

複数のカメラを用いた局所的視野妨害ノイズ除去

蔵本 昌之 山下 淳[†] 金子 透 三浦 憲二郎

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: [†]yamashita@iecee.org

あらまし 本研究では、複数カメラから得られる画像を用いて、レンズの保護ガラス面に付着した視野妨害ノイズを除去する方法を提案する。まず、同時に複数のカメラによって撮影された画像中の視野妨害ノイズの位置を抽出する。そして、画像中の特徴量や論理演算を用いて視野妨害ノイズを識別し、付着していない部分を組み合わせることで視野妨害ノイズを除去した画像を生成する。提案手法の有効性を実験によって示す。

キーワード ノイズ除去, 画像合成, 多眼視

Removal of Adherent Noises in Images by Using Multiple Cameras

Masayuki KURAMOTO Atsushi YAMASHITA[†] Toru KANEKO and Kenjiro T. MIURA

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

E-mail: [†]yamashita@iecee.org

Abstract We propose a new method for the removal of view-disturbing noises from images taken with multiple cameras. In outdoor environment, it is often the case that scenes taken by the cameras are hard to see because of adherent noises on the surface of the lens protecting glass. The proposed method analyses multiple camera images describing the same scene, and synthesizes an image in which adherent noises are eliminated.

Keyword Noise Elimination, Image Compound, Multiple Cameras

1. 序論

近年のコンピュータ及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、屋内外環境下における監視カメラを用いた画像処理技術による自動的な侵入者や進入物の検出を行うシステムの研究・開発が盛んに行われている。しかし、野外環境でカメラから得られる情報を用いる場合には環境条件に画像の質が影響される。例えば、時間の経過や日中と夜間あるいは晴天と曇天といった照明条件の変化に加え、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。特に雨天時においては水滴や泥などがカメラの保護ガラス面に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。

そこで本研究では、画像中から視野妨害ノイズを除去する手法を提案する。視野妨害ノイズが存在する画像から視野の明瞭化を行うには、視野を妨害するノイズ領域の検出とノイズ領域の画像補間の2つが必要である。

ノイズ領域の検出については、照明条件の変化[1]や天候の変化[2][3]、背景自体の変化[4]に対してロバストな画像中の移動物体検出方法など、背景差分法やフレーム間差分法を基本としたものが考えられる。しかし、これらの方法は運動しているノイズを検出することはできるが、静止している視野妨害ノイズを検出するのは困難である。

また、もう1つの課題であるノイズ領域の補間につ

いても様々な手法が提案されている。CG 的アプローチ[5], [6]を用いて補間することが考えられる。しかし、これらの方法は複雑なテクスチャパターンの再現性、大きいノイズへの適応性が悪い。

そこで本研究では、複数のカメラから得られる複数枚の同一シーン画像を用いることで視野妨害ノイズの除去し、視野妨害ノイズの付着していない部分を組み合わせることで視野の明瞭化を図る方式を提案する。この手法は、静止しているノイズ領域の検出にも適応が可能で、動画にも対応でき、ノイズ領域を忠実に再現でき

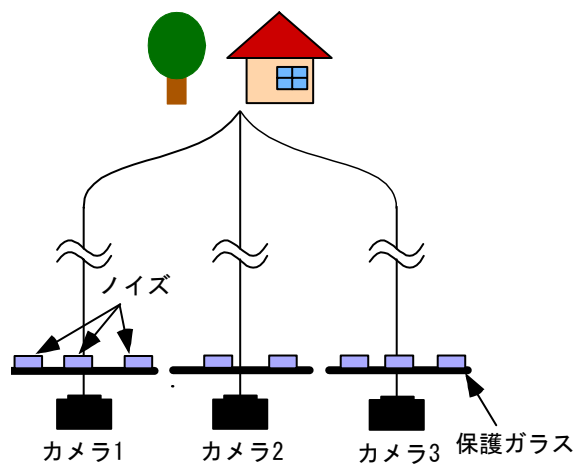


図1 撮影環境

る。本方式では、水滴などの視野妨害ノイズの3次元計測は一切行わない。また、画像間での差分処理が基本となるために、画像中の同一シーン部分には互いに位置ずれがないことを前提としている。そのため、複数台のカメラ同士の距離に比べ、撮影対象の距離が非常に大きいものとし、カメラ間の光軸はそれぞれ平行、走査線も平行になるようにカメラを設置する。本研究では、カメラの台数は2台、もしくは3台とする(図1)。

