複数カメラを用いた画像中の視野妨害ノイズ除去

正 員 山下 淳*,** 非会員 蔵本 昌之*,*** 非会員 金子 诱*

Removal of Adherent Noises in Images by Using Multiple Cameras

Atsushi Yamashita*,**, Member, Masayuki Kuramoto*,***, Non-member, Toru Kaneko*, Non-member

In this paper, we propose a new method that can remove view-disturbing noises from images taken with multiple cameras. In outdoor environment, it is often the case that scenes taken by 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. We show the effectiveness of the proposed method through experimental results.

キーワード: ノイズ除去,画像合成,複数カメラ,水滴

Keywords: noise elimination, image composite, multiple cameras, water drop

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,屋内外環境下において監視カメラを用いた侵入者や進入物の自動検出システムの研究・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。従って,画像中から視野妨害ノイズを除去し,視野明瞭化を行うことは重要である。

一般的に,ガラス面に付着したノイズを除去するために

* 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

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University 3–5–1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka 432–8561, Japan

** カリフォルニア工科大学 機械工学科

〒 91125 米国カリフォルニア州パサデナ市

Department of Mechanical Engineering, California Institute of Technology

1200 E. California Blvd. MC104–44, Pasadena, CA 91125, $_{\rm LISA}$

*** 富士写真フィルム株式会社 R&D 総括本部

〒 258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台 798

Research and Development Management Headquarters, Fuji Photo Film Co., Ltd.

798, Miyano-dai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa 258–8538, Japan

はワイパーが用いられる。しかし,屋外監視カメラにはワイパーを取り付けるための場所を確保することが難しく,現状ではワイパーが取り付けられているケースはほとんどない。更に,ワイパーを動作させた瞬間は,ワイパー自体が視野を妨害するという問題もある。また,ガラス面に特殊なオイルを塗ることにより,水滴が付着しないようにする試みもなされている。しかし,例えば台風のテレビ中継などで水滴によって視界が遮られた映像が放映されているなど,この方法も完全ではない。

上記のように物理的に視野妨害ノイズを除去するアプローチに対して、ソフトウエア的にこれらの問題を解決し、視野明瞭化を図ることは有効である。そこで本研究では、画像処理の技術を用いて、画像中から視野妨害ノイズを除去する手法を構築することを目的とする。

2. 従来研究と本研究のアプローチ

画像処理によって視野明瞭化を図るためには,画像中において視野を妨害するノイズの領域(場所)を検出することと,ノイズ領域の画像(テクスチャ)を補間することが必要となる。

ノイズ領域の検出については,画像1枚のみからどの部分がノイズでどの部分がノイズでないかを判別することは,シーン認識や画像理解といった非常に困難な問題となるため現実的ではない。そこで,背景差分法,フレーム間差分法,複数視点画像差分法など複数枚の画像からノイズ(移動物体)の位置を検出する方法を採用することが現実的であると考えられる。実際に,これらの研究については照明変化(1) や天候の変化(2)-(4),背景自体の変化(5) に対して

ロバストな手法も数多く提案されている。

背景差分法は,予め撮影しておいた背景画像と現在の画像の差分をとり,差が大きい部分を検出する方法である。 照明変化に弱いというこの方法の欠点を改良した手法も提案されているが(1),観測者自身の移動や視線方向の変化により背景自体が変化する際には用いることができない。

フレーム間差分法は,何フレームか前の画像と現在の画像の差分をとる方法であり,例えば古い映画フィルムの映像中ノイズを検出するためにも使用されている(⑥)。この方法の屋外環境への適用を考えると,照明条件や背景自体の変化には比較的強いため,降雪時に動的物体である降雪粒子のみを検出・除去して画像の明瞭化を行うこと(⑥) や,降雨水滴を検出・除去すること(⑥) は可能である。しかし,画面中に進入してから停止した物体を検出することが難しい。カメラの保護ガラス面に付着した水滴や泥などは移動せずに留まっていることが多いため,保護ガラス面に付着した視野妨害ノイズを検出することは困難である。

複数視点画像差分法は,複数台のカメラから得られる画像の差分により進入物を検出する方法である(**)。この方法は,照明変化に対してロバストであり,画面に進入後静止する物体を検出することも可能である。しかし,両方のカメラの様々な位置に視野妨害ノイズが付着した状況への対応策については言及されていない。更に,複数視点の画像の差分情報ではなく,三角測量の原理を用いた距離算出によって任意の場所の物体を検出し,抽出あるいは除去する方法も提案されている(**)-(11)。同様に,これらの手法でも検出すべき物体が両方のカメラの共通視野内に観測される必要があり,両方のカメラで異なった位置に付着した視野妨害ノイズへの対応は困難である。

