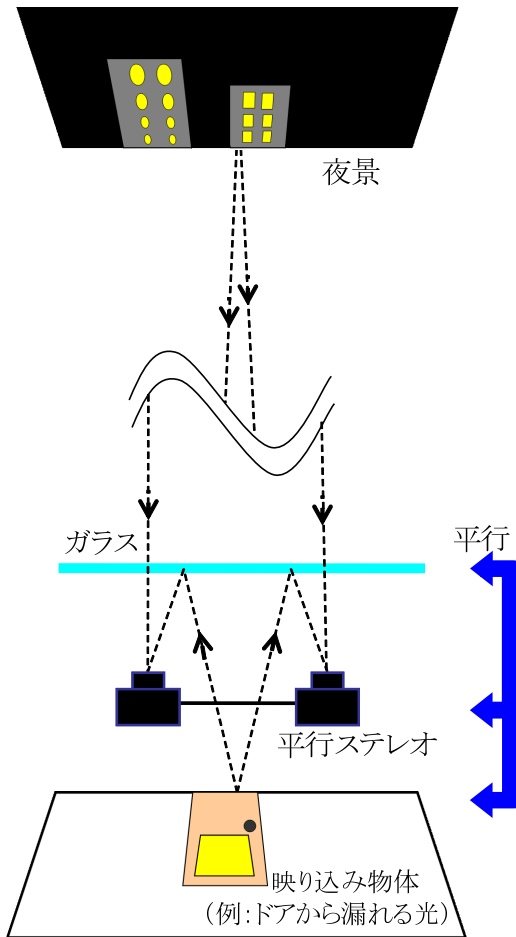


図2 撮影時の位置関係

2.2 映り込み除去

本研究での映り込み除去の方法を説明する。まず、ステレオカメラで撮影した画像には夜景と映り込みの2つが混ざり合って撮影される。撮影画像の例として、図2の配置のとき撮影される画像を図3に示す。ここで、撮影画像の画素値は映り込みの画素値(図4)と夜景の画

素値(図5)の足し合わせであると仮定する。

$I^L(x, y)$, $I^R(x, y)$ 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, $I_b^L(x, y)$ 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。なお, (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。

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

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

ここで、夜景は視差がゼロであるとみなしているため、左右カメラ画像で同じである。

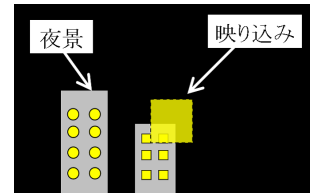


図3 撮影画像



図4 映り込みの画素値

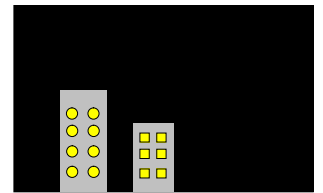


図5 夜景画素値

ここで、式(1), (2)に映り込みの横方向の視差 d を考え、 $I_b(x)$ 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。

ここで、式(3)は左カメラ画像(図6(a))から映り込みを除去し、式(4)は右カメラ画像(図6(b))から映り込みを除去する式である。

式(3)を例にとり夜景の画素値 $I_b(x)$ を求める流れを以下に示す。

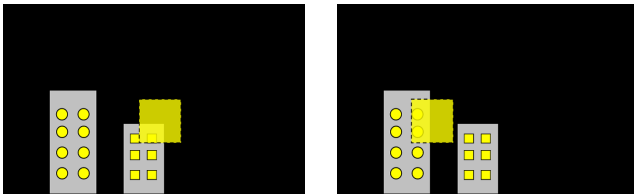
(1) 撮影画像から映り込みの視差 d を求める。

(2) 出力画像(図7)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。

(3) $x = d$ の位置から式(3)を用いて1画素ずつ全画素に対して $I_b(x)$ を求める。

本手法では、遠景夜景には視差が存在しないと仮定している。しかし、実際のステレオ画像ではわずかな視差や位置ずれが存在している。このような位置ずれは映り込み除去を行うと、ノイズとなって現れる。

