

画像中の視野妨害となる水滴の除去に関する検討

蔵本 昌之^{*1}, 山下 淳^{*2}, 金子 透^{*2}, 三浦 憲二郎^{*2}

^{*1}静岡大学大学院理工学研究科 〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

^{*2}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

Tel/Fax : 053-478-1070

Email : kaneko@eng.shiizuoka.ac.jp

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面への水滴の付着によって、映像が見にくくなる等の支障がでることがある。そのような画像の画質を改善する一つの方法としては、水滴を抽出・除去し、除去した部分を周囲から補間して画像を修復する方法が考えられる。しかし、この方法では水滴の抽出が必ずしも容易ではなく、また水滴除去後の画像に真の値を反映させることはできない。そこで我々は、同時に複数のカメラにより撮影された画像を用いて水滴の存在位置を推定し、水滴を除去した画像を生成する方式を採用する。本稿では、視差の無い遠景画像を対象として、2眼視および3眼視の場合のアルゴリズムの提示、および実験の結果を行う。

キーワード

画像処理, 屋外監視, 水滴除去, 多眼視, 画像合成

A study on the removal of adherent water drops in images causing view disturbance

Masayuki Kuramoto^{*1}, Atsushi Yamashita^{*2}, Toru Kaneko^{*2}, Kenjiro T. Miura^{*2}

^{*1}Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

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

^{*2}Faculty of Engineering, Shizuoka University

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

Tel/Fax : 81-53-478-1070

Email : kaneko@eng.shiizuoka.ac.jp

Abstract

In rainy days, it is often the case that images taken by the camera are hard to see because of adherent water drops on the surface of the lens or the protecting glass. In this paper, we propose a method for improving the quality of such images. The method employs multiple camera images describing the same scene, and synthesizes an image in which the water drops are eliminated. A preliminary study is focused on algorithms for extracting water drops from two and three images of a distant scene in which no stereoscopic disparities exist.

key words

Image Processing, Outdoor surveillance, Water drop noise elimination, Multiple Cameras, Image Compound

1. はじめに

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]。しかし、この研究は動的対象物の検出であり静的対象物は検出できない。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[2]、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。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、動画から動的物体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。この対応策としては静的対象物である水滴を静止画から抽出、除去し、そして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を組み合わせることで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眼視による処理法

2眼視による水滴の処理方法について検討する。

Fig.1に2眼視による処理法を示す。処理は差分を基本とするが、位置のずれ、カメラの感度特性のずれ等が問題となってくる。そこで、処理は以下に示す6段階で行う。

- (1) 画像を取得する。
- (2) 画像の位置合わせを行う。
- (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、水滴の識別を行う。
- (6) 画像を修復する。

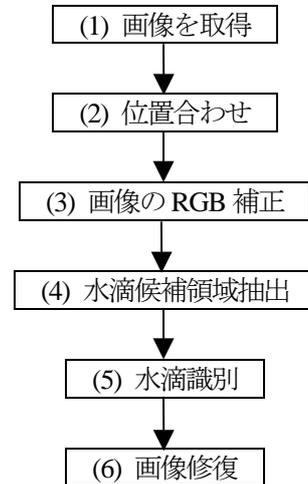


Fig.1 2眼視による処理法

2.1 画像を取得

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 位置合わせ

理想的には、2台のカメラで視差のない遠景画像を撮影して左右のカメラでずれのない画像を得ることができる。しかし、実際にはカメラを固定する際の設置誤差は避けられない。その結果、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。そのために位置合わせを行う。

2つの画像をグレイスケール化した画像1, 2の画素値を $f_1(i, j)$, $f_2(i, j)$ とする。そして、 $v \times h$ 画素サイズの画像より、(1)式から $S(k, l)$ が最小となる k, l を求める。ここで n は画像をトリミングするための適当な値である。

$$S(k, l) = \sum_{j=n}^{v-1-n} \sum_{i=n}^{h-1-n} |f_1(i, j) - f_2(i+k, j+l)| \quad (1)$$

$$(-n \leq k, l \leq n)$$

画像2のR, G, B成分を $R_2(i, j)$, $G_2(i, j)$, $B_2(i, j)$

とし、(2)式を用いて補正を行う。

$$\begin{cases} R_2(i, j) = R_2(i+k, j+l) \\ G_2(i, j) = G_2(i+k, j+l) \\ B_2(i, j) = B_2(i+k, j+l) \end{cases} \quad (2)$$