2. 視野妨害ノイズ除去の原理

2台、もしくは3台のカメラを用いて視差の影響を受けない遠景画像を取得すると、視野妨害ノイズが付着していない部分では全く同じシーンを撮影しているため画像間に差が生じない(図2(a)(b))。しかし、視野妨害ノイズが付着している部分では画素値が変化し、画像間に差が生じる。したがって、2枚の画像間で差分処理を行うことにより、視野妨害領域を出することができる(図2(c))。

ただし、視野妨害領域の情報からではどちらの画像に視野妨害ノイズが付着しているのか識別することはできない。そのため、視野妨害領域における原画像の情報を用いることで、どの画像に視野妨害ノイズが付着しているのかを識別する。そして、基準画像の視野妨害ノイズが付着している部分には他の画像の視野妨害ノイズが付着していない部分を組み合わせることで1枚の画像を作成し、視野の明瞭化を図る(図2(d))。なお、カメラを3台用いた場合、中央に設置されたカメラから得られる画像2を基準画像とし、同様にカメラを2台用いた場合も画像2を基準画像とする。また、カメラを2台用いた視野妨害ノイズの識別方法は2種類の特徴量を利用し、カメラを3台用いた場合には特徴量に加え集合演算を行うことでより多くの視野妨害ノイズが付着する画像に対して視野の明瞭化を行う。

3. 画像のレジストレーション

カメラの設置の際にカメラ間の光軸を平行、走査線を平行にすれば位置ずれのない画像を得ることができ

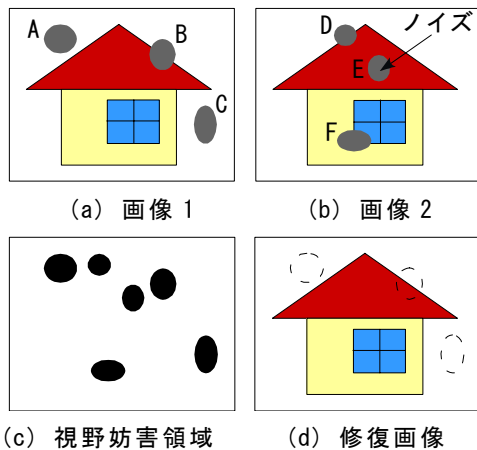


図2 処理の概要

る。しかし、実際には上記の通り正確に設置することは困難であり、位置ずれは避けられない。また、カメラの感度特性の違いから色ずれも生じる。したがって、差分処理を行う際に、画像間で位置関係や色合いに差が生じると、視野妨害ノイズ以外の部分でも差が大きくなり、視野妨害領域を正しく抽出することができない。そこで、画像間の位置合わせと色合わせを行う。

位置合わせは、遠景画像を対象としていることから背景を1つの平面とみなすことができ、画像上での対応点は射影変換によって関係付けられる。そこで、各画像の対応点の座標を合わせるため、変換させる画像の座標 (x_i, y_i) を基準画像の座標 (x_j, y_j) に合わせるとすれば(3)、(4)式が成り立つ。

$$x_i = \frac{a_{11}x_j + a_{12}y_j + a_{13}}{a_{31}x_j + a_{32} + 1} \quad (1)$$

$$y_i = \frac{a_{21}x_j + a_{22}y_j + a_{23}}{a_{31}x_j + a_{32} + 1} \quad (2)$$

色合わせは、基準画像のグレイスケールの濃度をいくつかのクラスに分け、そのクラスに応じてRGB成分の平均値が等しくなるように補正する[7]。

4. 視野妨害領域の抽出

4.1. 差分による視野妨害領域抽出

視野妨害領域を抽出するため、(3)式より画像 i と画像 j の差分処理を行う。

$$g_i(x, y) = \begin{cases} 0, & |f_i(x, y) - f_j(x, y)| \leq L \\ 1, & |f_i(x, y) - f_j(x, y)| > L \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $f_i(x, y)$ は画像 i の座標 (x, y) におけるグレイスケール値とする。 $g_i(x, y) = 1$ となる領域を視野妨害領域と定義する。閾値 L は背景によって異なることから、視野妨害領域毎に決定する必要がある。もし、閾値 L が大きいと視野妨害領域が小さく抽出され、小さいと誤検出が多くなる。そこで、視野妨害領域毎に閾値 L を変動させ、視野妨害ノイズが付着した領域に現れる性質を利用して自動的に求める。