また,もう一方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。古い映画フィルムの修正手法 (12)-(14) を用いることにより画像補間をすることは可能であるが,引っかき傷のようなノイズにしか対応できない。引っかき傷以外の形状のノイズについては,プロの絵画修復技師が行っているテクニックをまねた画像修復手法 (15)-(19),画像のフラクタル性を利用した画像復元手法 (20),固有空間法を用いた方法 (21) などが提案されている。これらの手法ではある程度の大きさまでのノイズに対応することは可能であるが,複雑なテクスチャパターンの再現性や更に大きいノイズへの適応性が悪い。また,いずれの方法もノイズの位置を人間が指定する必要があるため,自動的な処理には適さない。

以上,視野を妨害するノイズ領域の検出,及びノイズ領域の画像補間については,従来手法をそのまま用いることで問題を解決することはできない。

この問題に対して,首振りカメラの回転を利用して視野明瞭化を図る手法も提案されている (22)。しかし,異なる時刻に取得した2枚の画像を比較してノイズの位置を推定・補間しているため,カメラの動きと同様に移動する物体が視野内に存在する場合には誤認識を引き起こすという問題

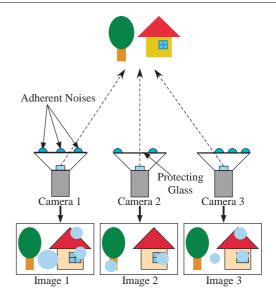


図 1 画像取得

Fig. 1. Image acquisition.

がある。

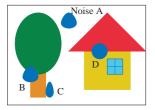
そこで本研究では,複数カメラを用いて同時に撮影した複数枚の同一シーン画像を用いることで視野妨害ノイズを検出し,視野妨害ノイズの付着していない部分を組み合わせて視野の明瞭化を図る方式を提案する。ここでは,それぞれのカメラの保護ガラス面に付着した視野妨害ノイズによって,同じ場所が全画像で遮蔽されている可能性が少ないことを利用する(図 1)。本研究では,文献(23)と異なりカメラの光軸や走査線の方向を厳密に一致させる必要がない。また,各種閾値も状況に応じて自動的に設定することができる。更に,ステレオ計測をベースとした手法(10)(11)のように対応点検出や画像補間のための繰り返し計算を行う必要がないため,原理的に高速処理に適していると考えられる。

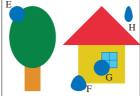
本手法は,原理的に静止しているノイズ領域の検出も可能であり,設置したカメラ間の位置関係が変化しない限りは,視野内の物体の動きやカメラ自体の動きにも影響を受けない。また,静止画・動画いずれにも対応可能であり,前述の画像補間手法よりもノイズ領域を忠実に再現できる。

3. 視野妨害ノイズ除去の原理

2台,もしくは3台以上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。従って,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(視野妨害ノイズの位置)を検出することができる(図2(c))。

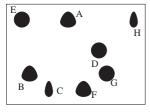
ただし,視野妨害領域の情報のみでは,どちらの画像に 視野妨害ノイズが付着しているのかを識別することはでき

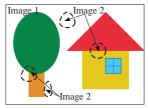




(a) Input image 1

(b) Input image 2.





(c) Noise regions.

(d) Image restoration.

図 2 処理の概要

Fig. 2. Overview of the proposed method.

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のテクスチャを組み合わせて 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台以上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。

4. 画像のレジストレーション

カメラの設置の際に複数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る。しかし,実際には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。従って,差分処理を行うに際に,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。

位置合わせについては,まずレンズ歪みの影響による歪曲収差の補正を各画像それぞれで行う。ここでは,Weng らのレンズのひずみモデル $^{(24)}$ 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, $(1) \sim (2)$ 式が成立する。

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

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

次に,同一シーンの画像となるよう画像の変換を行う。遠景画像を対象としていることから撮影対象は1つの平面とみなすことができ,変換前後の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,変換する画像の座標 (u,v) を基準画像の座標 (u_{new},v_{new}) に合わせるとすれば (3) ~ (4) 式が成り立つ。

$$u_{new} = \frac{a_{11}u + a_{12}v + a_{13}}{a_{31}u + a_{32}v + 1} \cdot \dots (3)$$

$$v_{new} = \frac{a_{21}u + a_{22}v + a_{23}}{a_{21}u + a_{22}v + 1} \dots (4)$$

ただし, a_{ij} は射影変換のためのパラメータである。厳密には,カメラからの距離が異なる 2 個以上の撮影対象が存在する場合には, a_{ij} は一意に定めることができない。しかし実際にはある程度遠景になると違いがほとんどなくなるため,カメラを設置する際に 4 点以上の対応点を指定することで a_{ij} を求めることができる。

画像のすべての座標においてこの処理を行うことで,基 準画像との位置ずれがない画像を生成できる。

位置合わせを行った後,画像間の微妙な色合いを補正するため色合わせを行う。具体的に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を行う(23)。