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。そこで、原画像のRGB補正を行う。画像1の画素値をいくつかのクラスに分ける。そして、クラスごとに(3)、(4)式より補正した $R_{2c}(i, j)$ 、 $G_{2c}(i, j)$ 、 $B_{2c}(i, j)$ を求める。

$$\begin{cases} \bar{r}_c = \left[\sum_{j=0}^{v-1} \sum_{i=0}^{h-1} \{R_{1c}(i, j) - R_{2c}(i, j)\} \right] / m \\ \bar{g}_c = \left[\sum_{j=0}^{v-1} \sum_{i=0}^{h-1} \{G_{1c}(i, j) - G_{2c}(i, j)\} \right] / m \\ \bar{b}_c = \left[\sum_{j=0}^{v-1} \sum_{i=0}^{h-1} \{B_{1c}(i, j) - B_{2c}(i, j)\} \right] / m \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $m = (h-|k|) \times (v-|l|)$ 、 c ：クラス番号

$$\begin{cases} R_{2c}(i, j) = R_{2c}(i, j) + \bar{r}_c \\ G_{2c}(i, j) = G_{2c}(i, j) + \bar{g}_c \\ B_{2c}(i, j) = B_{2c}(i, j) + \bar{b}_c \end{cases} \quad (4)$$

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、(5)式より各画像のグレイスケールの差分の絶対値 $e(i, j)$ をとる。

$$e(i, j) = |f_1(i, j) - f_2(i, j)| \quad (5)$$

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、(6)式より与えられる画素値 $f(i, j)$ を有する2値化画像を生成する。

$$f(i, j) = \begin{cases} 0, & e(i, j) \leq L \text{ のとき} \\ 1, & e(i, j) > L \text{ のとき} \end{cases} \quad (6)$$

全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、水滴のエッジを検出した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。それは、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、(7)式より画像 k の水滴候補領域番号 l におけるエッジ偏差の2乗和 E_{kl} を求める。

$$E_{kl} = \sum_{j=1}^s \left\{ \sum_{i=0}^8 (f_i - \bar{f})^2 \right\} \quad (k=1, 2) \quad (7)$$

l ：水滴候補領域番号， s ：エッジの画素数

$$\bar{f} = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^8 f_i$$

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、画像 k の水滴候補領域番号 l における領域内分散 σ_{kl} を(8)式より求める。

$$\sigma_{kl} = \left\{ \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2 \right\} / h \quad (k=1,2) \quad (8)$$

h ：水滴候補領域の画素数

\bar{f} ：水滴候補領域の画素値の平均

一般に、 σ_{1l} 、 σ_{2l} が小さいと水滴がある画像の E_{kl} は大きくなり、 σ_{1l} 、 σ_{2l} が大きいと水滴がある画像の σ_{kl} は小さくなる。そこで、①～③の条件から水滴の識別を行う。

$$\textcircled{1} \quad (\sigma_{1l} < P) \cap (\sigma_{2l} < P) \cap (\sigma_{1l} = 0 \cup \sigma_{2l} = 0)$$

に対して

E の小さい画像を選択。

$$\textcircled{2} \quad (\sigma_{1l} > Q) \cap (\sigma_{2l} > Q) \cap |\sigma_{1l} - \sigma_{2l}| > Q \text{ に対して}$$

σ の大きい画像を選択。

$$\textcircled{3} \quad \textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ 以外に対して}$$

画素値の小さい画像を選択。

3. 実験 (2眼視法)

実験では、デジタルカメラを使用し、左右のカメラから画像1, 2を取得した。Fig.2, Fig.3に画像1, 2の部分画像(180×120画素)を示す。この画像1, 2で

は、(1)式より $k=-12$, $l=0$ のとき $S(k, l)$ が最小となり、これを(2)式に代入して位置合わせを行った。

次に、クラス分けを行い（本実験では5つに分割）、(3), (4)式を用いて画像2のRGB成分の補正を行った。

原画像のRGB補正を行った画像から、画素値が0~255の範囲に対し、(6)式に適切な条件として $L=10$ を代入して2値化、収縮・膨張処理を行った。 $L<10$ ではノイズも多くなるために水滴同士が連結し良好に抽出できない。また、 $L>10$ ではノイズがほとんど消えてしまうが、水滴も同時に消えてしまう。得られた水滴候補抽出結果の一部を Fig.4 に示す。画像全体では場所によっては抽出領域が小さくなる部分もあったが、大部分においては適切な抽出が行われている。

