

時空間画像処理を用いた悪天候時の視野明瞭化

福地 功 山下 淳 金子 透 三浦 憲二郎

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

E-mail: {f0630062, tayamas, tmtkane, tmkmiur}@ipc.shizuoka.ac.jp

あらまし 悪天候時に屋外でカメラ撮影を行う場合、カメラのレンズ保護ガラス面上に水滴などが付着することで、視野が妨害されることがある。本論文では、このような水滴に代表される視野妨害ノイズに対し、時空間画像処理を用いることで検出・除去する手法について提案する。視野妨害ノイズを除去するために、本手法では、レンズ保護ガラスと一体となった首振りカメラを回転させて画像を取得する。実験結果より、提案手法の有効性が確認された。

キーワード 時空間画像処理, ノイズ検出, ノイズ除去, 首振りカメラ

Restoration of Deteriorated Images in Rainy Weather by Using Spatio-Temporal Image Processing

Isao FUKUCHI Atsushi YAMASHITA Toru KANEKO and Kenjiro T. MIURA

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8561 Japan

E-mail: {f0630062, tayamas, tmtkane, tmkmiur}@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract In outdoor environments in rainy weather, it is often the case that scenes taken by a camera are deteriorated because of adherent noises such as waterdrops on the surface of the lens-protecting glass of the camera. This paper describes a method that can remove view-disturbing noises from image sequences captured with a pan-tilt camera by spatio-temporal image processing. Experimental results show the effectiveness of the method.

Keyword Spatio-Temporal Image Processing, Noise Detection, Noise Removal, Pan-Tilt Camera

1. 序論

近年、セキュリティニーズの高まりから、屋外監視カメラを用いた侵入者や進入物の自動検出に関する研究・開発が盛んに行われている。その他にも、カメラに代表される視覚センサを搭載した自律移動型ロボットによる周囲環境のセンシングや、交通状況の確認など様々な用途において、屋外でカメラ撮影を行う機会が多い。しかし、屋外環境下に設置されたカメラの場合、得られる画像の質は環境条件により大きく左右される。特に雨天時における撮影では、カメラレンズと被写体との間に介在する保護ガラス面上に水滴が付着することで視野が妨害され、明瞭な画像を得ることができないという問題が生じる（図1）。

このようなガラス面上に付着した水滴などの妨害物を取り除く方法としては、一般的にワイパーが用いられる。しかし、ワイパーをカメラに取り付けるのは困難なことが多く、仮にワイパーを装着できたとしても、ワイパーの動作時にそれ自体が視野を妨害するという問題もある。



図1 水滴による視野妨害の例

上述の物理的に妨害物を取り除くアプローチに対し、ソフトウェア的に画像処理の技術を用いることで、悪天候時に撮影した画像からノイズを取り除く手法も数多く提案されている。この中には、時間メディアンフィルタを用いて降雪ノイズを除去する手法[1]や、雨の物理モデルを用いて降雨ノイズを除去する手法[2]などもある。しかし、これらの手法は共に視野内を移

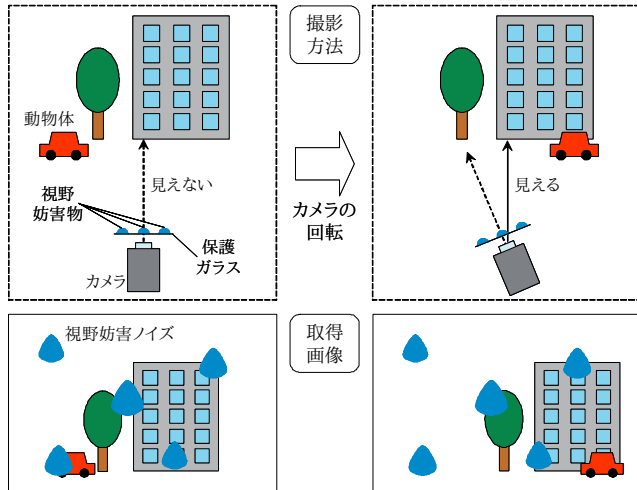


図2 画像取得

動する雪や雨を対象としたものであり、これらが保護ガラス面上に付着、静止することで発生するノイズを除去することができない。

これらの手法に対し、我々はレンズ保護ガラス面上の静止した視野妨害ノイズを検出・除去することが可能な手法を提案した[3]。この手法では、カメラを回転させて2枚の画像を取得し、比較を行うことでノイズの検出・除去を行う。しかし、2枚の画像で同じ場所がノイズにより隠れた場合、除去することができないという問題がある。

