

首振りカメラを用いた視野妨害となる水滴の除去

山下 淳[†] 西村 正樹[†] 蔵本 昌之[†] 金子 透[†] 三浦 憲二郎[†]

[†]静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

E-mail: [†]yamashita@ieee.org

あらまし 雨や雪などの悪天候時における屋外環境でのカメラ撮影では、カメラの保護ガラス面に水滴が付着することにより視野が妨害され、明瞭な画像が得られないことがある。そこで本論文では、首振りカメラの方向を変化させて複数の画像を取得し、それらの情報を融合することによって視野の明瞭化を図る方法を提案する。水滴は保護ガラス面に付着しておりカメラと一緒に移動するため、カメラの方向を変化させても画像中における水滴位置は変化しない。そこで、それぞれの画像を比較して水滴が付着している場所を特定し、水滴が付着していない部分を組み合わせることにより明瞭な画像を生成する。水滴が付着した状態でカメラの方向を変化させて取得した画像を用い、提案手法の有効性を示す。

キーワード 画像処理、水滴除去、画像合成、首振りカメラ

Removal of Adherent Waterdrops in Images Causing View Disturbance using a Pan-Tilt Camera System

Atsushi Yamashita[†], Masaki Nishimura[†], Masayuki Kuramoto[†], Toru Kaneko[†] and Kenjiro T. Miura[†]

[†]Faculty of Engineering, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka 432-8561, Japan

E-mail: [†]yamashita@ieee.org

Abstract In this paper, we propose a new method that can remove view-disturbing waterdrops from images by processing images taken with a pan-tilt camera system and improve the quality of images. In rainy days, it is often the case that images taken by the camera are hard to see because of adherent waterdrops on the surface of the protecting glass. In our method, the images taken by changing the direction of eyeshot are compared, and the region where waterdrops exist can be eliminated. The experimental results show the effectiveness of the proposed method.

Keyword Image Processing, Waterdrop Noise Elimination, Image Compound, Pan-Tilt Camera System

1. 序論

監視システムにおける進入物自動検出や、遠隔地映像の人間への提示など様々な用途において、屋外環境でカメラ撮影を行うことは多い。しかし、悪天候時の屋外撮影では、時間の経過や雲の動きによる照明条件の変化に加え、雨や雪などの悪天候による影響を無視できない。従って、これまでも画像中の運動物体を自動的に検出するために、照明変化[1]、天候の変化[2][3]、背景自体の変化[4]などに対してロバストな認識手法が提案されている。

しかし、環境の自動認識を行う場合に加え、映像を人間に提示する場合には、視野の明瞭化も重要となる。悪天候時には、カメラの保護ガラス面などに水滴が付着することにより視野が妨げられ、明瞭な画像を得ることができない。その際、水滴はほとんど移動せず同じ場所に留まっていることが多いため、背景との区別が困難である。そこで、CG 的アプローチで水滴が付着した部分の状態を推定して画像の明瞭化を行う方法も考えられている[5]。プロの絵画修復技師の技能をまねた画像修復手法も提案されているが[6]、水滴の位置を人間が逐次指定する必要があるため、手間が大きい。

筆者らは、この問題に対応するため、複数台のカメラ

ラを利用して同一シーンを撮影することにより、画像中の水滴を除去し、視野の明瞭化を図る方法を提案した[7]。しかし、状況によっては、必ずしも複数台のカメラを準備することができるとは限らない。

そこで本論文では、1台のカメラを回転させて2枚の画像を取得し、それぞれの画像中水滴でない部分を組み合わせることにより水滴を除去した1枚の画像を生成することを目的とする。なお撮影対象は遠景静止画像とする。

2. 水滴除去手法

水滴の位置だけが異なる2枚の画像の差分を取ると、水滴が付着した部分の差は大きくなり、それ以外の部分の差は0となる。

一方、水滴は保護ガラス面に付着しておりカメラと一緒に移動するため、カメラの方向を変化させても画像中における水滴位置は変化しない(図1)。そこで、カメラ回転後の画像を、回転前の角度から見た状態の画像に変換することにより、水滴の位置だけが異なった2枚の画像が得られる。これら2枚の画像中の水滴の位置関係を考慮することによって、それぞれの画像における水滴付着位置を推定し、水滴が付着していな

