

カメラの方向変化を利用した悪天候時の視野明瞭化

首振りカメラを用いた画像中の視野妨害となる水滴の除去

Restoration of Deteriorated Images in Contrary Weather by Changing the Camera Direction

Removal of View-Disturbing Waterdrops in Images by Using a Pan-Tilt Camera System

山下 淳[†], 正会員 金子 透[†], 西村正樹^{†,††}, 三浦 憲二郎[†]

Atsushi Yamashita[†], Toru Kaneko[†], Masaki Nishimura^{†,††} and Kenjiro T. Miura[†]

Abstract We propose a method for removing view-disturbing waterdrops from images by processing images taken with a pan-tilt camera system. Images that are taken on rainy days are often hard to make out due to adherent waterdrops on the surface of the protecting lens. In our method, a first image of a distant view is taken and then a second image is taken from a different angle. The new image is transformed with the projective transformation and compared with the first one to identify the regions with waterdrops. We can distinguish which image portion has waterdrops by considering the distance between two potential waterdrop regions. Finally, the region with waterdrops can be eliminated by merging two images. Experimental results showed the effectiveness of this method.

キーワード：視野明瞭化, 水滴除去, 視野妨害, 首振りカメラ, 画像合成

1. ま え が き

監視システムにおける侵入物自動検出や, 遠隔地映像の人間への提示などさまざまな用途において, 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. したがって, 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, 背景差分法やフレーム間差分法などをベースとし, 照明変化¹⁾²⁾, 天候の変化³⁾⁴⁾, 背景自体の変化⁵⁾などに対してロバストな認識手法が提案されてきた.

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る⁶⁾. プロの絵画修復技師の技能をまねた画像修復手法⁷⁾や, 画像の局所的な類似性を利用した画像修復手法⁸⁾も提案されているが, 水滴の位置を人間が逐次指定する必要があるため, 自動作業には適さない.

筆者らは, これらの問題に対応するため, 複数台のカメ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式を提案した^{9)~11)}. しかし, 場合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ため, この方式を利用できる状況は限定される.

そこで本論文では, 近年の監視システムにおいて首振りカメラ(視線方向を回転により変化させることができるカメラ)が利用されているケースが少なくないことに注目し, 1台のカメラを用いて水滴を除去し視野の明瞭化を図ることを目的とする. 具体的には, 1台のカメラを回転させて2枚の画像を取得し, それぞれの画像において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手法を提案する. なお, 本報での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

2002年10月31日, メディア工学研究会で発表

2003年1月17日受付, 2003年5月20日再受付, 2003年6月6日採録

†静岡大学工学部

(〒432-8561 浜松市城北3-5-1, TEL 053-478-1067)

††日本ヒューレット・パッカード株式会社

(〒140-0002 品川区東品川2-2-24, TEL 03-5463-6600)

† Faculty of Engineering, Shizuoka University

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

†† Hewlett-Packard Japan, Ltd.

(2-2-24 Higashi-Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0002, Japan)

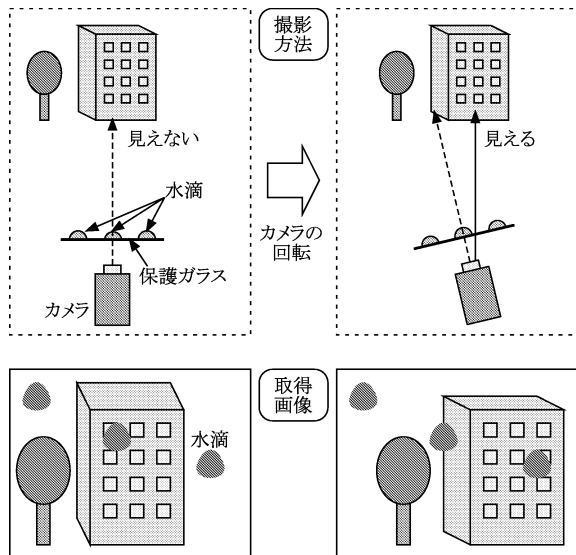


図1 撮影方法
Image acquisition.

