

# 時空間画像処理による動画像からの視野妨害ノイズ除去

福地 功      山下 淳      金子 透

静岡大学工学部機械工学科

〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

**あらまし** 本論文では、レンズ保護ガラス面上に視野妨害物が付着することで視野が妨害された動画像に対し時空間画像処理を施すことにより、動画像から視野妨害ノイズを除去する手法を提案する。屋外環境下においては、カメラにより得られた画像はレンズ保護ガラス面上に水滴のような視野妨害物が付着することにより視野が妨害されることがある。この問題を解決するために、本手法では移動するカメラにより撮影された動画像を利用する。具体的には、取得した動画像を時空間画像として扱い、時空間断面画像上で視野妨害ノイズとその他の被写体との間における軌跡の違いに注目することで視野妨害ノイズ領域を検出する。最後に、検出した視野妨害ノイズ領域を被写体領域の画像情報に置き換えることで視野妨害ノイズを除去する。実験結果より、本手法の有効性が確認された。

## Removal of Adherent Noises from Image Sequences by Spatio-Temporal Image Processing

Isao Fukuchi    Atsushi YAMASHITA    Toru KANEKO

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

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

**Abstract** This paper describes a method for removing adherent noises from image sequences. In outdoor environments, 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. To solve this problem, our method takes advantage of image sequences captured with a moving camera. The method makes a spatio-temporal image to extract the regions of adherent noises by examining differences of track slopes in cross section images between adherent noises and other objects. Finally, regions of adherent noises are eliminated by replacing with image data corresponding to object regions. Experimental results show the effectiveness of our method.

### 1. はじめに

屋外に設置されたカメラは、交通状況の確認や犯罪の予防、犯罪危惧感の減少、犯罪後の捜査における手がかりを得るといった用途等で広く用いられている。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。特に降雨時における撮影では、カメラを保護するレンズ保護ガラス面上に水滴が付着することにより視野が妨害され、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)。



図1 水滴による視野妨害

画像中の視野妨害ノイズを除去する手法として、プロの絵画修復技師の技能をまねた画像修復手法[1]がある。この手法は周囲と相関性の高い部分の再現性は良いが、不規則なテクスチャパターンに対する再現性が悪いという性質がある。同様の問題は画像のフラクタル性を利用した画像復元手法[2]にも当てはまり、これらの手法は大きな視野妨害ノイズへの適応性が悪いという特徴もある。これらに対し、テクスチャパターンの再現性が高い手法[3]や、激しく揺れる動画像の安定化技術、具体的には局所的に近隣フレームの画像情報を並べることにより欠落した画像情報を埋めることで、動画像から視野妨害ノイズを除去する手法[4]が提案されているが、視野妨害ノイズの位置を人間が逐次指定する必要があるため、自動作業には適していない。これとは逆に、人間が逐次指定する必要のない手法としては、降雪ノイズ除去における時間メディアンフィルタを用いる手法[5]や、雨の物理モデルを作成し利用することによる降雨ノイズ除去手法[6]が提案されている。しかし、これらは共に視野内を移動する雪・雨を対象としたものであり、これらがレンズ保護ガラス面上に付着した視野妨害ノイズを除去することができない。

これらに対して、レンズ保護ガラス面上に付着した水滴を検出・除去することが可能なものとしては、2台のカメラを使用する手法[7]が提案されている。この手法は2台のカメラにより取得した2枚の画像に対し、正規化相互相関によるテンプレートマッチングを行うことで視野妨害ノイズを検出する。しかし、2枚の画像だけでは水滴の見え方に差が生まれたとき正しく対応点を得ることが難しく、視野妨害ノイズを検出・除去することができない場合がある。

そこで本論文では、複数の静止画像の集合である動画像を利用することでこの問題を解決し、動画像からの視野妨害ノイズ除去を目的とする。具体的には、レンズ保護ガラス面上に視野妨害物が付着した状態でカメラを移動させながら撮影した画像を対象としており、動画像を時空間画像として扱うことで、視野妨害物と被写体の間における軌跡の違いに注目し、視野妨害ノイズを検出・除去する。