い部分を組み合わせることにより明瞭な画像を生成することができる。

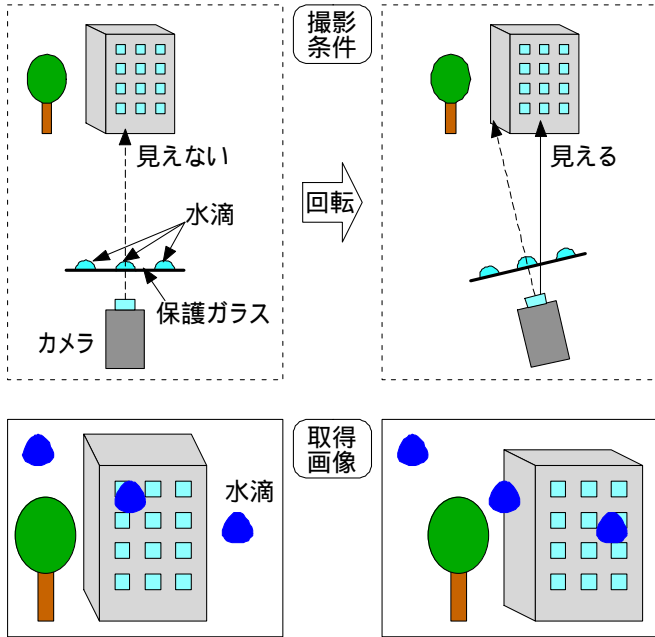


図1 撮影方法

そこで本論文では、以下の手順で水滴除去を行う。

- (1) 画像取得
- (2) 位置合わせ
- (3) 水滴候補領域抽出
- (4) 水滴判別
- (5) 水滴除去

2.1. 画像取得

まず、カメラを固定した状態で画像を1枚撮影する。次に、レンズ中心を通り床面と垂直な軸まわりにカメラを角度 θ だけ回転させた後、もう1枚の画像を撮影する。

2.2. 位置合わせ

2枚の画像のひずみを補正した後に、投影変換を用いてカメラ回転後の画像を変換し、撮影される背景は同じで水滴位置だけが異なる2枚の画像を生成する。

まず、ひずみ補正を行う。一般に、中心からの距離が大きくなるほどレンズ収差ひずみの影響により像がひずむ。本手法では、カメラ回転前の画像（初期画像と呼ぶ）と回転後の画像（回転画像と呼ぶ）の位置を正確に合わせ比較する必要があるため、ひずみ補正を行う。ここでは、Wengらのレンズのひずみモデル[8]のうち、radialひずみを考える。ひずみのない状態での画像中の座標を (u, v) 、ひずみがある状態（観測される状態）での座標を (u', v') 、ひずみパラメータを κ_1 とすると、(1)、(2)式が成立する。

$$u' = u + \kappa_1 u(u^2 + v^2) \quad (1)$$

$$v' = v + \kappa_1 v(u^2 + v^2) \quad (2)$$

ただし、光軸と結像面が交わった場所を原点として画

像中の座標系を取ることにする。

次に、投影変換を用いて、回転画像をカメラ回転前と同じ方向を見た状態の像に変換する。カメラの回転角を θ 、像距離（レンズ中心と結像面との距離）を f 、投影変換前の画像中の座標を (u, v) とすると、変換後の座標 (u_2, v_2) は(3)、(4)式で表される（図2）。

$$u_2 = f \frac{f \tan \theta + u}{f - u \tan \theta} \quad (3)$$

$$v_2 = f \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{f - u \tan \theta} v \quad (4)$$