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合せることにより、明瞭な画像を生成することができる.

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) 色合わせ
- (4) 水滴候補領域抽出
- (5) 水滴判別
- (6) 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.

なお、カメラの回転角度 θ は反時計回り(図1の方向)を正の方向とし、これ以降の説明は正方向回転の場合を想定する.

また、カメラの回転角度 θ の決定方法については、2.7節に示す.

2.2 位置合わせ

2枚の画像の歪みを補正した後に、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、歪み補正を行う.一般に、中心からの距離が大き

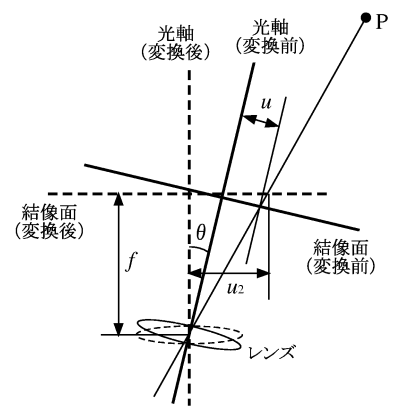


図2 投影変換
Projective transformation.

くなるほどレンズの歪曲収差の影響により像が歪む.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、歪み補正を行う.ここでは、Wengらのレンズの歪みモデル¹²⁾のうち、radial歪みを考える.歪みのない状態での画像中の座標を (u, v) 、歪みがある状態(観測される状態)での座標を (u', v') 、歪みパラメータを 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、レンズ中心を回転中心とした投影変換を用いて、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).

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

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

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.なお、これ以後、回転画像を投影変換した画像を変換画像と呼ぶことにする.

2.3 色合わせ

カメラの回転前と回転後では、照明条件の変化などにより、お互いの画像のRGB成分にずれが生じることがある.そこで、初期画像と変換画像について、共通視野部分の色合わせを行う.

初期画像 $I_0(u, v)$ のRGB成分をそれぞれ $R_0(u, v)$ 、 $G_0(u, v)$ 、 $B_0(u, v)$ とおく.同様に、変換画像 $I_\theta(u, v)$ についても、RGB成分をそれぞれ $R_\theta(u, v)$ 、 $G_\theta(u, v)$ 、 $B_\theta(u, v)$ とする.

2枚の画像のRGB成分のずれは、画像中の画素値の大きさのレベルによってもそれぞれ大きく異なることがある。そこで、ある一定の画素値の範囲毎に、RGB成分の平均値をそれぞれ合わせることを考える。画素値に応じたRGB補正を行うため、まず初期画像の画素値を c 個のクラスに分け、クラス毎に(5)~(7)式より画像間のRGB成分のずれ \bar{r}_c , \bar{g}_c , \bar{b}_c を求める。

$$\bar{r}_c = \frac{1}{m_{r,c}} \sum_{u=u_s}^{u_e} \sum_{v=v_s}^{v_e} \{R_{\theta,c}(u,v) - R_{0,c}(u,v)\} \quad (5)$$

$$\bar{g}_c = \frac{1}{m_{g,c}} \sum_{u=u_s}^{u_e} \sum_{v=v_s}^{v_e} \{G_{\theta,c}(u,v) - G_{0,c}(u,v)\} \quad (6)$$

$$\bar{b}_c = \frac{1}{m_{b,c}} \sum_{u=u_s}^{u_e} \sum_{v=v_s}^{v_e} \{B_{\theta,c}(u,v) - B_{0,c}(u,v)\} \quad (7)$$

ただし、 u_s , u_e , v_s , v_e は共通視野の範囲、 c はクラス番号、 $m_{r,c}$, $m_{g,c}$, $m_{b,c}$ は各色成分における各クラスに属する画素の数である。

