

# 時空間画像処理を用いた雨天時画像からの水滴除去

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

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

**あらまし** 本論文では、テレビカメラによる風景撮影時にレンズ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た画像に対し、時空間画像処理を施すことにより水滴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等の視野妨害物が付着することで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、本手法ではレンズ保護ガラスと一体となった1台のカメラを回転させ画像を取得する。次に、取得した画像を時空間画像として扱い、時空間断面画像上で水滴と被写体との間における軌跡の違いに着目することで水滴領域を検出する。最後に、検出した水滴領域を被写体領域の画像情報に置き換えることで水滴を除去する。実験結果より、本手法の有効性が確認された。

**キーワード** 水滴除去, 時空間画像処理, 時空間断面画像

## 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。特に雨天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]が提案されているが、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[4]や、雨の物理モデルを作成し用いることによる降雨ノイズ除去手法[5]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や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[6]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水滴を検出する。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、結果として水滴を検出・除去することができない場合がある。

そこで本手法では、複数の静止画像を時系列順に並べた動画画像を利用することでこの問題を解決し、画像から水滴を除去する。具体的には、レンズ保護ガラス面上に水滴が付着した状態でカメラを回転させ、その際に得られた画像を対象とする。取得した画像を時空間画像として扱い、水滴と被写体との間における軌跡の違いに着目することで水滴を検出・除去する。

## 2. 水滴除去の原理

### 2.1. 画像取得

レンズ保護ガラス面上に水滴が付着したカメラを、撮影中同等速に回転させ画像を取得する(図2)。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、レンズ保護ガラス面上に付着した水滴は画像中で常に同じ位置に撮影され、カメラの回転に伴って水滴で隠れていた被写体が姿を現す。

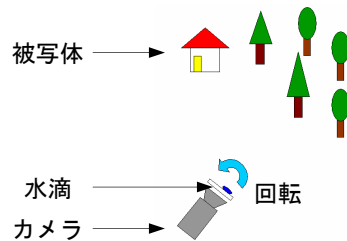


図2 画像取得

### 2.2. 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 $(u_0, v_0)$ 、歪曲収差補正のための係数を $\kappa$ とすると、(1)式、(2)式が成り立つ。

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

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

### 2.3. 投影変換

取得した画像の撮影シーンは、カメラの回転に伴い刻々と変化する。そこで、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することができる。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)。

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

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

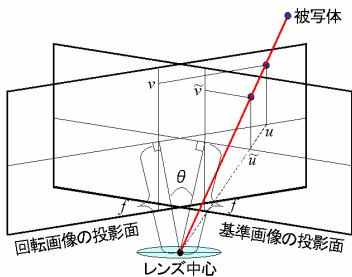


図3 投影変換

### 2.4. 時空間断面画像の作成

取得した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  $I(u, v, t)$  として表すことができる。ここで  $t$  はフレームである。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  $v=v_1$  に沿って切り出したときの断面画像である。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。 $S(u, t)$  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水滴の軌跡は投影変換により(3)式、(4)式で表される曲線となる。

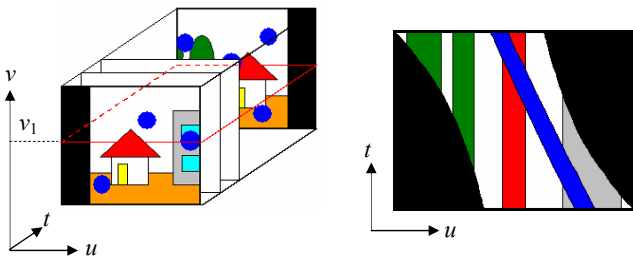


図4 時空間画像  $I(u, v, t)$

図5 時空間断面画像  $S(u, t)$

### 2.5. 水滴の検出

#### 2.5.1. 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  $M(u, t)$  を作成する (図6)。水滴の面積が被写体面積に比べ小さい場合、 $M(u, t)$  は水滴が消えた画像となる。

#### 2.5.2. 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。 $M(u, t)$  は水滴が消えた画像であるため、水滴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)。

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

#### 2.5.3. 水滴の検出

差分画像  $D(u, t)$  に対し、(6)式に示すように閾値  $T$  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)。この際、水滴は(4)式で示される投影変換により発生する  $v$  軸方向の変位のため、時間の経過により同一の断面画像上に存在しなくなる。このため  $H(u, t)$  を作成する際には、水滴が常に同一の断面画像上に存在するよう、(4)式による変位を考慮している。

