

画像中の視野妨害となる水滴の除去

Removal of Adherent Waterdrops in Images Causing View Disturbance

蔵本 昌之[†], 山下 淳^{††}, 正会員 金子 透^{††}, 三浦 憲二郎^{††}

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

あらまし 降雨時のカメラ撮影では、レンズ面や保護ガラスへの水滴の付着によって、視野妨害が起こる。そこで我々は、同時に複数のカメラによって撮影された画像を用いて水滴の位置を推定し、水滴を除去した画像を生成する方式を提案する。

キーワード：画像処理，水滴除去，多眼視，画像合成，屋外監視

1. 序 論

近年のコンピュータおよび画像入力機器の性能の向上や低価格化による普及に伴い、監視カメラを用いた屋内外のシーンのモニター等が手軽に実現できるようになってきている。しかし、屋外では環境条件に画像の質が影響される場合が多く、日中と夜間あるいは晴天と曇天といった明るさの違いの他、雨や雪などの悪天候による視界への影響を無視できない。照明条件が大きく変化する環境下や降雪、降雨に対してロバストな移動物体検出を目的とした時間相関型背景判定法による移動物体検出という研究がある¹⁾。また、降雪については、時間メディアンフィルタによる降雪ノイズ除去という研究があり、降雪映像から動物体としての降雪粒子のみを除去することが目的となっている²⁾。これらの研究は、動的对象物の検出であり静的対象物は検出できない。しかし、降雨時においては、カメラレンズそのもの、あるいはカメラを保護しているガラス壁に水滴が付着することで、視野が妨げられる。この場合は、水滴が移動せずに画像上で留まっていることも多い。したがって、動画から動的对象物や降雪粒子を取り除く上記の手法では水滴除去が不可能である。この対応策として、静的対象物である水滴を静止画から抽出、除去した後、除去した部分をそのまわりから推測して画像にする方法が考えられる。しかし、この方法では水滴除去後に真の値を反映させること

はできない。

そこで本研究では、複数のカメラを利用して画像を取得し、画像中の水滴を除去する方式について検討する。本方式では、複数の画像で水滴でない画像の部分の組み合わせることにより、1つの画像を作成することを原則としている。以下、2眼視、3眼視の場合についてアルゴリズムと実験結果を示す。なお本報では、複数のカメラで撮影した画像間に視差がない遠景の画像を対象としている。

2. 2眼視による水滴除去法

カメラ2台で、視差のない遠景画像を2枚取得し、差分をとると水滴のある画素が抽出できる。しかし、水滴がどちらの画像にあるのかを判断できない。そのため、水滴がどちらの画像にあるのか判断する必要がある。そこで、2眼視による処理は以下に示す5段階で行う。

- (1) 画像を取得する。
- (2) 画像の位置合せを行う。
- (3) 画像のRGB成分の補正を行う。
- (4) 水滴候補領域を抽出する。
- (5) 水滴候補の領域で水滴の識別を行い、画像を修復する。

2.1 画像の取得

カメラ2台を用い、同一シーンの視差がない遠景画像を2枚取得する。処理を簡単に行うため、2台のカメラは互いに光軸が平行、走査線が平行になるように設置する。

2.2 位置合せ

カメラを固定する際の設置誤差のため、左右の画像が上下左右にずれてしまい単純に差分をとることができないことが考えられる。そこで、位置合せを行う。

(1) 式にそれぞれの画像のR, G, B成分 $R(i, j)$, $G(i, j)$, $B(i, j)$ を代入して画像のグレイスケール化を行う。

$$f(i, j) = 0.299R(i, j) + 0.587G(i, j) + 0.114B(i, j) \quad (1)$$

2001年10月19日、マルチメディア情報処理研究会で発表

2001年12月10日受付, 2002年2月1日最終受付, 2002年2月19日採録

[†] 静岡大学大学院 理工学研究所

(〒432-8561 浜松市城北3-5-1, TEL 053-478-1070)