(7), (8)式より E_{kl} , σ_{kl} を求め、①~③の条件から水滴を識別し、除去した。 P, Q の値は、数種類の画像で実験し、水滴を誤検出ししない値として $P=2.5$, $Q=5.0$ を決定した。この値を用いて水滴識別を行い、画像を修復した。修復結果の一部を Fig.5 に示す。Fig.5 より、良好な結果が得られていることがわかる。



Fig.2 画像1(2眼視)



Fig.3 画像2(2眼視)



Fig.4 水滴候補抽出



Fig.5 修復画像

4. 3眼視による処理法

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枚の画像による単純な多数決で水滴の処理法が考えられる。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ことがある。そこで Fig.6 に示すような処理を行う。処理は以下の5段階からなる。

- (1) 前処理を行う。
(画像を取得, 位置合わせ, 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次除去を行う。
- (5) 画像を修復する。

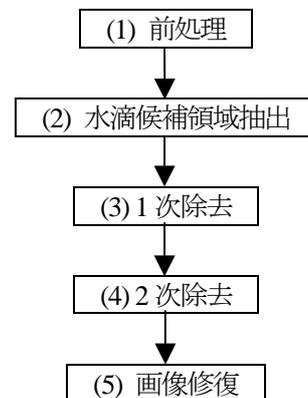


Fig.6 3眼視による処理法

4.1 前処理

前処理として、2眼視の処理のときと同様な方法で Fig.1 の(1)~(3)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

画像 1, 2 のグレイスケール差分をとり、閾値を与えて二値化した値 $\alpha_{12}(i, j)$ を(9)式より求める。

$$\alpha_{12}(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{水滴候補領域} \\ 0 & \text{その他の領域} \end{cases} \quad (9)$$

同様に画像 2, 3 を $\alpha_{23}(i, j)$ 、画像 3, 1 を $\alpha_{31}(i, j)$ とする。次に、(10)式より $\beta(i, j)$ を求める。

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

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

4.2 1次除去

処理の手順としては、まず画像 1, 2 から $\beta(i, j) > 1$ かつ $\alpha_{12}(i, j) = 1$ となる領域にラベリングを行う。そして、①~⑤の条件から水滴を識別し1次除去を行う。

① $(\sigma_{1l} < T) \cap (\sigma_{3l} < T) \cap (|\sigma_{1l} - \sigma_{2l}| > U)$

に対して

画像 1 を選択。

② $(\sigma_{2l} < T) \cap (\sigma_{3l} < T) \cap (|\sigma_{1l} - \sigma_{2l}| > U)$

に対して

画像 2 を選択。

③ $(\sigma_{1l} < P) \cap (\sigma_{2l} < P) \cap (\sigma_{1l} = 0 \cup \sigma_{2l} = 0)$

に対して

E の小さい画像を選択。

④ $\sigma_{1l} > Q \cap \sigma_{2l} > Q \cap (|\sigma_{1l} - \sigma_{2l}| > Q)$ に対して

σ の大きい画像を選択。

⑤ ①, ②以外に対して

画素値の小さい画像を選択。

同様に、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。

4.3 2次除去

水滴除去した3枚の画像について(5), (6)式を用いて2値化し、3枚の画像の画素値を比較して多数決で水滴を判断し水滴の2次除去を行う。

5. 実験

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 (512×480画素) を Fig.7, Fig.8, Fig.9 に示す。本実験では、1台のカメラをスライドさせたため、原画像の 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以下であったため位置合わせも不要であった。

次に、差分画像の2値化を行った。閾値は $L=10$ を用いて(9)式より水滴候補を求め、(10)式から $\beta(i, j)$ を求めた。

(7), (8)式を用いて σ_{kl} , E_{kl} を求め、①~⑤の条件から水滴を識別し1次除去を行った。 P, Q, T, U の値はそれぞれ $P=2.5, Q=6.0, T=0.6, U=0.5$ とした。

そして、得られた画像3枚から水滴の2次除去を行った。処理した画像を Fig.11 に示す。また、比較のために単純に多数決で処理をした画像を Fig.10 に示す。Fig.11 の中央部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ことがわかる。

しかし、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. おわりに

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検討した。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枚の画像で重ならない限り処理が可能な手法を提案した。予備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、画像中に運動物体が存在する場合や水滴がガラス面上を移動する場合の処理についての検討が挙げられる。



Fig.7 画像1 (3眼視)



Fig.10 単純な多数決法による修復画像



Fig.8 画像2 (3眼視)



Fig.11 提案手法による修復画像



Fig.9 画像3 (3眼視)

参考文献

- [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”, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J79-D-II, No. 4, pp. 568-576, 1996.
- [2] 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, Vol. 30, No. 3, pp. 251-259, 2001.