4.2. 視野妨害ノイズの性質

視野妨害ノイズが画像に付着した領域には以下のような性質が現れる。

- ① 視野妨害ノイズが付着した画素では像がぼやけるため、視野妨害ノイズが付着していない画素に比べて視野妨害ノイズが付着している部分での画素値の変化(偏差)は相対的に小さくなる。ここでは、①の視野妨害領域内の変化は(4)式を用いて求める。

$$D_{kl} = \frac{1}{h_l} \sum_{i=1}^{h_l} \{f_{ki}(x, y) - \hat{f}_{kl}\}^2 \quad (4)$$

ただし、 k は画像番号、 l は視野妨害領域のラベル番号、 h_l は l 番目の視野妨害領域の画素数、 $f_{kl}(x,y)$ は画像 k の l 番目の視野妨害領域に属する画素値、 \bar{f}_{kl} は画像 k の l 番目の視野妨害領域の画素値の平均である。

② 視野妨害が付着した画素に比べ、付着している画像は輪郭部の画素値の変化が相対的に大きくなる。

また、②の輪郭部の画素値の変化は(7)式を用いて求める。

$$\bar{f}_{kl} = \frac{1}{9} \sum_{x=\alpha_l-1}^{\alpha_l+1} \sum_{y=\beta_l-1}^{\beta_l+1} f_{kl}(x,y) \quad (5)$$

$$V_{kl} = \frac{1}{9} \sum_{x=\alpha_l-1}^{\alpha_l+1} \sum_{y=\beta_l-1}^{\beta_l+1} \{f_{kl}(x,y) - \bar{f}_{kl}\}^2 \quad (6)$$

$$A_{kl} = \frac{1}{N_l} \sum_{n=1}^{N_l} V_{kl}(n) \quad (7)$$

ただし、 (α_l, β_l) は l 番目の視野妨害領域の最外郭画素、 $V_{kl}(n)$ は画像 k の l 番目の視野妨害領域における n 番目の画素の分散、 N_l は着目画素数とする。以上の性質を表す式を用いて閾値の決定や視野妨害ノイズの付着画像の識別を行う。

4.3. 閾値の決定

視野妨害領域 l の適切な閾値 L_l を決定するため、 L_l を変動させる。ここで、閾値が L_l のときの(7)式の A_{kl} を $A_{kl}(L_l)$ とし、 $A_{kl}(L_l)$ を視野妨害領域毎に探索的に求める。

$$A_{kl}(L_l) \rightarrow \max \quad (8)$$

(8)式を満たす L_l を適切な閾値とする。ただし、異なるラベル番号の視野妨害領域が隣り合う場合、別々の視野妨害領域として L_l を求める。

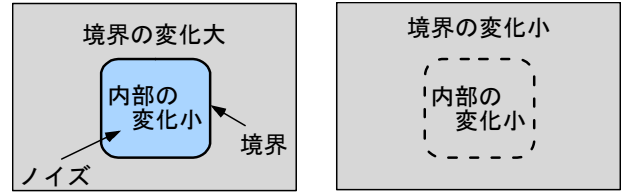
最後に、抽出された視野妨害領域に収縮、膨張処理を順に行うことによって細かいノイズを除去することができる。

5. 視野妨害ノイズの識別

差分処理によって求められた視野妨害領域だけではどちらの画像に視野妨害ノイズが付着しているか識別することはできない。そこで、視野妨害領域の特徴量、及び集合演算を用いることで視野妨害ノイズが付着している画像の識別を行う。

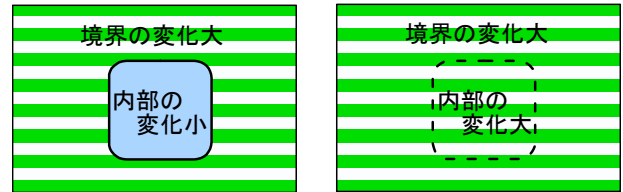
5.1.2 眼視による識別

①、②の性質を利用して視野妨害ノイズの識別を行う。まず、背景が単純な（各画像の D_{kl} が小さい）部分に付着する視野妨害ノイズ（図2中A、C、E）について考える。背景が単純な部分では、どちらの画像も視野妨害領域内の画素値の変化は小さい（図3）。したがって、②の性質から A_{kl} の小さい画像を用いれば良い。それに対し、背景が複雑な（各画像の D_{kl} が大きい）