^{††} 静岡大学 工学部

(〒432-8561 浜松市城北3-5-1, TEL 053-478-1070)

[†] Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

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

^{††} Department of Machinery Engineering, Shizuoka University

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

(1) 式より2つの画像をグレースケール化した画像1と2の画素値 $f_{1,org}(i, j)$, $f_{2,org}(i, j)$ を得る．そして, $v \times h$ 画素サイズの画像より, (2) 式に $f_{1,org}(i, j)$, $f_{2,org}(i, j)$ を代入し, $S(x, y)$ が最小となる x, y を求める．ここで t は画像をトリミングするための値である．

$$S(x, y) = \sum_{j=t}^{v-t-1} \sum_{i=t}^{h-t-1} |f_{1,org}(i, j) - f_{2,org}(i+x, j+y)| \quad (2)$$

$$(-t \leq x, y \leq t)$$

得られた x, y を (3) 式に代入することで補正した $R_2(i, j)$, $G_2(i, j)$, $B_2(i, j)$ を求める．

$$\begin{cases} R_2(i, j) = R_{2,org}(i+x, j+y) \\ G_2(i, j) = G_{2,org}(i+x, j+y) \\ B_2(i, j) = B_{2,org}(i+x, j+y) \end{cases} \quad (3)$$

2.3 原画像のRGB補正

カメラを2台使うため, 互いの画像のRGB成分にずれが生じる．そのため, 原画像のRGB補正を行う．画素値に応じたRGB補正を行うため, 画像1の画素値を5つのクラスに分け, クラス毎に (4), (5) 式より補正した $R_{2c,new}(i, j)$, $G_{2c,new}(i, j)$, $B_{2c,new}(i, j)$ を求める．

$$\begin{cases} \bar{r}_c = \left[\sum_{j=0}^{v-1} \sum_{i=0}^{h-1} \{R_{1c}(i, j) - R_{2c}(i, j)\} \right] / m_c \\ \bar{g}_c = \left[\sum_{j=0}^{v-1} \sum_{i=0}^{h-1} \{G_{1c}(i, j) - G_{2c}(i, j)\} \right] / m_c \\ \bar{b}_c = \left[\sum_{j=0}^{v-1} \sum_{i=0}^{h-1} \{B_{1c}(i, j) - B_{2c}(i, j)\} \right] / m_c \end{cases} \quad (4)$$

ただし, m_c : クラス毎の画素数
 c : クラス番号

$$\begin{cases} R_{2c,new}(i, j) = R_{2c}(i, j) + \bar{r}_c \\ G_{2c,new}(i, j) = G_{2c}(i, j) + \bar{g}_c \\ B_{2c,new}(i, j) = B_{2c}(i, j) + \bar{b}_c \end{cases} \quad (5)$$

求められた $R_{2c,new}(i, j)$, $G_{2c,new}(i, j)$, $B_{2c,new}(i, j)$ を (1) 式に代入し $f_2(i, j)$ を求める．また, $f_1(i, j)$ は $f_{1,org}(i, j)$ と等しいものとする．

2.4 水滴候補領域抽出

どの画素に水滴が存在するのか判断するため水滴候補の領域を抽出をする．まず, (6) 式に $f_1(i, j)$, $f_2(i, j)$ を代入して $\alpha_{12}(i, j)$ を求める．

$$\alpha_{12}(i, j) = |f_1(i, j) - f_2(i, j)| \quad (6)$$

次に, 水滴だけが画像データとして残るような閾値 L を与え, (7) 式より $\beta_{12}(i, j)$ を求める．

$$\beta_{12}(i, j) = \begin{cases} 0 & (\alpha_{12}(i, j) \leq L \text{ のとき}) \\ 1 & (\alpha_{12}(i, j) > L \text{ のとき}) \end{cases} \quad (7)$$

すべての水滴部分を抽出するような閾値を設定し水滴候補領域を決定すると, 水滴以外の部分もノイズとして残ってしまう．そこで, 2値化画像に対し, 収縮・膨張処理を順に行いノイズを除去する．処理後, 画素値が1となったものを水滴候補領域とする．