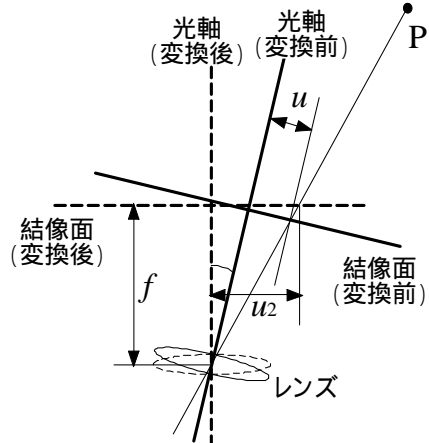


図2 投影変換

この処理により、回転画像を初期画像と同じ方向を向いた画像に変換する。

2.3. 水滴候補領域抽出

初期画像と、回転画像を投影変換した画像（変換画像と呼ぶ）について、共通視野部分の差分を取ることを考える（図3）。初期画像と変換画像をそれぞれグレイスケール化した画像を $g_1(u, v)$ 、 $g_2(u, v)$ とする。2枚の画像の差分の絶対値を求め、水滴のみが残るような閾値 T を与えることにより、画素値 $G(u, v)$ を有する2値差分画像を生成する（(5)式）。

$$G(u, v) = \begin{cases} 0, & |g_1(u, v) - g_2(u, v)| \leq T \text{ のとき} \\ 1, & |g_1(u, v) - g_2(u, v)| > T \text{ のとき} \end{cases} \quad (5)$$

以上の処理により、2枚の画像間で画素値の差が大きく異なる部分を抽出できる。ここで、画素値が1の部分水滴候補画素とする。

ただし、ノイズの影響のため、このままでは水滴以外の部分も水滴候補画素として残ってしまう危険がある。そこで、(5)式によって得られた2値差分画像に対して、 m 回の収縮処理、 m 回の膨張処理を順に行い、ノイズを除去する。収縮・膨張処理後、画素値が1になった部分のみを水滴候補画素とする。

更にこれらの処理後、水滴候補画素のラベリングを行い、同一ラベルに属する水滴候補画素をまとめて水滴候補領域とする（図3）。また、ここでは各水滴候補領域の画素数を計測することにより、それぞれの面積 N を求める。

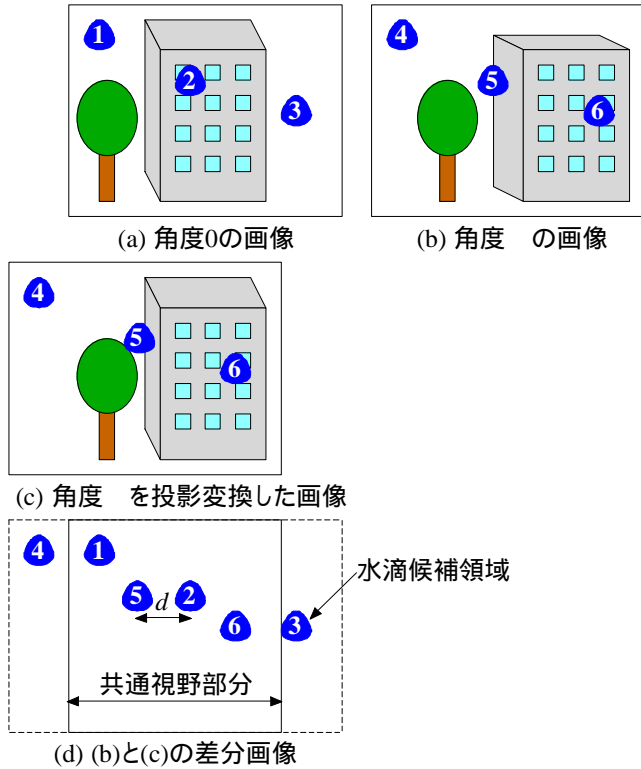


図3 投影変換と差分画像

2.4. 水滴判別

各水滴候補領域が初期画像と変換画像のどちらに付着しているかの判断を行う。初期画像に付着した水滴から見ると、変換画像に付着した水滴は、左に移動した位置に存在する。また、その距離 d は(6)式で与えられる。

$$d(u_i) = f \tan \theta \frac{1 + \left(\frac{u_i}{f}\right)^2}{1 - \frac{u_i}{f} \tan \theta} \quad (6)$$