(a) ノイズが付着した画像 (b) ノイズがない画像

図3 単純な背景の場合



(a) ノイズが付着した画像 (b) ノイズがない画像

図4 複雑な背景の場合

部分に付着する視野妨害ノイズ（図2中B、D、F）は、②の性質を用いて区別することは難しい（図4）。そこで、①の性質の D_{kl} が大きい画像を用いれば良い。

また、どちらの性質にも当てはまらない場合、視野妨害領域内の画素値の平均の和をとる。そして、その値がある閾値より高い場合には、内部の平均値が高い画像に視野妨害ノイズが付着しているとし、逆に低い場合には、平均値が低い画像に付着している。これは、水滴のような透明物体が付着している場合は光を集めるため周りの画素に比べ明るくなり、それ以外の物体は光を通さないため暗くなるからである。

5.2.3 眼視による識別

3枚の画像を用いるとき、単純に3枚の画像の画素値を比較し多数決によって処理するという方法が考えられる。この方法では2枚の画像で同一の部分に視野妨害ノイズが付着する場合、誤検出することが考えられる。

そこで、画像の特徴量（領域内、輪郭部の画素値の変化量）に加え集合演算を用いることで視野妨害ノイズを識別する。

まず、(9)式より $h(x,y)$ を求める。

$$h(x,y) = g_{12}(x,y) + g_{23}(x,y) + g_{31}(x,y) \quad (9)$$

$h(x,y)$ の値が0~2の場合、付着した視野妨害ノイズは1枚の画像にしか存在せず、画素毎に視野妨害ノイズの識別を行う。 $h(x,y)$ の値が3の場合には、付着した視野妨害ノイズが複数の画像に存在するため、画素毎に処理することはできない。したがって、視野妨害領域毎に視野妨害ノイズの識別を行う。

Case1 $h(x,y) = 0$

視野妨害ノイズはどの画像にも付着していない。そのため、基準画像を用いる。そして、基準画像の視野妨害ノイズが付着する部分だけ他の画像から補間すれ

ば良い。

Case2 $h(x,y)=1$

視野妨害ノイズはどの画像にも存在しないが画素値の違いから視野妨害領域が抽出された場合である。そのため、 $g_{ij}(x,y)=1$ の場合、画像*i*と画像*j*の画素値の変化が大きいことから、画像*i*と画像*j*に対し画素値の変化が小さいもう1つの画像を用いれば良い。

Case3 $h(x,y)=2$

視野妨害ノイズが1枚の画像のみ付着している場合である。したがって、 $g_{ij}(x,y)=0$ となり、画像*i*と画像*j*には視野妨害ノイズが付着していないことになる。もし、画像*i*か画像*j*が基準画像であれば、基準画像を用いれば良い。また、基準画像でなければ、どちらか一方の画像を用いる。

Case4 $h(x,y)=3$

$h(x,y)=3$ を満たす領域は3種類に分類することができる。図5の(a)~(c)は原画像、(d)~(g)は視野妨害領域、及び $h(x,y)$ である。

Case4-1

図5において、 $h(x,y)=3$ を満たす領域Aは、 $h(x,y)=2$ を満たす領域Bと領域Cに隣接している。領域Bと領域CについてはCase3より視野妨害ノイズが付着していない画像が識別できる。したがって、領域Aに用いる画像は、領域Bと領域Cのいずれにも視野妨害ノイズが存在しない画像を用いれば良い。

Case4-2

図5において、 $h(x,y)=3$ を満たす領域Dは、 $h(x,y)=2$ を満たす1つの領域に囲まれている。この場合、領域Dと領域Eは一致するため、領域Eの視野妨害領域の元である画像*i*か画像*j*のうち視野妨害領域の A_{ij} が小さい画像を用いれば良い。

Case4-3

図5において、 $h(x,y)=3$ を満たす領域Fは、 $h(x,y)=2$ を満たす3つの領域に囲まれている。領域Fの視野妨害ノイズは2枚、もしくは3枚の画像に付着している。しかし、この領域を分けることができないため、ここでは画素毎に処理を行う。視野妨害ノイズが2つの画像に付着していると仮定すると、付着していない1つの画像の画素値は、他の画像に比べ差が生じるはずである。したがって、画像間で画素値の差が他の2枚との画素値の差より大きくなる画像を視野妨害ノイズが付着していない画像と識別することができる。

6. 実験

実験では、デジタルカメラを使用し、カメラの保護ガラスをカメラから30mm前に置き、保護ガラスに視野妨害ノイズを付着させ3眼視の手法を用いて実験を行った(画像サイズ: 640×480pixel)。カメラ間の基線長はそれぞれ83mm, 90mmとする。取得した3枚の画像、及び3眼視による提案手法の結果を図6~図9に示す。図6~図8の画像に見られる白いノイズが水滴、黒いノイズが付着させた汚れである。水滴のような透明物体以外が保護ガラス面に付着すると、背景にピントが合わせてあることから黒くぼけたノイズとして画像に現れる。図9を見ても分かるように視野妨害ノイズが除去されていることが分かる。また、図6~図8の画像全体に対する視野妨害ノイズの割合の平均は6.4%に対し、本手法を用いることで1.0%まで減少した。