また、本手法と同じく時空間画像処理を用いて画像から遮蔽物を取り除く手法も提案されている[4]。この手法では、プラント設備内に設置したレール上でカメラを並進させて画像を取得し、得られた時空間断面画像上における軌跡の傾きから遮蔽物を判別する。このため、視差の影響を受けにくい遠景画像が対象の場合、レンズ保護ガラス面上の妨害物を判別することが困難である。

そこで本研究では、1台のカメラを回転させて連続的に取得した複数の画像に対し、時空間画像処理を施すことにより視野妨害ノイズの検出・除去を行い、明瞭化された画像を得ることを目的とする。なお、使用するカメラとしては、サーベイランス用途でよく使われる首振りカメラを用いる。

2. 視野妨害ノイズ除去

2.1. 画像取得

レンズ保護ガラス面上に視野妨害物が付着したカメラを、レンズ中心を中心として、撮影中に回転させて画像を取得する。カメラの回転により、撮影シーンはそれに伴って移動するが、保護ガラス面上に付着した妨害物は画像上で常に同じ場所に撮影されるため、カメラ回転前に妨害物で隠れていた被写体が姿

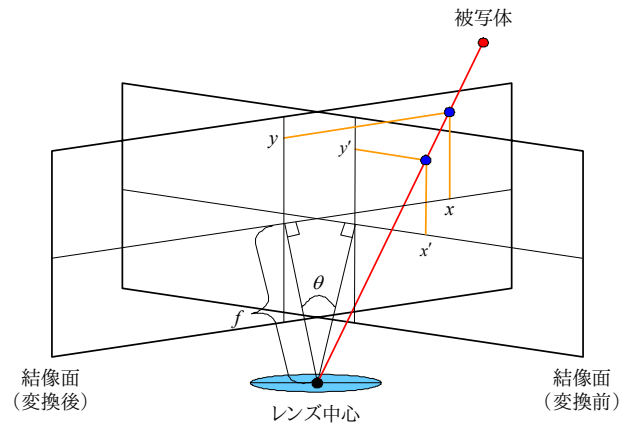


図3 投影変換

を現す(図2)。

2.2. 位置合わせ

2.2.1. 投影変換

取得した全ての画像に対して歪み補正を行った後、投影変換を用いてカメラ回転後に得られた画像を変換することで、撮影シーンの位置合わせを行う。

レンズへの入射角が大きくなると、結像条件が変化することにより歪曲収差が生じる。本手法では、次に述べる投影変換による位置合わせを正確に行う必要があるため、歪み補正を行う。ここでは Weng らのレンズ歪みモデル[5]のうち、radial 歪みを考える。

次に、あるフレームに撮影された画像を基準画像とし、レンズ中心を回転中心とした投影変換を行う。投影変換により、得られた全ての画像を基準画像と同じシーンの画像に位置合わせをすることができる。像距離(レンズ中心から結像面までの距離)を f 、カメラの回転角度(反時計回りを正の方向)を θ 、投影変換前の画像中の座標を (x', y') とすると、投影変換後の座標 (x, y) は(1)式、(2)式で表される(図3)。

$$x = f \frac{f \tan \theta + x'}{f - x' \tan \theta} \quad (1)$$

$$y = f \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{f - x' \tan \theta} y' \quad (2)$$

2.2.2. カメラの回転角度推定

2.2.1 項で述べた投影変換では、レンズ中心と回転中心が厳密に一致することを求められる。しかし、実際には両者の間にズレが生じることも多い。このため、カメラに送った指令信号通りの回転角度を用いても、正確に位置合わせを行うことができない場合がある。

そこで、取得した画像から最適なカメラ回転角度を求める。具体的な方法としては、文献[6]の手法を用いて画像からオプティカルフローを算出し、その値を基

に撮影シーンが最も一致する角度を探索的に求める。

2.3. 時空間断面画像の作成

取得した全ての画像に対して投影変換を行った後、それらを時系列順に並べると、図4に示すような時空間画像 $I(x,y,t)$ として表すことができる。時空間画像は、走査線に沿ったある面で断面を切り出すことができる。図5は、図4に示した時空間画像を $y=y_1$ に沿って切り出したときの時空間断面画像である。ここで、時空間断面画像を $S(x,t)$ と置くと、 $S(x,t)=I(x,y_1,t)$ となる。

$S(x,t)$ において、被写体の軌跡は投影変換による位置合わせにより、時間軸に対して平行な直線となる。一方、カメラと共に移動する視野妨害物の軌跡は、投影変換により(1)式、(2)式で表される曲線となる。また、撮影シーンに動物体が存在する場合、その軌跡は動物体固有のものとなる。