左カメラ画像からの映り込み除去では、画像の右に向



(a) 左カメラ画像 (b) 右カメラ画像

図 6 撮影画像

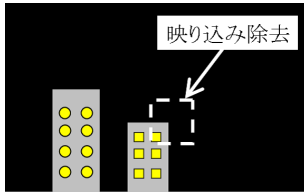
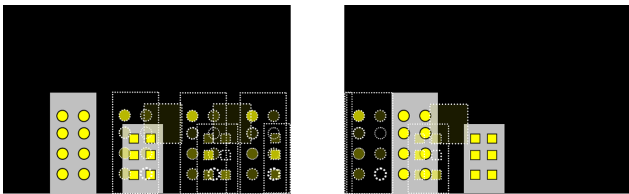


図 7 出力画像

かって処理を行うため、画像の右側に行くにつれて誤差が積み重なり、図 8(a) のように新たなノイズが現れる。同様に右カメラ画像では左に向かって処理を行うため、画像の左側に行くにつれて誤差が積み重なり、図 8(b) のように新たなノイズが現れる。



(a) 左カメラ画像からの除去 (b) 右カメラ画像からの除去

図 8 位置ずれによるノイズ

そこで、これらの新たに現れたノイズを軽減するために、左右カメラ画像から映り込みを除去した画像に対して、図 9 のような重み係数 α を掛けて、アルファブレンディングを行う。

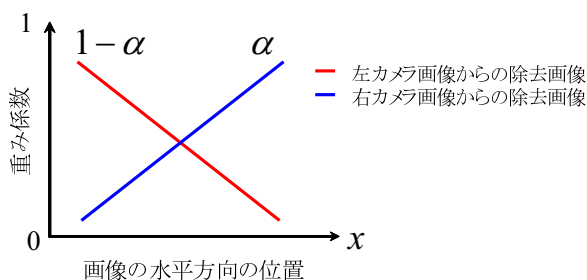


図 9 重み係数

また、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。

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

左カメラ画像から映り込み除去した画像は右側にノイ

ズが現れるため、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、右カメラ画像から映り込みを除去した画像は左側にノイズが現れるため、画像の右側の重みを大きくし、左側の重みを小さくする。以下にノイズ除去の式を示す。

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

ここで、 $I_b^L(x)$ は左カメラ画像から映り込み除去した画像、 $I_b^R(x)$ は右カメラ画像から映り込み除去した画像である。

3. 実験

本手法の有効性を確認するために 3 種類の実験を行った。

- (1) 単眼カメラを用いて撮影した夜景画像に対して、視差をつけて映り込みを混合させ除去を行ったシミュレーション実験 (3.1 節)
- (2) ステレオカメラを用いて撮影した遠景夜景画像に対して、視差をつけて映り込みを混合させ除去を行ったシミュレーション実験 (3.2 節)
- (3) ステレオカメラを用いて撮影した実際の映り込みを含む遠景夜景画像から映り込みを除去する実験 (3.3 節)

3.1 単眼カメラによるシミュレーション実験

単眼カメラによるシミュレーション実験では、単眼カメラで夜景のみの画像を撮影する。そして、撮影した夜景画像に対して、手動で視差をつけて映り込みを混合させることで、映り込みの異なるステレオ画像を作成する。作成したステレオ画像は夜景は同じ画像を用いているため視差はなく、映り込みのみ視差があるため、本手法において理想的な条件である。

撮影は、画像サイズを 3872×2592 pixel, ISO 感度を 100, 露出時間を 2 秒, F 値を 4.5 に設定して行った。

単眼カメラで撮影した夜景画像を図 10 に、混合した映り込みを図 11 に示す。そして、作成したステレオ画像が図 12(a), (b) である。

図 13(a), (b) に除去処理画像を示す。図 12 と図 13 を比較すると図 13(a), (b) 共に映り込みの除去ができていることが確認できる。以上の結果より、左右カメラ画像において夜景の視差がゼロである場合において、本手法の有効性を確認できた。