ただし、 u_i は変換画像に付着した水滴の u 座標である。

ここで、視野角が広角でない通常のカメラを用いる場合、2枚の画像の差分を取った際の共通視野部分に存在する水滴の移動量は(7)式に近似できる。

$$d \approx f \tan \theta \quad (7)$$

この性質を利用し、2値差分画像において注目する水滴候補領域の左右方向に距離 d だけ離れた場所に同じ大きさの水滴候補領域が存在するかを判別することにより、注目水滴候補がどちらの画像に付着しているかを判断できる。同一面積と判定される条件は、(8)式で与えられる。

$$\frac{\min(N_1, N_2)}{\max(N_1, N_2)} > U \quad (8)$$

ただし、 N_1 は注目水滴候補領域の面積、 N_2 は注目水滴候補領域から距離 d にある水滴候補領域の面積である。

水滴間の距離と面積の情報を元に、水滴の判断は表1に示すルールを用いて行う。ここで、注目水滴候補領域から距離 d だけ離れた場所には、水滴がある場合(表中 \times)・ない場合(表中 \times)・その場所が差分画像においては画面外となる場合(表中 \times)が考えられる。注目水滴候補領域の左右それぞれについて、上記3ケースが考えられるため、全部で9ケースの状態が起こりうる。例えば、図3(d)において、水滴2の左側には水滴が存在し、右側には存在しない。水滴2は初期画像に付着しているものであるため、表1中ケース2の場合、水滴は初期画像に付着していると判定できる。同様にケース3, 4, 6, 7, 8の場合、水滴が付着している画像を判定することができる。表1では、初期画像に水滴が付着している場合を“a”、変換画像に付着している場合を“b”で表す。

表1 水滴判別ルール

case	1	2	3	4	5	6	7	8	9
左側				\times	\times	\times			
右側		\times			\times			\times	
水滴	*b	a	a	b	*b	b	b	a	*b

ここで、判定が不可能な場合について考える。ケース1は注目水滴候補領域の左右ともに同じ大きさの水滴候補領域が存在している場合、ケース5は左右ともに同じ大きさの水滴候補領域が存在していない場合である。ここでは、差分を取った際に2つ以上の水滴が重なって1つの水滴候補領域となることが原因であると考えられる。このように水滴が重なっている場合は、画像の真の値が得られないため水滴除去は不可能である。また、ケース9は左右とも画面外の場合であるが、カメラの回転角度が非常に大きいことが原因である。ケース1, 5, 9となった場合には、水滴は変換画像に付着していると判断することとした。

この処理により水滴が付着している画像が判断でき、同一の水滴候補領域の一方を除去することで、2値差分画像中重複した水滴候補領域をどちらかの画像に付着した水滴のみとすることができる。

さて、2画像の共通視野部分を大きくするためには、カメラの回転角度は小さいことが望ましい。しかし、回転前と回転後で同一の水滴が重ならないようにする必要があり、最も大きい水滴の画面横方向の大きさを S とおくと、 $d > S$ を満たす必要があるため、カメラの回転角度についての制約は(9)式で表される。

$$\theta > \tan^{-1}\left(\frac{S}{f}\right) \quad (9)$$

2.5. 水滴除去

抽出した水滴候補領域にもう一方の画像データを用いることで水滴除去を行う。ここで、水滴の周辺背景と水滴の輪郭部との画素値の差が少ないことにより、実際の水滴よりも水滴候補領域が小さくなり、水滴の輪郭部分がうまく除去できない可能性がある。そこで、

n 回の膨張処理を施して水滴候補領域を大きくした後、その場所にもう一方の画像データを用いる。

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結果、ひずみパラメータ $\kappa_1 = -2.67 \times 10^{-7}$ 、像距離 $f = 764.0$ pixel であった。また、各パラメータは試行錯誤的に設定し、2 値化の閾値 $T = 6$ 、収縮・膨張回数 $m = 2$ 、水滴判別の閾値 $U = 0.85$ 、膨張回数 $n = 1$ とした。