## 2. 視野妨害ノイズ除去の原理

### 2.1 概要

カメラを撮影中移動させることにより、撮影シーンはそれに伴って移動するが、レンズ保護ガラス面上に付着した視野妨害物は画像中で常に同

じ場所に撮影され、視野妨害物で隠れていた被写体が姿を現す。そこで時空間断面画像上において視野妨害ノイズ領域を検出し、検出された視野妨害ノイズ領域に対し、被写体の画像情報を用いて置き換えることにより画像を明瞭化する。

### 2.2 動画像取得

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、撮影中移動させることで動画像を取得する。カメラの移動としては、並進運動(図2(a))と、回転運動(図2(b))の2種類について考える。ただし並進運動の場合、被写体は視差を考慮する必要のないもの(奥行きが均一な対象または遠景)とする。

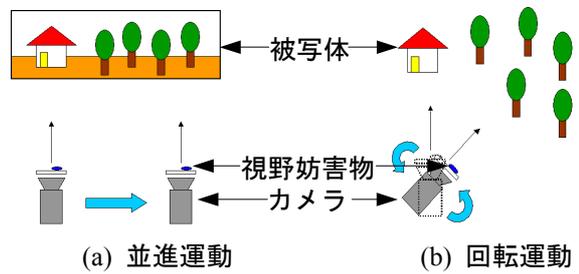


図2 動画像取得

### 2.3 歪曲収差補正

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結像位置がずれる歪曲収差が生じる。歪曲収差補正後の画像面上の座標を $(u, v)$ 、補正前の画像面上の座標を $(u_0, v_0)$ とすると、(1)式、(2)式が成り立つ。

$$u = \frac{2u_0}{1 + \sqrt{1 - 4\kappa(u_0^2 + v_0^2)}} \quad (1)$$

$$v = \frac{2v_0}{1 + \sqrt{1 - 4\kappa(u_0^2 + v_0^2)}} \quad (2)$$

### 2.4 投影変換

カメラが回転する場合については、レンズ中心を回転中心とした投影変換を行い、回転後に取得した画像を回転前に取得した基準画像と同じシーンの画像にする。カメラの回転角を $\theta$ 、像距離(レンズ中心から結像面までの距離)を $f$ 、投影変換前の画像中の座標を $(\tilde{u}, \tilde{v})$ とすると、投影変換後の座標 $(u, v)$ は(3)式、(4)式で表される(図3)。

$$u = f \frac{f \tan \theta + \tilde{u}}{f - \tilde{u} \tan \theta} \quad (3)$$

$$v = f \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{f - \tilde{u} \tan \theta} \tilde{v} \quad (4)$$

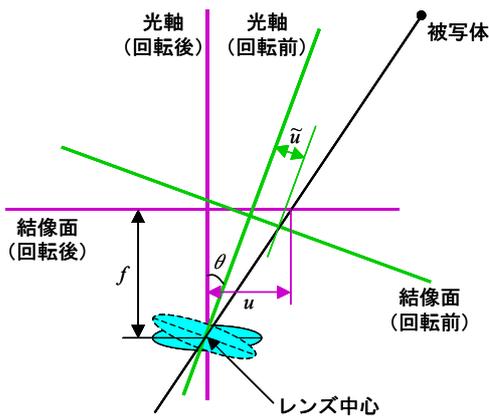


図3 投影変換

## 2.5 時空間断面画像の作成

取得した動画は図4に示すような時空間画像  $I(u,v,t)$  として表すことができる。時空間画像とは時系列画像を撮影順に積み重ねた3次元画像のことであり、ある面で断面を切り出すことができる。

図5は、カメラが走査線に対して平行に等速並進運動したときの時空間画像を  $v=v_1$  に沿って切り出した断面画像を模式的に示したものである。

(図6, 7も同様にカメラが走査線に対して平行に等速並進運動した場合)。ここで断面画像を  $S(u,t)$  と表すと、 $S(u,t)=I(u,v_1,t)$  となる。断面画像  $S(u,t)$  において、視野妨害ノイズの軌跡はカメラと共に移動するため時間軸に対して傾かないが、被写体の軌跡はカメラの移動により時間軸に対して傾く。カメラが等速並進運動するとき、被写体は視差を考慮する必要のないものを前提としているため、被写体の軌跡の傾きは一定となる。