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

次に、作成した  $H(u, t)$  を用いて水滴を検出する。水滴の軌跡は(3)式で示される曲線となるため、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  $N$  を超える場所を水滴領域として検出する。

全ての断面画像  $S(u, t)$  で水滴領域を調べた後、元の画像の形態に戻した水滴検出画像  $R(\tilde{u}, \tilde{v})$  を作成する (図9)。

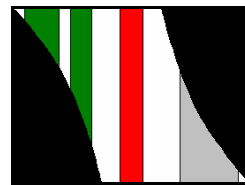


図6 中央値画像  $M(u, t)$

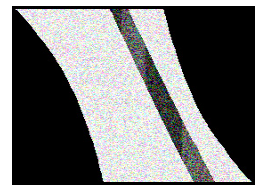


図7 差分画像  $D(u, t)$



図8 2値画像  $H(u, t)$

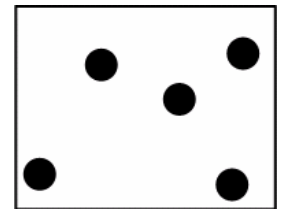


図9 水滴検出画像  $R(\tilde{u}, \tilde{v})$

### 2.6. 水滴の除去

検出した水滴領域を被写体領域の画像情報に置き換えることにより、断面画像  $S(u, t)$  から水滴を除去する。原理的には、

被写体の軌跡上では常に同じ画素値が連なり、その値を用いて水滴領域の画素値を置き換えることで水滴を除去することが可能である。しかし実際にはカメラの移動誤差やレンズ中心と回転中心のズレ、シェーディング等の原因から、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、フレーム間における被写体の画素値の変化率を最小二乗法により求め、得られた変化率から水滴領域における被写体の画素値を推定、除去する。

このとき、水滴領域の誤検出により発生したノイズに対し、収縮処理を複数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水滴領域を拡げるため膨張処理を複数回行う。

全ての  $S(u,t)$  から水滴を除去した後、元の画像の形態に戻すことで、水滴が除去された明瞭な画像を得ることができる。

### 2.7. 境界領域の補正

水滴領域を検出し、その領域の画素値を最小二乗法により推定した被写体の画素値に置き換えるだけでは、水滴除去後の画像に視覚的に不自然な領域が残る。最小二乗法により求めた画素値の変化率は、取得した全フレームを通しての変化率であるため、各フレーム毎に正確に対応してはいないからである。

そこで、検出された水滴領域の輪郭画素から距離  $A$  (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ついては推定した画素値と元の被写体の画素値をある割合  $c$  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。

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

ここで  $c(d)$  は水滴領域からの距離  $d$  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。

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

境界領域の補正により、水滴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

撮影時間は約 5 秒 (160 フレーム) であり、撮影した画像サイズは  $720 \times 480$  画素である。また、フレーム毎のカメラの回転角は  $1.489 \times 10^{-2} \text{rad}$ 、像距離は 586 画素相当である。水滴除去に必要なパラメータを  $T=10$ ,  $N=85$ ,  $A=15$ 、収縮処理回数を 2、膨張処理回数を 2 と設定した。

取得した画像 (60 フレーム目) に対して歪曲収差補正を施した画像を図 10 に示す。この画像に対し、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 11 に示す。投影変換の際の基準画像は 80 フレーム目の画像である。

次に、例として図 11 の中央付近に水平に引いたライン ( $v=250$ ) での断面画像  $S(u,t)$  を図 12 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 13、中央値画像  $M(u,t)$  を図 14、差分画像  $D(u,t)$  を図 15、投影変換を考慮した 2 値画像  $H(u,t)$  を図 16、水滴検出画像  $R(\tilde{u}, \tilde{v})$  を図 17、水滴除去後の断面画像を図 18 にそれぞれ示す。最後に、本手法を用いて水滴の除去をおこなった結果を図 19 に示す。



図 10 取得画像

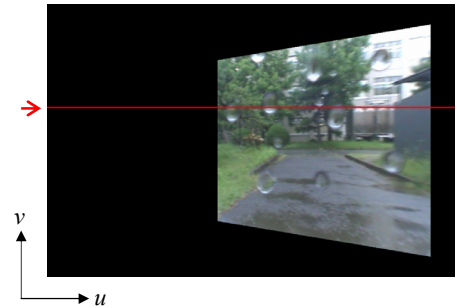


図 11 取得画像 (投影変換後)