次に、色合わせを行った変換画像の新たなRGB成分 $R'_{\theta,c}(u,v)$, $G'_{\theta,c}(u,v)$, $B'_{\theta,c}(u,v)$ を(8)~(10)式より求める。

$$R'_{\theta,c}(u,v) = R_{\theta,c}(u,v) + \bar{r}_c \quad (8)$$

$$G'_{\theta,c}(u,v) = G_{\theta,c}(u,v) + \bar{g}_c \quad (9)$$

$$B'_{\theta,c}(u,v) = B_{\theta,c}(u,v) + \bar{b}_c \quad (10)$$

2.4 水滴候補領域抽出

初期画像と変換画像との共通視野部分の差分を取ることを考える(図3)。初期画像 $I_0(u,v)$ と色合わせ後の変換画像 $I'_\theta(u,v)$ 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((11)式)。

$$G(u,v) = \begin{cases} 0, & |g_1(u,v) - g_2(u,v)| \leq T \\ 1, & |g_1(u,v) - g_2(u,v)| > T \end{cases} \quad (11)$$

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、(11)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。

さらにこれらの処理後、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(d))。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_i を求める。

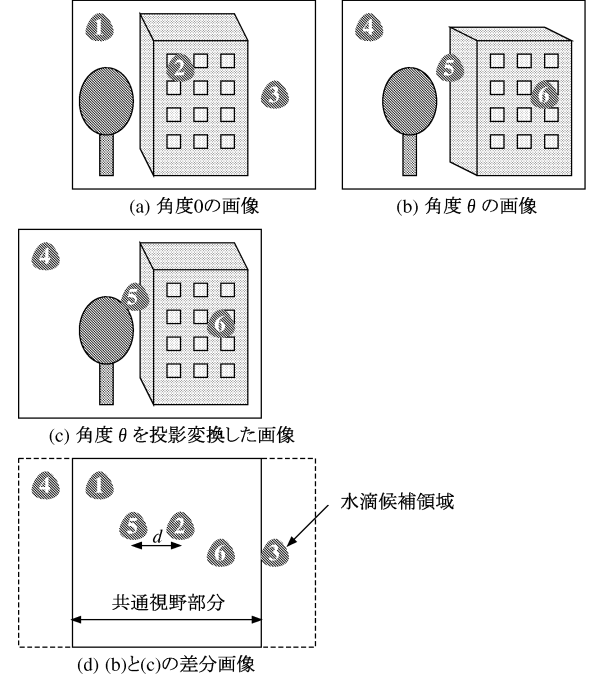


図3 投影変換と差分画像
Projective transformation and difference between two images.

2.5 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。カメラの回転が反時計回り($\theta \geq 0$)の場合、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(12)式で与えられる。

$$d(u_i) = \frac{(f^2 + u_i^2) \tan \theta}{f - u_i \tan \theta} \quad (12)$$

ただし、 u_i は変換画像に付着した水滴の代表点の u 座標である。

ここで、各水滴の代表点は各水滴候補領域の重心とし、重心が水滴候補領域に含まれない場合には最も重心に近い点とする。

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、(13)式で与えられる。

$$\frac{\min(N_1, N_2)}{\max(N_1, N_2)} > U \quad (13)$$

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○)・ない場合(表中×)・その場所が差分画像においては画面外となる場合(表中△)が考えられる。注目水滴候補領域の左

表 1 水滴判別ルール
Rule of waterdrop determination.

case	1	2	3	4	5	6	7	8	9
左側	○	○	○	×	×	×	△	△	△
右側	○	×	△	○	×	△	○	×	△
水滴	*1	0	0	θ	*2	θ	θ	0	*3

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は表1中ケース2となり、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の場合も、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“0”，変換画像に付着している場合を“θ”で表す。

ここで、判定が不可能な場合について考える。ケース1(表1中*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である。ケース5(表1中*2)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。これらのケースとなる原因は、差分を取った際に二つ以上の水滴が重なって一つの水滴候補領域となること、または画像中に移動物体が存在していたことであると考えられる。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(表1中*3)は左右とも画面外の場合である。カメラの回転角度が非常に大きいときがこのケースに相当するが、水滴除去時を目的とした場合には、共通視野が非常に狭くなるような条件での撮影は現実的ではないため、このケースは考慮しないこととする。