検証実験では、カメラの回転角度 $\theta = 10$ deg とし、回転角 0deg と 10deg の画像を使用した(図 4, 図 5)。カメラ回転後の画像を投影変換した結果(変換画像)を図 6(a)、カメラ回転前の画像に付着した水滴の位置を検出した結果を図 6(b)に示す。水滴除去画像は初期画像をベースとし、水滴が付着している部分には変換画像を用いることとした(図 7)。

実験結果より、ほとんどの水滴が除去でき、明瞭な画像を得ることができていることが確認された。ただし、カメラ回転前と投影変換後の画像で水滴が重なった場合には、水滴を除去することができなかった。これは、カメラの回転角度を変更することで対処可能であると考えられる。

4. 結論

本論文では、カメラの方向を変化させることにより複数の画像を取得し、それらの情報を融合することによって画面中の水滴を除去して視野の明瞭化を図る方法を提案した。具体的には、水滴はカメラと一緒に移動するため、カメラの方向を変化させても画像中における水滴位置は変化しないことを利用し、差分処理によって水滴位置の特定を行い、水滴の付着していない部分を合成することによって画像の明瞭化を行った。

今後の課題として、各パラメータの自動設定や、3枚以上の画像を用いることによる水滴が重なった場合への対応等が挙げられる。

文 献

- [1] 松山 隆司, 和田 俊和, 波部 斉, 棚橋 和也: “照明変化に頑健な背景差分”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.10, pp.2201-2211, (2001).
- [2] 長屋 茂喜, 宮武 孝文, 藤田 武洋, 伊藤 渡, 上田 博唯: “時間相関型背景判定法による移動物体検出”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J79-D-II, No.4, pp.568-576, (1996).
- [3] 三宅 一永, 米田 政明, 長谷 博行, 坂井 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”, 画像電子学誌, Vol.30, No.3, pp.251-259, (2001).
- [4] 長井 敦, 久野 義徳, 白井 良明: “複数変動背景下における移動物体の検出”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1086-1095, (1997).
- [5] Anil C. Kokaram, Robin D. Morris, William J. Fitzgerald and Peter J. W. Rayner: “Interpolation of

Missing Data in Image Sequences”, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.4, No.11, pp.1509-1519, (1995).

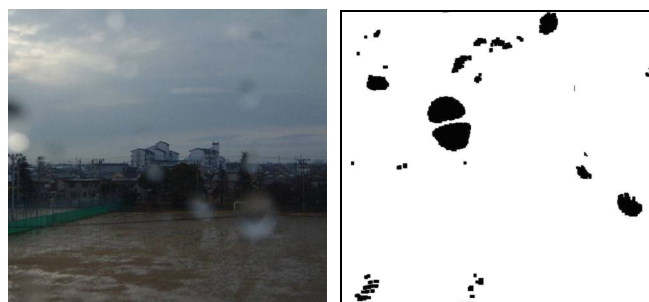
- [6] Marcelo Bertalmio, Guillermo Sapiro, Vicent Caselles and Coloma Ballester: “Image Inpainting”, Computer Graphics (SIGGRAPH 2000), pp.417-424, (2000).
- [7] 蔵本 昌之, 山下 淳, 金子 透, 三浦 憲二郎: “画像中の視野妨害となる水滴の除去”, 映像情報メディア学会誌, Vol.56, No.5, pp.853-857, (2002).
- [8] Juyang Weng, Paul Cohen and Marc Herniou: “Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.10, pp.965-980, (1992).



図 4 カメラ回転前の画像(初期画像)



図 5 カメラ回転後の画像(回転画像)



(a) 変換画像 (b) 初期画像の水滴
図 6 水滴判別



図 7 水滴除去画像