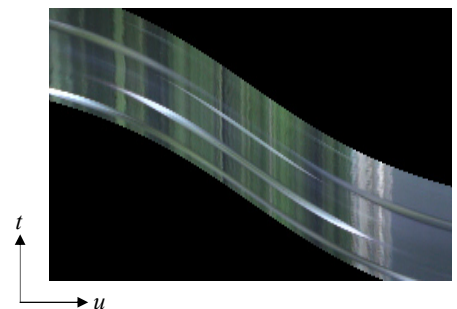


図 12 時空間断面画像  $S(u,t)$

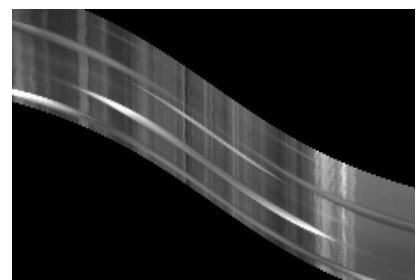


図 13 時空間断面画像 (グレースケール)

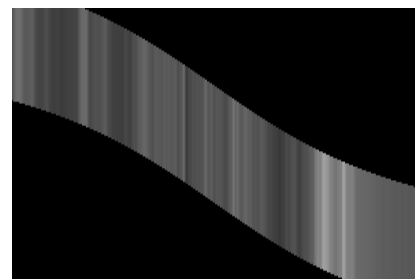


図 14 中央値画像  $M(u,t)$

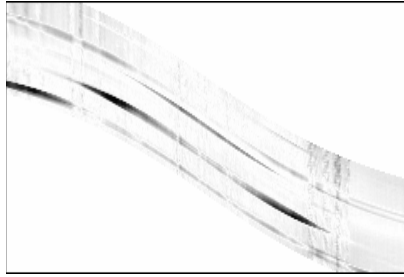


図 15 差分画像  $D(u,t)$

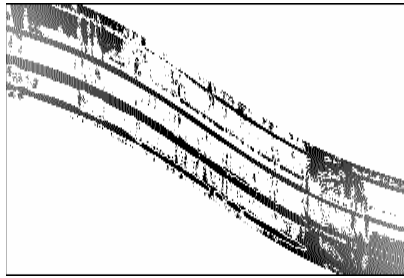


図 16 投影変換を考慮した 2 値画像  $H(u,t)$

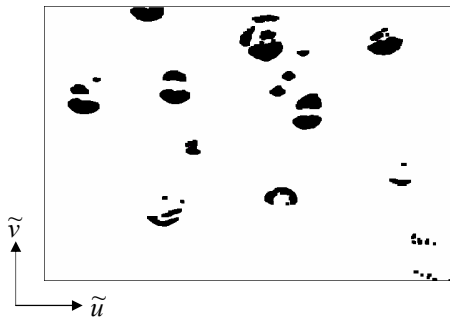


図 17 水滴検出画像  $R(\tilde{u}, \tilde{v})$

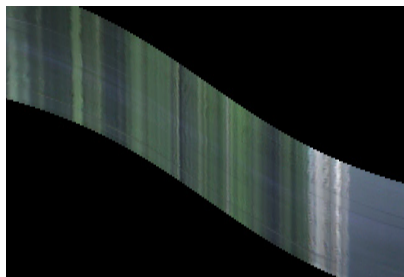


図 18 水滴除去後の時空間断面画像



図 19 除去画像

目視により判定した水滴は全部で 13 個あり，図 17 から，その全ての位置を検出できていることが分かる。

水滴の中心付近で検出できていない領域が存在する原因としては，水滴の背後に隠れている被写体の色が透けて映り込むことにより，差分画像において水滴領域と被写体領域の間に明確な差が生まれていないことが挙げられる。しかし実験結果から，大半の水滴領域は検出・除去されており，明瞭な画像を得ることができている。

#### 4. おわりに

時空間画像処理を用いることにより，画像から水滴を除去する手法について検討した。時空間断面画像上で水滴と被写体との間における軌跡の違いに着目することにより，画像中の水滴を検出・除去することが可能となった。

今後の課題としては，撮影シーンに人間等の動物体が存在する際の対応が挙げられる。また水滴除去の際，最小二乗法による画素値推定では，降雨が映り込むことにより発生する外れ値に脆弱であるため，ロバストな画素値推定法を導入する必要がある。

#### 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] 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] 三宅一永, 米田政明, 長谷博行, 酒井充, 丸山博: "時間メディア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.
- [5] 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.
- [6] 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.