本論文では、どちらの画像に水滴が付着しているか判定ができない場合(ケース1, 5, 9)には、水滴除去画像のベースとなる画像と異なる画像に水滴が付着していると判断することとした。

なお、カメラの回転が時計回り($\theta < 0$)の場合、判定結果は表1と逆になる。

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。

2.6 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。2枚の画像の合成は、(14)式で表される。

$$F(u, v) = \alpha(u, v)I_0(u, v) + (1 - \alpha(u, v))I'_\theta(u, v) \quad (14)$$

ただし、 $0 \leq \alpha(u, v) \leq 1$ である。

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。

本論文では、水滴除去画像 $F(u, v)$ は初期画像 $I_0(u, v)$ をベースとし、水滴が付着している部分には変換画像 $I'_\theta(u, v)$ を用いることとした。両方の画像の水滴位置を表す2値差分画像から変換画像 $I'_\theta(u, v)$ の水滴を取り除いた水滴判別後の2値差分画像を $G'(u, v)$ とすると、 $G'(u, v) = 0$ のとき $\alpha(u, v) = 1$ 、 $G'(u, v) = 1$ のとき $\alpha(u, v) = 0$ と設定できる。

また、2枚の画像間の色合いの差がある場合、色合わせを行った後にも、微妙な色ずれが残っている可能性がある。そこで、色合いのずれなく自然に2枚の画像間の境界部分の合成を行うため、水滴候補領域の周辺部分 p 画素においては $\alpha(u, v)$ の値を0から1に連続的に線形変化させることとした。

2.7 カメラの回転角度

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る。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(15)式で表される。

$$\theta > \tan^{-1} \left(\frac{S}{f} \right) \quad (15)$$

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、画像サイズが 640×480 pixelにおいて、歪みパラメータ $\kappa_1 = -2.67 \times 10^{-7}$ 、像距離 $f = 764.6$ pixelであった。

また、最も大きい水滴の画面横方向の大きさ $S = 100$ pixelと仮定すると、(15)式よりカメラの回転角度は 7.5 degより大きい必要がある。そこで、同じ水滴同士が重ならないよう余裕を持たせ、カメラの回転角度 $\theta = 10.0$ degとした。

色合わせのクラスは、画素値に応じて補正が行えるように、256階調の画像に対して、等間隔(画素値32間隔)で8段階に分けた。各パラメータは試行錯誤的に設定し、2値化の閾値 $T = 20$ 、水滴候補領域抽出時の収縮膨張回数 $m = 3$ 、水滴判別の閾値 $U = 0.65$ 、水滴除去時の膨張回数 $n = 4$ 、 α の値を連続的に変化させる範囲 $p = 3$ pixelとした。

検証実験で使用した画像例を図4~図8に示す。図4は回転角度0degの画像(初期画像)、図5は回転角度10degの画像(回転画像)、図6はカメラ回転後の画像を投影変換した結果(変換画像)、図7は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、図8は水滴除去結果(矩形共通視野部分のみ)である。

また、水滴が付着した部分の画素数を予め計数しておく、



図 4 カメラ回転前の画像（初期画像）
Image before the change of camera's direction (Initial image).



図 6 投影変換後の画像（変換画像）
Image after the projective transformation (Transformed image).



図 5 カメラ回転後の画像（回転画像）
Image after the change of camera's direction (Rotation image).

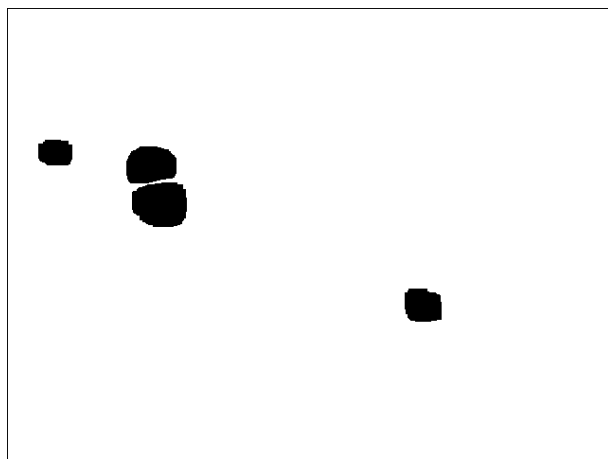


図 7 初期画像の水 droplet（共通視野部分のみ）
Waterdrops in the initial image.