2.4. 視野妨害ノイズの検出

時空間断面画像 $S(x,t)$ での被写体の軌跡上の画素値から、時間軸方向についての中央値を求める。その後、軌跡上の画素値を求めた中央値に置き換えることで、中央値画像 $M(x,t)$ を作成する（図6）。視野妨害ノイズの面積は被写体の面積に比べて小さいため、 $M(x,t)$ は視野妨害ノイズが消えた画像となる。しかし、図5に示した $S(x,t)$ の場合、動物体の軌跡も視野妨害ノイズと同様に $M(x,t)$ から姿を消す。このため、以降で述べる方法で視野妨害ノイズのみを検出し、検出したノイズ領域に対してのみ除去処理を行う必要がある。

まず、時空間断面画像 $S(x,t)$ と中央値画像 $M(x,t)$ の差分を取る。これにより得られる差分画像 $D(x,t)$ は、(3)式で表される。 $M(x,t)$ は視野妨害ノイズ、動物体が消えた画像であるため、これらの領域では $S(x,t)$ と $M(x,t)$ との差が大きくなるのに対し、被写体領域では差が小さくなる（図7）。

$$D(x,t) = |S(x,t) - M(x,t)| \quad (3)$$

次に、差分画像 $D(x,t)$ に対し、(4)式に示すように閾値 T_b より大きい画素を $B(x,t)=1$ 、小さい画素を $B(x,t)=0$ として、2値画像 $B(x,t)$ を作成する（図8）。

$$B(x,t) = \begin{cases} 0, & D(x,t) < T_b \\ 1, & D(x,t) \geq T_b \end{cases} \quad (4)$$

作成した2値画像 $B(x,t)$ を用いて視野妨害ノイズを検出する。視野妨害物の軌跡は(1)式、(2)式で表される曲線となるため、この曲線上の $B(x,t)=1$ となる画素数を加算し、その個数が閾値 T_n より大きい場所を視野妨害ノイズ領域として検出する。(1)式、(2)式の曲線上のみで加算を行うため、図8で示される動物体領域中の $B(x,t)=1$ となる画素による視野妨害ノイズの誤検出を低減することができる。また、視野妨害ノイズは撮影

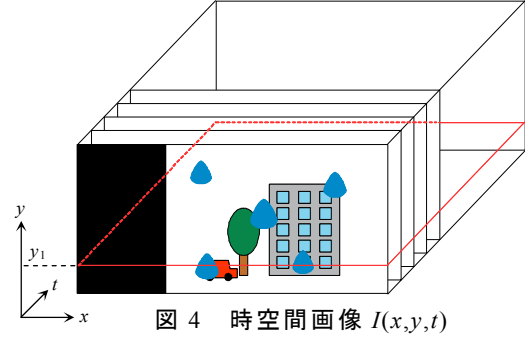


図4 時空間画像 $I(x,y,t)$

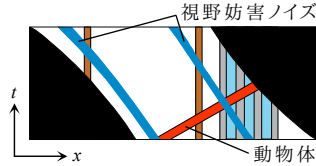


図5 断面画像 $S(x,t)$

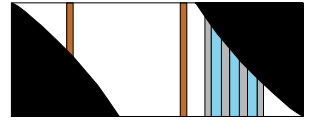


図6 中央値画像 $M(x,t)$

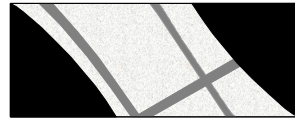


図7 差分画像 $D(x,t)$



図8 2値画像 $B(x,t)$

シーンの位置合わせのために行った投影変換により、 y 軸方向に(2)式で示される変位が発生するため、時間の経過に伴い同一の断面画像上に存在しなくなる。このため、視野妨害ノイズを検出するときには、視野妨害物の軌跡上の画素のみに注目する必要があるため、(2)式による y 軸方向の変位を考慮し、複数の時空間断面画像に渡り $B(x,t)=1$ となる画素数を加算する。以上の処理を、全ての断面画像に対して行う。

2.5. 視野妨害ノイズの除去

検出した視野妨害ノイズ領域に対し、時空間断面画像上で画像修復処理を施すことにより、ノイズの除去を行う。

本手法では、画像修復手法として文献[7]で提案されている手法を用いる。この手法は、画像を Structure 画像と Texture 画像の2つに分解し、それぞれの画像に対して Image Inpainting アルゴリズム、Texture Synthesis アルゴリズムを適用することで、画像情報の欠落した領域（視野妨害ノイズ領域）の補間を行う。ここで、Structure 画像とは、画像から大まかな構造を抽出したものであり、Texture 画像とは、その他の細かいテクスチャや微小なノイズを含んだものである。画像を分解した後、それぞれの画像に対して別々のアルゴリズムを用いることで、例えば Image Inpainting アルゴリズムが不得意とする細かいテクスチャパターンの再現性が高いといった利点が見られる。なお、画像分解、Image Inpainting アルゴリズム、Texture Synthesis アルゴリズムとしては、それぞれ文献[8]、[9]、[10]で