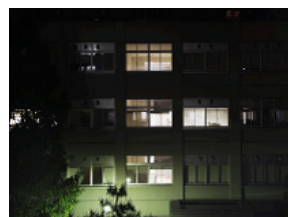


図 10 撮影画像

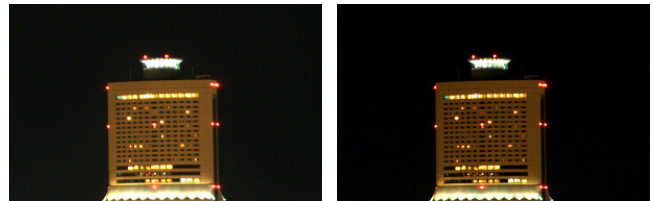


図 11 映り込み物体



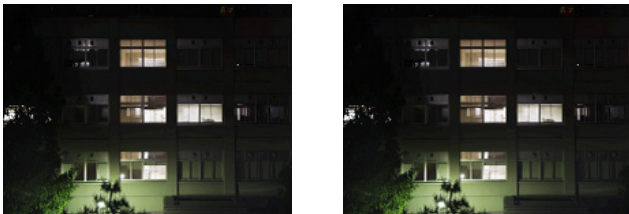
(a) 左カメラ画像 (b) 右カメラ画像

図 12 ステレオ画像



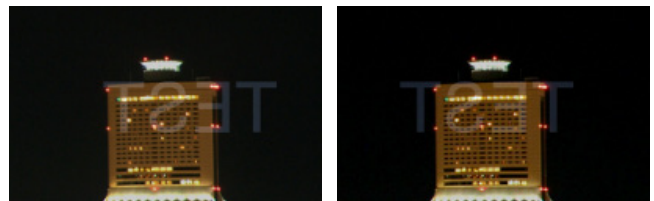
(a) 左カメラ画像 (b) 右カメラ画像

図 15 撮影画像



(a) 左カメラ画像からの除去 (b) 右カメラ画像からの除去

図 13 映り込み除去画像



(a) 左カメラ画像 (b) 右カメラ画像

図 16 ステレオ画像

3.2 ステレオカメラによるシミュレーション

実験は、図 14 に示す屋外環境で行った。映り込み物体は図 11 を用いた。ステレオカメラで夜景のみを撮影した画像を図 15 に示す。次に撮影したステレオ画像に映り込みを視差をつけ混合させ、映り込みの異なるステレオ画像を生成した（図 16）。画像サイズは 4256×2832 pixel、ISO 感度は 200、露出時間は 10 秒、F 値は 8 で行った。また、夜景を撮影する前にカメラのキャリブレーションを行い、ステレオ画像を平行化した。

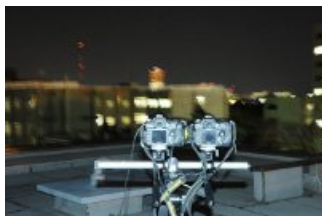


図 14 撮影環境



(a) 左カメラ画像からの除去 (b) 右カメラ画像からの除去

図 17 映り込み除去画像

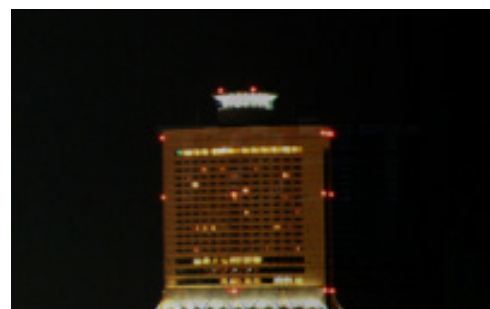


図 18 左右カメラ画像を用いた除去画像

図 17 に除去処理画像を示す。図 16 と図 17 を比較すると、左右カメラ画像から映り込みの除去ができた。しかし、図 17(a), (b) に映り込みの影響が除去できずに残る部分や、建物が撮影画像より暗くなっている部分がある。

これは、左右カメラ画像間で夜景の視差が完全にゼロでなく、画素値計算に誤差が生じたことが原因だと考えられる。また、同じ設定にした同機種 of 2 台のカメラを用いてもカメラの個体差やレンズのわずかな違いなどから色合いが異なるために、左右カメラ画像の画素値に差が出たことも原因だと考えられる。

このようなノイズを軽減するために左右カメラ画像を用いてアルファブレンディングした画像を図 18 に示す。図 17(a), (b) と図 18 を比較すると、新たに発生したノイズが軽減されていることがわかる。