図8に付着した水滴の画素数を比較したところ、92.6%が除去されたことが確認できた。除去できなかった7.4%の水 dropletのほとんどは、2枚の画像間の画素値の差が非常に小さい場所であった。実際には、除去できなかった水滴は目視ではほとんど認識できない程度であり、明瞭な画像を得ることができることが確認された。

さらに、図9に別の条件で撮影した画像の一部を示す。図9(a)は撮影物体の輪郭部分にも付着した水滴がある画像、図9(b)は提案手法による水滴除去画像である。また比較のため、図9(a)のうち水滴が付着した場所を人間が指定することにより（図9(c)）、文献7)の手法を用いてその場所の画素値の補間を行った結果を図9(d)に示す。図9(d)では、大部分において自然な画像となるものの撮影物体のエッジが欠けてしまっていることに対して、図9(b)ではエッジも自然に合成されていることがわかる。ただし、文献7)の手法の各種パラメータ設定などを完全に再現したわけではないことを記しておく。

照明条件については、暗い場合や明るい場合（画像全体



図 8 水滴除去画像
Image after removing waterdrops.

の画素値の平均が90~200程度)、カメラ回転前後の平均画素値の差が10以上の画像を用いてそれぞれ実験を行ったところ、水滴を良好に除去可能であった。したがって、日中であれば照明条件に依存せず、かつある程度のカメラ回転前後での照明変化がある場合においても、水滴が除去可

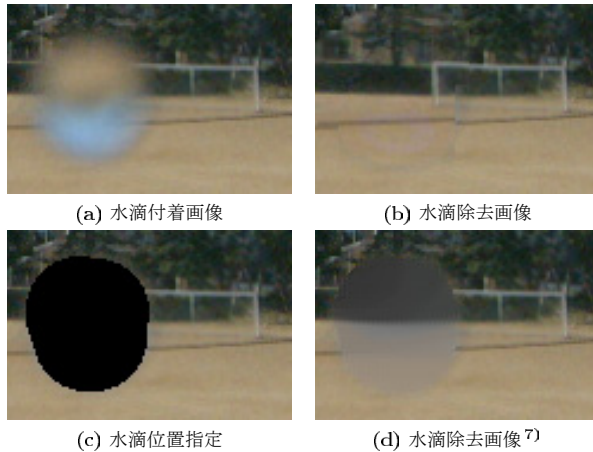


図 9 水滴除去例
Example of waterdrop removal.

能であることが確認された。ただし、カメラ回転前後で照明変化が非常に大きい場合や、特に部分的に明るさが大きく変化している場合には、対応不可能であることが予想される。

抽出可能な水滴の面積に関しては、画像全体の0.03% (100画素) 以下の面積の水滴から1.79% (5500画素) 以上の水滴まで抽出可能であることが確認された。

以上の結果より、水滴同士が重ならない条件においては、ほぼ水滴が付着していない明瞭な画像を得られることが示された。

4. 考察

カメラの回転に関して、本手法ではカメラのレンズ中心と回転中心が一致している必要があるが、レンズ中心と回転中心の位置を厳密に計測して正確に一致させることは困難である。本論文での実験においても、レンズ中心と回転中心にずれがあったと予想される。しかし、比較的遠景の画像を対象としているため、レンズの歪みなどの影響と比較して、レンズ中心と回転中心のずれの影響はほとんど無視できる程度に小さく、初期画像と変換画像の位置ずれはほとんどなかった。

また、複数の条件で水滴除去を行った結果、2値化の閾値以外の各設定パラメータはほぼ一定で良いことが確認された。2値化の閾値に関しては、画像全体の明るさに対応するために変動させることが有効であることがわかった。これは、水滴が付着した部分は画素値が大きく（白色に近く）なることが多いため、画像全体が明るい（白い）場合には、閾値を小さくすることで水滴の検出率を向上させることができるためである。