本論文では、並進運動については、カメラの移動情報を未知としており、断面画像上から被写体の軌跡を求める。回転運動については、カメラの移動情報を既知としており、2.4節における投影変換による位置合わせにより、被写体の軌跡は時間軸に対して平行な直線となる。

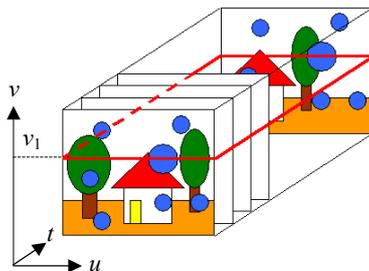


図4 時空間画像

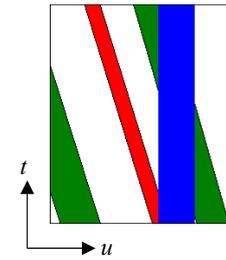


図5 時空間断面画像

## 2.6 視野妨害ノイズの検出

### 2.6.1 中央値画像の作成

断面画像上での被写体の軌跡上の画素値から中央値を求める。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  $M(u,t)$  を作成する(図6)。視野妨害ノイズ面積が被写体面積に比べ十分小さい場合、 $M(u,t)$  は視野妨害ノイズが消えた画像となる。

### 2.6.2 差分画像の作成

断面画像  $S(u,t)$  と中央値画像  $M(u,t)$  の差分を取る。これにより得られた差分画像  $D(u,t)$  は(5)式で表される。 $M(u,t)$  は視野妨害ノイズが消えた画像であるため、視野妨害ノイズ領域では両者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)。

$$D(u,t) = |S(u,t) - M(u,t)| \quad (5)$$

### 2.6.3 視野妨害ノイズの検出

差分画像  $D(u,t)$  に対し、(6)式に示すように閾値  $T_0$  より大きい画素を  $H(u,t)=1$ 、小さい画素を  $H(u,t)=0$  として2値画像  $H(u,t)$  を作成する(図8)。

$$H(u,t) = \begin{cases} 0, & D(u,t) < T_0 \\ 1, & D(u,t) \geq T_0 \end{cases} \quad (6)$$

次に  $H(u,t)$  を用いて視野妨害ノイズを検出する。カメラが並進する場合、視野妨害ノイズの軌跡は時間軸に対して平行となるため(図5)、時間軸方向で  $H(u,t)=1$  となる画素数を加算する。カメラが回転する場合、視野妨害ノイズの軌跡は投影変換により曲線となる。この曲線は(3)式、(4)式により求めるため、この曲線上で  $H(u,t)=1$  となる画素数を加算する。加算した黒画素の個数が閾値  $N$  を超える場所を視野妨害ノイズ領域として検出する。

しかし、差分画像だけでは中央値と視野妨害ノイズ領域における画素値が近い場合、差が小さくなり視野妨害ノイズの検出が難しい。そこで予め断面画像  $S(u,t)$  において  $u$  を中心として時間軸方

向に幅  $u_{range}$  の領域で画素値の分散を計算し、分散が  $V$  より小さい領域に対しては閾値を  $T_1 (< T_0)$  に設定する.  $u$  を変化させ領域を移動させる際、近接する領域はそれぞれ互いに重なり合うようにする. これにより視野妨害ノイズ領域を正確に抽出することができ、視野妨害ノイズの検出精度を高めることができる.

全ての走査線  $v$  に対して、 $S(u,t)$  で視野妨害ノイズを調べた後、元の画像の形態に戻したノイズ検出画像  $R(u,v)$  を作成する (図 9).