2.5 水滴の識別

抽出した候補に対して水滴の識別を行う．まず, 水滴候補領域にラベリングを行い, 領域ごとに以下の方法で水滴を識別する．

水滴候補領域における水滴でない方の画像の画素値の変化が小さい場合, 各水滴候補領域の輪郭画素 (水滴候補領域の最も外側の画素) での周囲画素の平均に対する偏差の大きさは, 他方の画像に比べ大きくなる．これは, 境界の画素値に変化があるためである．そこで, 注目画素とその8-近傍での各画像における画素値の偏差の2乗和をとり, (8) 式より水滴候補領域番号毎に, 画像 k におけるエッジ偏差の2乗和 E_{kl} を求める．

$$E_{kl} = \sum_{h=1}^{S_l} \sum_{j=n-1}^{n+1} \sum_{i=m-1}^{m+1} \{f(i, j) - \bar{f}_{kl}\}^2 \quad (8)$$

ただし, (m, n) : 注目画素

\bar{f}_{kl} : 注目画素とその8-近傍の画素値の平均

S_l : 水滴候補領域 l のエッジの画素数

次に, 水滴候補領域における水滴でない方の画像の画素値の変化が大きい場合, エッジ偏差の2乗和は水滴候補を抽出したほうが大きくなるとは限らない．そこで, 水滴候補領域番号毎に, 画像 k における領域内分散 σ_{kl} を (9) 式より求める．

$$\sigma_{kl} = \left\{ \sum_{i=1}^{h_l} (f_{ki} - \hat{f}_{kl})^2 \right\} / h_l \quad (9)$$

ただし, h_l : 水滴候補領域 l の画素数

\hat{f}_{kl} : 水滴候補領域 l の画素値の平均

一般に, σ_{1l} , σ_{2l} が同時に小さいとき, 水滴がある画像の E_{kl} はもう一方の画像に比べ大きくなる． σ_{1l} , σ_{2l} が同時に大きく, σ_{1l} と σ_{2l} にある程度の差があると水滴がある画像の σ_{kl} はもう一方の画像に比べて小さくなる．また, 水滴がつくことにより, 画素値が大きくなることが多いため, で処理できなかった水滴候補については の条件を用いる．そこで, ~ の条件から水滴のない画像を選択する．

$(\sigma_{1l} < P)$ かつ $(\sigma_{2l} < P)$ の条件に対して

E の小さい画像を選択．

以外 かつ $(\sigma_{1l} > Q)$ かつ $(\sigma_{2l} > Q)$

かつ $(|\sigma_{1l} - \sigma_{2l}| > Q)$ の条件に対して

σ の大きい画像を選択．

~ 以外の条件に対して

画素値の小さい画像を選択．

以上の処理をすべての水滴候補領域に適用することによ



図 1 画像 1 (2眼視)
Original image 1 (2-camera system).



図 2 画像 2 (2眼視)
Original image 2 (2-camera system).

り、水滴部分を特定し、2 画像から水滴のない画像を再構成する。

3. 2 眼視による水滴除去法の検証

実験では、デジタルカメラ 2 台を 95mm 間隔で設置し、左右のカメラから画像 1, 2 を取得した。図 1, 図 2 に画像 1, 2 の部分画像 (240 × 160 画素) を示す。次に、この画像 1, 2 から水滴候補領域の抽出結果の一部を図 3(a) に示す。画像全体では場所によって抽出領域が小さくなる部分もあったが、大部分において適切な抽出が行われている。また、修復結果の一部を図 3(b) に示す。ここで、トリミングに用いる t は画像サイズ v, h の 2% 程度と設定した。また、画像の量子化ビット数 8 ビット (256 段階) に対し、RGB 補正でのクラス分けは 0 ~ 79, 80 ~ 119, 120 ~ 159, 160 ~ 199, 200 ~ 255 の 5 つとした。水滴の識別における各閾値は、試行錯誤的に求めた $L = 10, P = 250, Q = 500$ を用いた。図 3(b) より、図 1, 図 2 のように比較的水滴が少ない場合では良好な結果が得られていることがわかる。

4. 3 眼視による水滴除去法

比較的水滴が少ない画像では 2 眼視を用いたアルゴリズムが有効であることがわかった。しかし、2 眼視を用いた



(a) 抽出された水滴候補領域
Extracted waterdrop region.