3.3 ステレオカメラを用いた実際の映り込み除去

実験は異なる 2 種類の映り込み物体に対して行った。

1 つ目の映り込み物体を図 19 に示す。この映り込みは物体は、印刷したりんごの画像を平面のダンボールに貼り付けたものである。実験環境は、3.2 節の実験と同じ図 14 の屋外環境で行った。

2 台のカメラの設定は共に、画像サイズは 4256×2832 pixel、ISO 感度は 200、露出時間は 5 秒、F 値は 7.1 で撮影を行った。また、撮影前にキャリブレーションを行いステレオ画像を平行化した。

撮影したステレオ画像を図 20, 21 に示す。この画像に映り込み除去処理を行った画像が図 22, 23 である。映り込みを除去できているが、図 22 の右側に夜景の視差による新たなノイズが発生している。

左右カメラ画像を用いてこのノイズを軽減した画像が図 24 である。図 22 で現れたノイズが軽減され、映り込みを除去した夜景画像が得られた。



図 19 映り込み物体



図 23 右カメラ画像からの除去画像

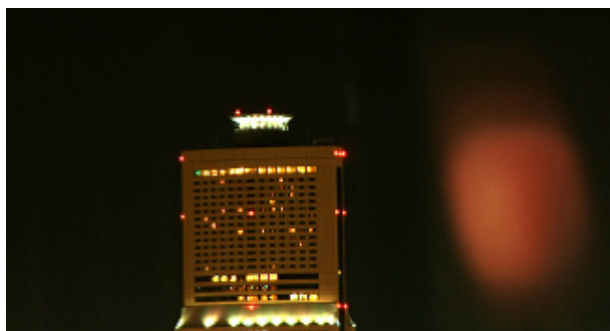


図 20 左カメラ撮影画像

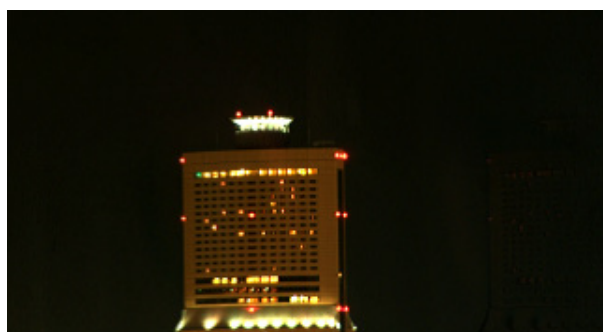


図 24 左右カメラ画像からの除去画像

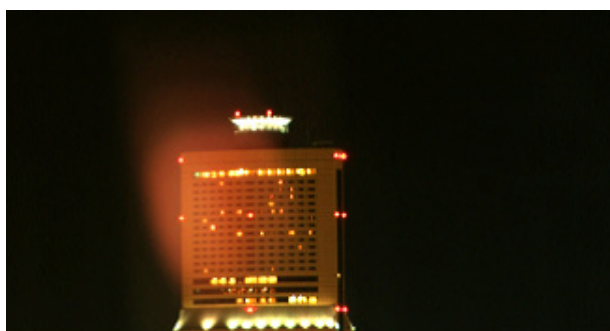


図 21 右カメラ撮影画像

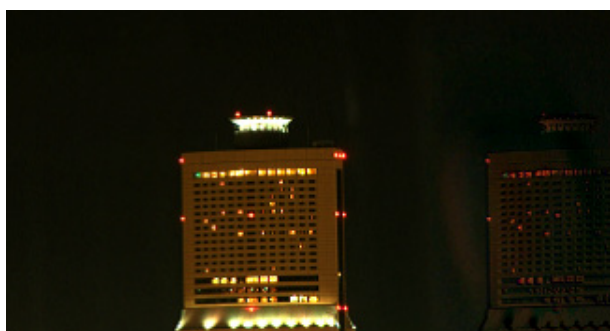


図 22 左カメラ画像からの除去画像

2 つ目の映り込み物体は図 25 に示すポスターを使用した。撮影環境は図 26 のような室内環境で行った。使用したカメラは 2 台とも画像サイズは 4256×2832 pixel, ISO 感度は 200, 露出時間は 6 秒, F 値は 8 に設定した。撮影前にキャリブレーションを行い, ステレオ画像を平行化した。