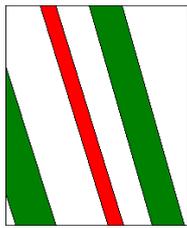


図 6 中央値画像  $M(u,t)$  図 7 差分画像  $D(u,t)$

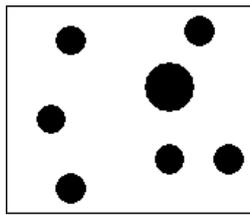
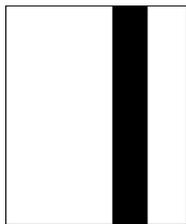


図 8 2値画像  $H(u,t)$  図 9 ノイズ検出画像  $R(u,v)$

## 2.7 視野妨害ノイズの除去

検出した視野妨害ノイズ領域の画素値を被写体領域から求めた中央値に置き換えることで、断面画像から視野妨害ノイズを除去する. このとき、視野妨害ノイズ領域の誤検出により発生したノイズに対し、収縮処理を  $M_1$  回行うことでこれを除く. また、収縮処理により小さくなった視野妨害ノイズ領域を拡げるため膨張処理を  $M_2$  回行う.

全ての断面画像から視野妨害ノイズを除去した後、断面画像を元の画像の形態に戻すことで、視野を明瞭にした動画像を得ることができる.

## 2.8 境界領域の補正

視野妨害ノイズ領域を検出し、その領域の画素値を中央値に置き換えるだけでは、視野妨害ノイズ除去後の時空間画像に視覚的に不自然な領域が残る. 原理的には、断面画像における被写体の軌跡上では同じ画素値が連なり、その軌跡上で求めた中央値を用いて視野妨害ノイズ領域の画素値を置き換えることにより視覚的に不自然な画像になることはない. しかし実際には標準化やカ

メラの移動誤差等の原因により、被写体の軌跡上に常に同じ画素値が連なるとは限らない.

そこで検出された視野妨害ノイズ領域の輪郭画素から距離  $C$  (4 近傍) 以内の外周領域を境界領域  $B(u,t)$  とし、その領域の画素値に対しては中央値と元の被写体の画素値をある割合  $k$  で足し合わせたものにする. このとき  $B(u,t)$  は(7)式で表される.

$$B(u,t) = (1 - k(d)) \times M(u,t) + k(d) \times S(u,t) \quad (7)$$

ここで  $k(d)$  は視野妨害ノイズ領域からの距離  $d$  に応じて滑らかに変化する係数であり、(8)式で与えることとする.

$$k(d) = -\frac{2}{C^3}d^3 + \frac{3}{C^2}d^2 \quad (0 \leq d \leq C) \quad (8)$$

境界領域の補正により、視野妨害ノイズ領域と被写体領域の間で視覚的に自然な画像を得ることができる.

## 3. 実験

撮影時間はカメラの並進・回転共に 16 秒 (480 フレーム) である.

### 3.1 カメラの並進運動による除去

撮影した画像サイズは  $640 \times 480$  画素である. 被写体は、風景を撮影した写真を平面状の板に貼り付けてカメラに対して平行に置いたものである.

まず、レンズ保護ガラス面上に水滴が付着した場合について記す.

取得した動画像に対し、歪曲収差補正を施した画像を図 10 に示す. 例として図 10 の中央付近に水平に引いたライン ( $v=245$ ) での断面画像  $S(u,t)$  を図 11 に示す. このラインにおける  $S(u,t)$  をグレースケール化した画像を図 12, 中央値画像  $M(u,t)$  を図 13, 差分画像  $D(u,t)$  を図 14, 2 値画像  $H(u,t)$  を図 15, 検出した視野妨害ノイズを図 16, 視野妨害ノイズ除去後の断面画像を図 17 にそれぞれ示す. また、ノイズ検出画像  $R(u,v)$  を図 18, 視野妨害ノイズの除去結果を図 19 に示す. なお、視野妨害ノイズ除去に必要なパラメータを  $T_0=9$ ,  $T_1=T_0/4$ ,  $N=400$ ,  $C=15$ ,  $M_1=3$ ,  $M_2=6$ ,  $u_{range}=10$ ,  $V=30$  と設定した.

目視により判定した視野妨害ノイズは全体で 18 個あり、除去結果から、その全ての位置を検出・除去することができた.