(b) 修復画像
Improved image.

図 3 画像中の水滴
Waterdrops in the image.

アルゴリズムでは 2 枚の画像において水滴の重なる部分の処理は不可能である。そこで、次にカメラ 3 台を用いた処理法について検討する。

カメラ 3 台を利用することで、3 枚の画像から (6) 式, (7) 式を用いて 2 値化し、3 枚の画像の画素毎に画素値を比較し、単純な多数決で水滴を処理する手法が考えられる。この手法では、水滴が少ないときは水滴が重ならないため処理が可能である。しかし、水滴が多くなると、2 つの画像で水滴が存在し 1 つの画像には水滴がない状態が生じ、水滴を正しいものとして判断してしまう。そこで 3 眼視による処理は以下の 4 段階で行う。まず、画像 1 と 2, 画像 2 と 3, 画像 3 と 1 について 2 眼視と同様の処理を行い、3 枚の画像を取得する。この画像では、水滴が 2 枚で重なる部分においてどちらか一方の水滴が残ってしまう。そこで、残った水滴を除去するため、この 3 枚の画像から多数決によって 2 次除去を行う。

- (1) 前処理を行う。
(画像の取得, 位置合せ, 画像の RGB 補正)
- (2) 水滴候補領域を抽出する。
- (3) 水滴の 1 次除去を行う。
- (4) 水滴の 2 次除去を行い、画像を修復する。

4.1 前処理

前処理として、2 眼視の処理 (1) ~ (3) と同様な方法で画像の取得, 位置合せ, 画像の RGB 補正の 3 つの処理を画像 1, 2, 3 に対して行う。

4.2 水滴候補領域抽出

2 眼視の場合と同様に画像 1 と 2 について (6) 式, (7) 式より $\beta_{12}(i, j)$ を求める。同様な処理を画像 2 と 3, 画像 3 と 1 についてもを行い、 $\beta_{23}(i, j), \beta_{31}(i, j)$ を求める。次に、(10) 式より $\gamma(i, j)$ を求める。

$$\gamma(i, j) = \beta_{12}(i, j) + \beta_{23}(i, j) + \beta_{31}(i, j) \quad (10)$$

$\gamma(i, j) \leq 1$ のとき、単純な多数決によって水滴を決定する。 $\gamma(i, j) > 1$ のとき、以下に示すアルゴリズムによって

水滴を除去する．

4.3 1次除去

処理の手順としては、まず画像1, 2から $\gamma(i, j) > 1$ かつ $\beta_{12}(i, j) = 1$ となる領域にラベリングを行う．

一般に σ_{11}, σ_{21} にある程度の差があり、 σ_{11}, σ_{31} が小さいと画像2に水滴があることが多い．同様に、 σ_{11}, σ_{21} にある程度の差があり、 σ_{21}, σ_{31} が小さいと画像1に水滴があることが多い．そこで、 \sim の条件から水滴のない画像を選択し1次除去を行う．

($\sigma_{11} < T$) かつ ($\sigma_{31} < T$) かつ ($\sigma_{21} - \sigma_{11} > U$)
の条件に対して

画像1を選択．

以外 かつ ($\sigma_{21} < T$) かつ ($\sigma_{31} < T$)

かつ ($\sigma_{11} - \sigma_{21} > U$) の条件に対して

画像2を選択．

\sim 以外 かつ ($\sigma_{11} < P$) かつ ($\sigma_{21} < P$)

の条件に対して

E の小さい画像を選択．

\sim 以外 かつ ($\sigma_{11} > Q$) かつ ($\sigma_{21} > Q$)