また、視野妨害ノイズが多い場合についても実験を行った。視野妨害ノイズには水滴を用い、保護ガラスに付着させた。なお、画像はカメラを20mm間隔で平行移動し、撮影したものである。取得した3枚の画像を図10~図12に示す。2眼視による手法では図10、図11の画像を用いた。処理結果を図13に示す。多少の誤認識もあるが、水滴ノイズの重ならない場所では水滴を除去することが可能であることが確認された。

図15は文献[7]の方法を用いて水滴を除去した結果である。その際、図14の手動で水滴の位置を指定した画像を利用した。この方法の各種のパラメータ設定などを確実に再現したわけではないが、建物の上部の直線が凸凹になっていることや、窓の部分は色が不自然になっている。また、水滴が大きい部分の再現性に欠けていること分かる。

図16は単純な多数決を用いた画像、図17は3眼視による提案手法用いた結果である。図16では水滴が多少目立つのに対し、図17ではほぼ水滴がない画像を生

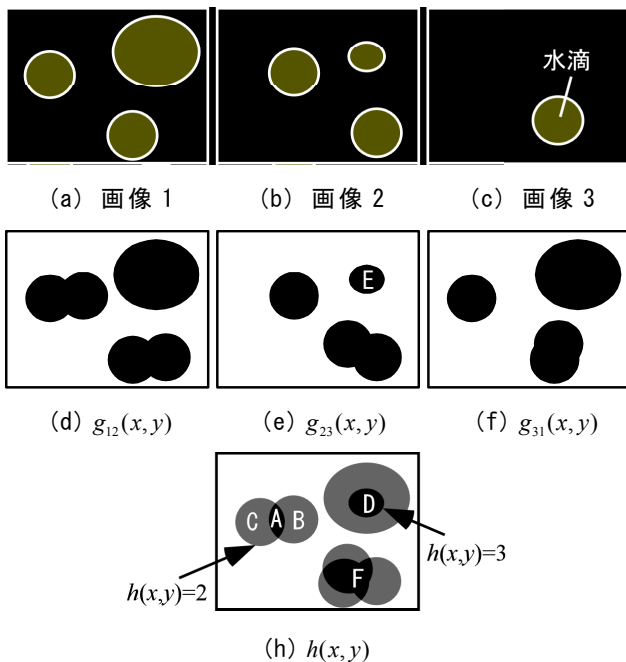


図5 領域が重なる場合

成することができた。また、図 10～図 12 の水滴の割合が平均で 12.3%であることにに対し、2 眼視による提案手法（図 13）では 3.3%，単純な多数決による処理（図 16）では 2.7%，3 眼視による提案手法（図 17）では 0.8%まで減少した。

以上の結果により本手法の有効性を定性的・定量的に示された。

7. 結論

カメラの保護ガラスに付着した視界をさえぎるノイズを含む画像から視野妨害ノイズのみを除去するため、複数のカメラを用いる方法を提案した。画像間の差分処理で視野妨害領域を抽出した後、画像の画素値の特徴量や集合演算を用いて視野妨害ノイズが付着している画像を特定し、複数の画像において付着していない部分を組み合わせることで視野の明瞭化を行うことができた。また、本手法は様々な視野妨害ノイズが付着した画像に適応した際にも容易に除去できることが確認できた。

今後の課題としては、動画への適応や画像間の視差が大きいケースへの対応が挙げられる。

文 献

- [1] 松山隆司, 和田俊和, 波部齊, 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, 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.
- [4] 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”, 電子情報通信学会論文誌 D- II, Vol.J80-D- II, No.5, pp.1086-1095, 1997.
- [5] Marcelo Bertalmio, Guillermo Sapiro, Vicent Caselles and Coloma Ballester: “Image Inpainting”, Proceedings of SIGGRAPH2000, pp417-424, 2000.
- [6] 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.
- [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.



図 6 画像 1



図 7 画像 2



図 8 画像 3



図 9 3 眼視による修復画像



図 10 画像 1



図 14 視野妨害領域（手動）



図 11 画像 2



図 15 文献[7]の手法



図 12 画像 3



図 16 単純な多数決による修復画像



図 13 2眼視による修復画像



図 17 3眼視による修復画像