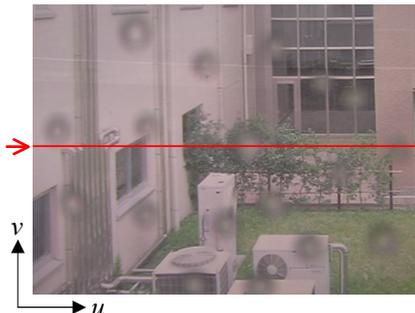


図 10 取得画像  $I(u,v,t)$



図 15 2値画像  $H(u,t)$

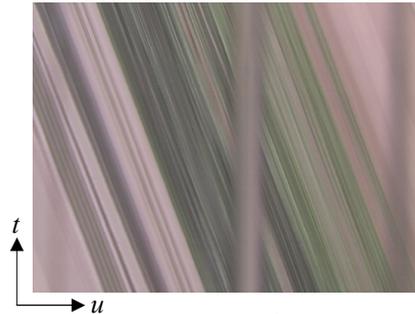


図 11 断面画像  $S(u,t)$

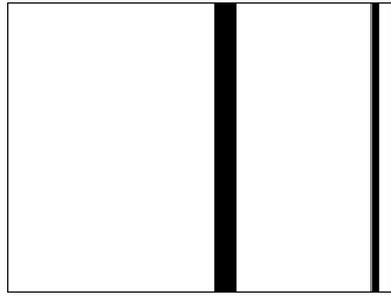


図 16 視野妨害ノイズ

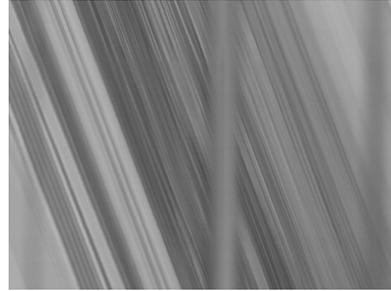


図 12 断面画像

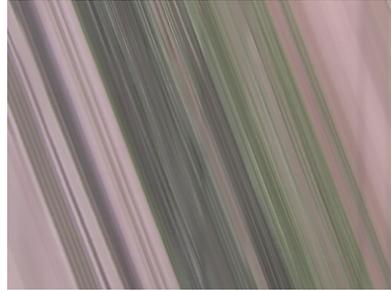


図 17 ノイズ除去後の断面画像

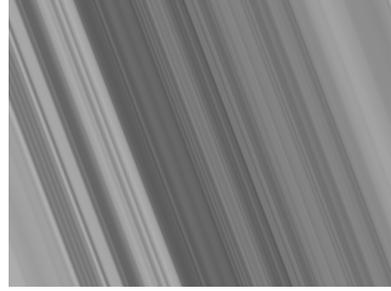


図 13 中央値画像  $M(u,t)$

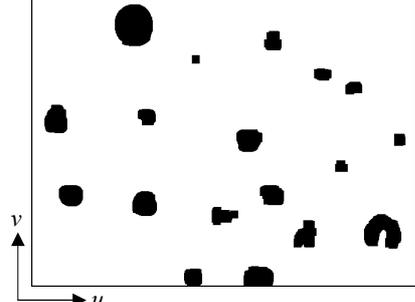


図 18 ノイズ検出画像  $R(u,v)$



図 14 差分画像  $D(u,t)$

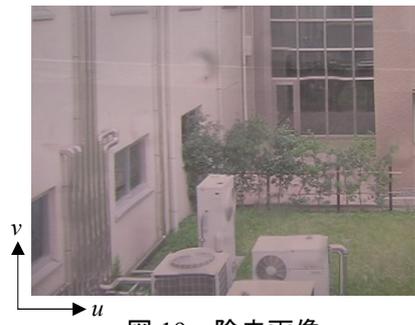


図 19 除去画像

次に、レンズ保護ガラス面上に泥が付着した場合について、視野妨害ノイズの除去を行った結果を図 20 に示す。図 20(a)が取得画像、図 20(b)が除去画像である。また、ノイズ検出画像  $R(u,v)$  を図 21 に示す。なお、視野妨害ノイズ除去に必要なパラメータは水滴の場合と同じに設定した。