かつ ($|\sigma_{11} - \sigma_{21}| > Q$) の条件に対して

σ の大きい画像を選択．

\sim 以外の条件に対して

画素値の小さい画像を選択．

、 \sim に関しては、実際の画像では同時に満たすことがほとんどなく、逆にしても同様の結果が得られるためこのような順序で行うこととする． \sim については、2眼視と同様の理由によりこれらの処理を行った．

画像2, 3, 画像3, 1についても同様の処理を行い3枚の画像を取得する．

4.4 2次除去

水滴の1次除去を行った3枚の画像について(6), (7)式を用いて2値化し、3枚の画像の画素毎に画素値を比較し、多数決で水滴を判断し水滴の2次除去を行う．

以上の処理により、3画像から水滴のない画像を再構成する．

5. 3眼視による水滴除去法の検証

実験では、1台のデジタルカメラを平行に15mmずつスライドさせて3枚の画像を取得した．実験に使用した画像1, 2, 3 (640 × 480画素) を図4, 図5, 図6に示す．本実験では、(4)式における $\bar{r}_c, \bar{g}_c, \bar{b}_c$ はすべて0.5未満となりRGB補正は不要であった．また、移動距離が少なかったため、ずれが1Pixel未満で位置合せも不要であった．得られた画像3枚から水滴の除去を行った画像を図8に示す．1次除去での各閾値は画像の量子化ビット数8ビットに対し、試行錯誤的に求めた $L = 10, P = 220, Q = 600, T = 60, U = 50$ を用いた．

比較のために単純に多数決で処理をした画像を図7に示す．その結果、単純な多数決による修復画像ではやや水滴



図4 画像1 (3眼視)
Original image 1 (3-camera system).



図5 画像2 (3眼視)
Original image 2 (3-camera system).



図6 画像3 (3眼視)
Original image 3 (3-camera system).

が残ってるのに対し、本論文で提案した手法では、ほぼ水滴のない画像を修復可能であることが確認できた．また、原画像の全画素数に対する水滴の画素数の割合は平均12.3%であったのに対し、単純な多数決法による処理では



図 7 単純な多数決法による修復画像
Improved image with simple majority decision.



図 8 提案手法による修復画像
Improved image with proposed method.

2.7%，提案手法による処理では1.7%となった。図8の左部分を見てもわかるように2眼視では除去しきれなかった水滴が重なり合う部分に対しても良好な結果が得られている。ただし、3枚の画像の同じ部分にある水滴については真の値が得られないので除去は不可能である。また、一部誤検出があったが、その原因としては、水滴候補の抽出の際に実際の水滴より小さく抽出されたためであると考えられる。

6. 結論

悪天候におけるカメラ撮影等で得られた画像でガラスについた視界をさえぎる水滴を除去するため、複数のカメラを用いる方法を提案した。2眼視の処理は差分を基本とし、位置ずれやカメラの感度特性のずれを補正した2つの画像の差分をとって水滴候補領域を抽出した後、その領域の画素値の変化量を調べて水滴識別を行う方式を提案した。また、2眼視では処理することが不可能である水滴の重なった部分の処理についてはカメラを3台にすることにより3枚の画像で水滴が重ならない限り処理が可能な手法を提案

し、実験により本手法の有効性を確認した。

今後の課題として、カメラ間で視差が存在する近景画像を対象とした場合の処理や、各閾値の自動設定の検討が挙げられる。

〔文 献〕

- 1) 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-, 4, pp.568-576, (1996).
- 2) 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, 30, 3, pp.251-259, (2001).



くらもと まさゆき
蔵本 昌之 2001年, 静岡大学工学部機械工学科卒業。同年, 静岡大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程入学。主として画像処理に関する研究に従事。



やました じゅん
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, ロボット群の動作計画, ロボットの移動機構の研究に従事。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。



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。Ph.D. 曲線・曲面の設計, CAD/CAM, 要素自動分割の研究に従事。