さらに、筆者らが提案した複数台のカメラを用いて水滴を除去する方法^{9)~11)}と比較すると、本論文で提案した手法は処理が非常に単純であり高速処理に適していると考えられる。これは、複数カメラを用いる方法^{9)~11)}では水滴が付着した部分の画素値の変化率などの特徴量を計算する

必要があるが、本手法では水滴の移動量がわかっているため単純な左右比較のみで水滴が付着している画像を判定できるためである。

水滴の量の変化による処理時間への影響に関しては、水滴の量と比例して水滴判別の処理時間が増加する。ただし、収縮・膨張、特に収差補正や投影変換等が画像全体の変換処理であることに対して、水滴判別は部分的な処理であり、かつ文献11)のように水滴候補領域毎に複雑な繰り返し計算を行う必要がない。したがって、水滴判別の計算時間は処理時間全体からすると比較的短く、水滴の量の変化が処理時間全体に与える影響はそれほど大きくないと言える。

5. むすび

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、動画への適用が挙げられる。また本手法では、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い。これは、3枚以上の画像を用いることにより対応可能であると考えられる。

なお、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費若手研究(B)15700153、および日本科学協会笹川科学研究助成の援助を受けた。

【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”, 信学論, **J84-D-II**, 10, pp.2201-2211, (2001).
- 2) 太田 直哉: “2台のカメラを用いた進入物体検出”, 画像ラボ, **13**, 1, pp.33-37, (2002).
- 3) 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”, 信学論, **J79-D-II**, 4, pp.568-576, (1996).
- 4) 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”, 電工学誌, **30**, 3, pp.251-259, (2001).
- 5) 長井 敦, 久野 義徳, 白井 良明: “複雑変動背景下における移動物体の検出”, 信学論, **J80-D-II**, 5, pp.1086-1095, (1997).
- 6) 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, **4**, 11, pp.1509-1519, (1995).
- 7) Marcelo Bertalmio, Guillermo Sapiro, Vicent Caselles and Coloma Ballester: “Image Inpainting”, Computer Graphics (SIGGRAPH 2000), pp.417-424, (2000).
- 8) 小幡 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復元手法による画像復元手法”, 信学技報, **102**, 471, pp.37-42, (2002).
- 9) 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”, 映像学誌, **56**, 5, pp.853-857, (2002).
- 10) Masayuki Kuramoto, Atsushi Yamashita, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: “Removal of Waterdrops in Images by Using Multiple Cameras”, Proceedings of IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA2002), pp.80-83, (2002).
- 11) 蔵本 昌之, 山下 淳, 金子 透, 三浦 憲二郎: “複数のカメラを用いた局所的視野妨害ノイズの除去”, 信学技報, **102**, 707, pp.13-18, 2003.

- 12) Juyang Weng, Paul Cohen and Marc Herniou: "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **14**, 10, pp.965-980, (1992).



やました あつし
山下 淳 2001年, 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程修了。同年, 静岡大学工学部機械工学科助手。画像処理, コンピュータビジョン, ロボットの知能化に関する研究に従事。博士 (工学)。



かね こ とおる
金子 透 1974年, 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程修了。同年, 日本電信電話公社 (現NTT) 入社。1997年, 静岡大学工学部教授。画像処理, ロボットビジョンの研究に従事。工学博士。正会員。



にしむら まさき
西村 正樹 2002年, 静岡大学工学部機械工学科卒業。同年, コンパックコンピュータ株式会社入社。会社の合併により, 現在は日本ヒューレット・パッカード株式会社勤務。在学中は, 視野遮蔽画像の明瞭化に関する研究に従事。



み うらけん じ ろう
三浦憲二郎 1984年, 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻修士課程修了。同年, キヤノン (株) 入社。1991年, コーネル大学機械工学科博士課程修了。1993年, 会津大学コンピュータ理工学部コンピュータソフトウェア学科助教授。1997年, 静岡大学工学部助教授。曲線・曲面の設計, CAD/CAM, 要素自動分割の研究に従事。Ph.D.