目視により判定した視野妨害ノイズは全体で 8 個あり、除去結果から、その全ての位置を検出・除去することができた。



(a) 取得画像 (b) 除去画像  
図 20 除去結果

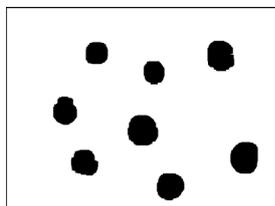


図 21 ノイズ検出画像  $R(u,v)$

### 3.2 カメラの回転運動による除去

撮影した画像サイズは  $720 \times 480$  画素である。

まず、レンズ保護ガラス面上に泥が付着した場合について記す。

取得した動画像に対し、歪曲収差補正を施した

画像を図 22 に示す。フレーム毎のカメラの回転角は  $1.127 \times 10^{-3} \text{rad}$ 、像距離は 586 画素相当である。取得した画像に対して、レンズ中心を回転中心とした投影変換を行った結果を図 23 に示す。例として、図 23 の中央付近に水平に引いたライン ( $v=230$ ) での断面画像を図 24 に示す。このラインにおける  $S(u,t)$  をグレースケール化した画像を図 25、中央値画像  $M(u,t)$  を図 26、差分画像  $D(u,t)$  を図 27、2 値画像  $H(u,t)$  を図 28、検出した視野妨害ノイズを図 29、視野妨害ノイズ除去後の断面画像を図 30 にそれぞれ示す。また、ノイズ検出画像  $R(u,v)$  を図 31、視野妨害ノイズの除去結果を図 32 に示す。なお、視野妨害ノイズ除去に必要なパラメータを  $T_0=25$ ,  $N=300$ ,  $C=20$ ,  $M_1=3$ ,  $M_2=3$  と設定した。

目視により判定した視野妨害ノイズは全体で 20 個あり、除去結果から、その全ての位置を検出・除去することができた。

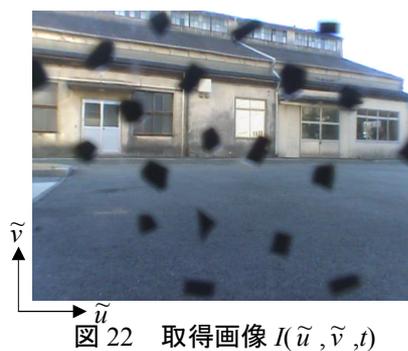


図 22 取得画像  $I(\tilde{u}, \tilde{v}, t)$



図 23 取得画像 (投影変換後)