撮影した左カメラ画像, 右カメラ画像を図 27, 28 に示す。この画像に映り込み除去処理を行った画像が図 29, 30 である。図 29 では映り込みを除去した部分の色が暗くなっている。また, 図 30 では映り込みが薄くなっているが完全に除去できていない。また, 建物の輪郭が新たなノイズとして発生している。

左右カメラ画像を用いてノイズを軽減した画像を図 31 に示す。図 29 で暗くなっている部分が改善され, 図 30 で除去できていなかった映り込みや新たなノイズを軽減することができた。

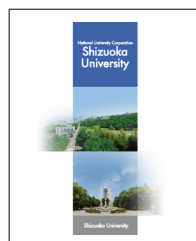


図 25 映り込み物体

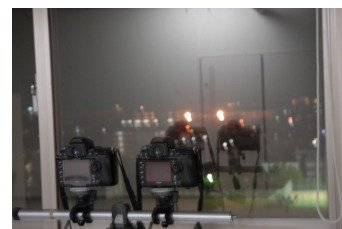


図 26 撮影環境



図 27 左カメラ撮影画像



図 28 右カメラ撮影画像

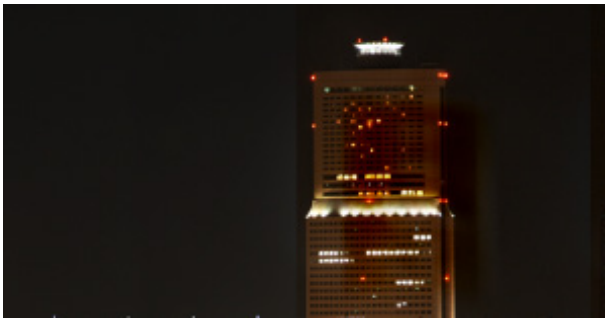


図 29 左カメラ画像からの除去画像



図 30 右カメラ画像からの除去画像

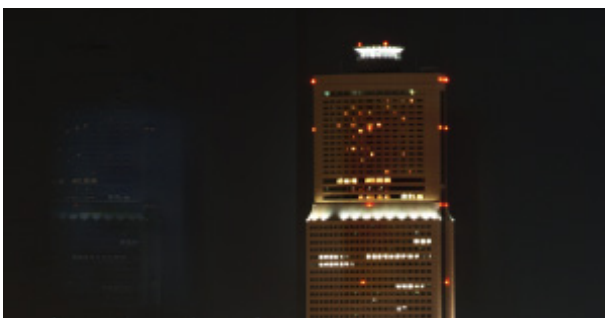


図 31 左右カメラ画像からの除去画像

4. 結 論

ステレオカメラでガラス越しに遠景夜景を撮影した 2 枚の画像から、映り込みのみ視差が異なることを利用して、ガラス面に平行な映り込み物体を除去する手法を提案した。実験結果より、提案手法の有効性を確認した。

今後の課題としては以下のことが挙げられる。

- ・左右カメラ画像の色合わせ。

撮影した左右のカメラ画像では同じ設定で撮影を行ってもカメラの個体差により色合いが異なる。この色合いの差によって映り込み除去に誤差が生じるため、色合わせを行うことで誤差の影響を減らすことができる。

- ・左右カメラ画像の位置合わせ。

本手法では夜景の視差をゼロと仮定している。しかし、撮影画像における夜景の視差はゼロではないため、視差の影響がノイズとなって現れる。

- ・撮影アングルに対する条件の緩和。

本手法では、ガラス面、ステレオカメラの基線方向、映り込み物体を平行に設置することで、視差が一様になることを利用した。しかし、この条件では撮影者が任意のアングルで撮影を行うことが出来ない。そこで、このような条件を取り除く必要がある。

文 献

- [1] 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.
- [2] 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, Vol.2, pp.814-819, 1999.
- [3] 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-II, No.6, pp.1224-1232, 1998.
- [4] 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, Vol.2, pp.636-646, 1996.
- [5] 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.
- [6] 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, 1999.
- [7] 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, Vol.1, pp262-267, 1999.
- [8] 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.