提案されている手法を用いる。

3. 実験

画像を撮影する前に、格子パターンを用いてカメラのキャリブレーションを行った。その結果、画像サイズが 360×240 pixels において、像距離 $f=261$ pixel 相当であった。

視野妨害ノイズ（水滴）の除去を行った結果について、図 9 に示す。なお、撮影フレーム数は 60 フレーム（毎秒 30 フレーム）である。次に、水滴検出結果について図 10 に示す。検出に必要なパラメータについては $T_b=40$, $T_n=12$ と設定した。図 10(a)は、画像からカメラ回転角度を推定したときの結果である。回転角度に指令信号を用いた場合（同図(b)）と比べ、ノイズの誤検出を若干ではあるが減らすことができている。

今回の実験では、撮影シーンに動物体が存在する画像から水滴を除去した。時空間断面画像上で画像修復処理を行うことにより、水滴で隠れていた動物体をより正確に再現することが可能となっている。



図 9 水滴除去結果

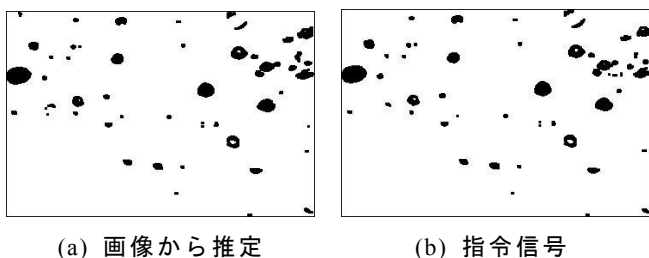


図 10 水滴検出結果

4. 結論

本論文では、カメラを回転させて取得した画像に対して時空間画像処理を行うことにより、画像中から視野を妨害するノイズを除去する手法について提案した。具体的には、レンズ保護ガラスと一体となって回転する首振りカメラを用いて撮影を行い、得られた時空間断面画像上での軌跡の違いから視野妨害ノイズを検出し、その領域に対して画像修復処理を行った。また、カメラ回転角度を画像から推定することで、より正確に処理を行うことが可能となった。

今後の課題としては、視野妨害ノイズ検出の際に利用する各種パラメータの自動設定などが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクトの補助を受けた。

文 献

- [1] 三宅一永, 米田政明, 長谷博行, 酒井充, 丸山博 : “時間メディアンフィルタによる降雪ノイズ除去”, 画像電子学会誌, 30, 3, pp.251-259 (2001)
- [2] K. Garg and S. K. Nayar : “Detection and Removal of Rain from Videos”, Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1, pp.528-535 (2004)
- [3] A. Yamashita, T. Harada, T. Kaneko and K. T. Miura : “Virtual Wiper -Removal of Adherent Noises from Images of Dynamic Scenes by Using a Pan-Tilt Camera-”, Advanced Robotics, 19, 3, pp.295-310 (2005)
- [4] 羽下哲司, 鷺見和彦, 橋本学, 関明伸, 黒田伸一 : “時空間画像処理による注目距離対象の強調に基づいた遠隔監視システム”, 電子情報通信学会技術報告(PRMU97-126), pp.41-46 (1997)
- [5] J. Weng, P. Cohen and M. Herniou : “Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14, 10, pp.965-980 (1992)
- [6] B. D. Lucas and T. Kanade : “An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision”, Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.674-679 (1981)
- [7] M. Bertalmio, L. Vesa, G. Sapiro and S. Osher : “Simultaneous Structure and Texture Image Inpainting”, IEEE Transactions on Image Processing, 12, 8, pp.882-889 (2003)
- [8] L. I. Rudin, S. Osher and E. Fatemi : “Nonlinear Total Variation Based Noise Removal Algorithms”, Physica D, 60, pp.259-268 (1992)
- [9] A. Telea : “An Image Inpainting Technique Based on the Fast Marching Method”, Journal of Graphics Tools, 9, 1, pp.23-34 (2004)
- [10] A. A. Efros and T. K. Leung : “Texture Synthesis by Non-parametric Sampling”, Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision, 2, pp.1033-1038 (1999)