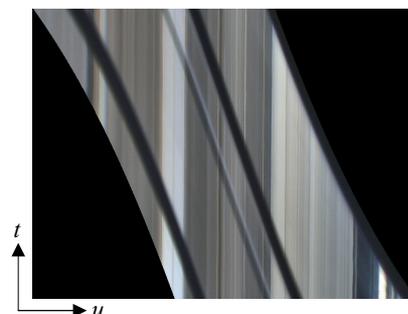


図 24 断面画像  $S(u,t)$

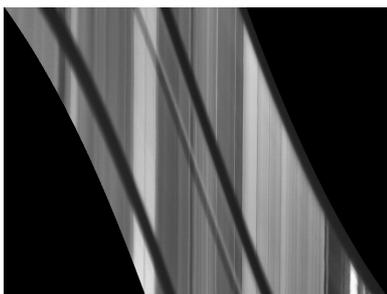


図 25 断面画像

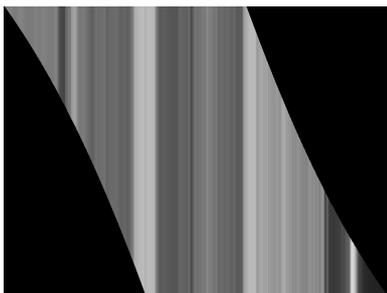


図 26 中央値画像  $M(u,t)$



図 27 差分画像  $D(u,t)$



図 28 2 値画像  $H(u,t)$



図 29 視野妨害ノイズ

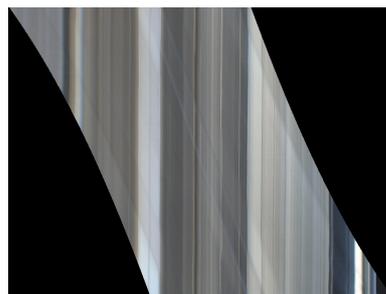


図 30 ノイズ除去後の断面画像

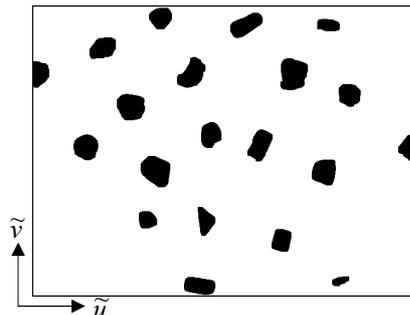


図 31 ノイズ検出画像  $R(\tilde{u}, \tilde{v})$



図 32 除去画像

次に、レンズ保護ガラス面上に水滴が付着した場合について、視野妨害ノイズの除去を行った結果を図 33 に示す。図 33(a) が取得画像、図 33(b) が除去画像である。また、ノイズ検出画像  $R(u,v)$  を図 34 に示す。なお、視野妨害ノイズ除去に必要なパラメータを  $T_0=10$ ,  $N=400$ ,  $C=20$ ,  $M_1=1$ ,  $M_2=10$  と設定した。

目視により判定した視野妨害ノイズは全体で 17 個あり、除去結果から、その内の 15 個の位置を検出・除去することができた。検出できなかった 2 個の視野妨害ノイズについては共に画像端に位置しており、これは(4)式で示した投影変換を行うことで、レンズ保護ガラス面上に付着している視野妨害物の  $v$  軸方向における位置が画像端になる程大きくずれるためである。



(a) 取得画像 (b) 除去画像  
図 33 除去結果

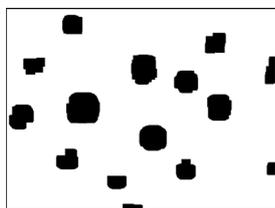


図 34 ノイズ検出画像  $R(u,v)$

視野妨害物が水滴の場合、水滴の中心部分において背後にある被写体の色が透けて映ることにより、差分画像において視野妨害ノイズ領域と被写体領域の間に明確な差が生まれず検出が困難となるが、断面画像において分散を考慮することにより、視野妨害ノイズの検出精度を高め、目視により判定した視野妨害ノイズの大多数を検出することが可能となった。

#### 4. むすび

時空間画像処理を用いることにより、動画像から視野妨害ノイズを検出・除去する手法について検討した。時空間画像の断面画像上における視野妨害ノイズと被写体の軌跡の違いに着目するこ

とで、画像中における視野妨害ノイズを検出・除去することが可能となった。

今後の課題としては、撮影シーンに動物物が存在する際の対応等が挙げられる。

#### 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。

#### 参考文献

- [1] M.Bertalmio, G.Sapiro, V.Caselles and C.Ballester: “Image Inpainting”, Proceedings of SIGGRAPH2000, pp.417-424, 2000.
- [2] 木幡恭久, 剣持雪子, 小谷一孔: “画像のフラクタル性を活用した局所的な画像推定法による画像復元手法” 電子情報通信学会技術報告 (PRMU2002-126), Vol.102, No.471, pp.37-42, 2002.
- [3] M.Bertalmio, L.Vesa, G.Sapiro and S.Osher: “Simultaneous Structure and Texture Image Inpainting”, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2, pp.707-712, 2003.
- [4] Y.Matsushita, E.Ofek, X.Tang and H.Y.Shum: “Full-frame Video Stabilization”, Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, pp.50-57, 2005.
- [5] 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, Vol30, No.3, pp.251-259, 2001.
- [6] 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, Vol.1, pp.528-535, 2004.
- [7] Y.Tanaka, A.Yamashita, T.Kaneko and K.T.Miura: “Restoration of Images Stained with Waterdrops on a Protection Glass Surface by Using a Stereo Image Pair”, Proceedings of IAPR Conference on Machine Vision Applications, pp.152-155, 2005.