5. 視野妨害領域の抽出

 $5\cdot 1$ 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 (5) 式より画像 i と画像 j の差分処理を行う。

$$g_{ij}(u,v) = \begin{cases} 0, & |f_i(u,v) - f_j(u,v)| \le L \\ 1, & |f_i(u,v) - f_j(u,v)| > L \end{cases} \cdots (5)$$

ただし, $f_i(u,v)$ は画像 i の座標 (u,v) におけるグレイスケール値である。 $g_{ij}(u,v)=1$ となる領域を視野妨害領域と呼び,この領域には視野妨害ノイズが存在している。

ここで,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, $5\cdot 3$ 節に示すように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。

- 5·2 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。
 - (i) 視野妨害ノイズが付着した部分(画素)では像が ぼやける。従って,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)は小さくなる。
 - (ii) 視野妨害ノイズが付着した部分(画素)には輪郭が存在する。従って,視野妨害ノイズの輪郭部の画素値の変化は大きくなる。

前者 (i) の視野妨害領域内の変化は (6) 式を用いて求めることができる。

ただし,i は画像番号,l は視野妨害ノイズの番号, R_l 及び h_l は l 番目の視野妨害ノイズの集合及びその全画素数である。

また,後者(ii)の輪郭部の画素値の変化は(7)式を用いて求めることができる。

$$C_{i,l} = \frac{1}{n_l} \sum_{k=1}^{n_l} V_{i,k,l}, \qquad (7)$$

$$V_{i,k,l} = \frac{1}{9} \sum_{u=\alpha_{k,l}-1}^{\alpha_{k,l}+1} \sum_{v=\beta_{k,l}-1}^{\beta_{k,l}+1} \left\{ f_i(u,v) - \frac{1}{9} \sum_{u=\alpha_{k,l}-1}^{\alpha_{k,l}+1} \sum_{v=\beta_{k,l}-1}^{\beta_{k,l}+1} f_i(u,v) \right\}^2 \cdots (8)$$

ただし, $V_{i,k,l}$ は画像 i の l 番目の視野妨害ノイズにおける k 番目の画素の周囲 3×3 領域での分散であり, $(\alpha_{k,l},\beta_{k,l})$ 及び n_l を l 番目の視野妨害ノイズの最外郭画素と画素数とすると (8) 式で与えられる。

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がいずれの画像に付着しているかを識別することができる。

 ${f 5\cdot 3}$ 閾値の決定 画像 i の l 番目の視野妨害ノイズ領域の適切な閾値 L(i,l) を決定するため,L を視野妨害ノイズ毎に探索的に求める。具体的には,視野妨害ノイズの輪郭が一番明確に出るような閾値,すなわち $C_{i,l}$ が最大となる L の値を求める。

ただし,異なるラベル番号の視野妨害ノイズが隣り合う場合,別々の視野妨害領域として L(i,l) を求める。次に,抽出された視野妨害領域に対して収縮,膨張処理を順番に行うことによって細かいノイズを除去する。

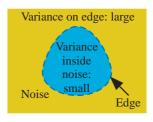
以上の処理により, 視野妨害ノイズの位置を検出することができる。

6. 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を識別することはできない。そこで,視野妨害領域の画像の特徴量,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。

6·1 2 眼視による識別 5·2 節で述べた視野妨害 ノイズの性質を利用して識別を行う。

背景が単純な(各画像の $I_{i,j}$ が小さい: $I_{1,j} \leq P$ かつ $I_{2,j} \leq P$)部分では,視野妨害ノイズの有無に関わらず,どちらの画像でも(i)の性質の画素値の変化(偏差)は小さいため,(i)の性質を用いてどちらの画像に視野妨害ノイズが付着しているかを判別することは難しい(図 3(a),(b))。それに対して,(ii)の輪郭に関する性質については,



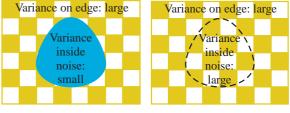


(a) Image with noise.

(b) Image without noise.

図 3 単純背景での視野妨害ノイズの特徴

Fig. 3. The features of the noise region on simple backgrounds.



a) Image with noise.

(b) Image without noise.

図 4 複雑背景での視野妨害ノイズの特徴

Fig. 4. The features of the noise region on complicated backgrounds.

視野妨害ノイズの有無によって大きく異なる。従って,(ii)の性質から $C_{i,l}$ の大きい方の画像(図 $3(\mathbf{a})$)に視野妨害ノイズが付着していると識別できる。

一方,背景が複雑な(各画像の $I_{i,j}$ が大きい: $I_{1,j}>P$ かつ $I_{2,j}>P$ かつ $|I_{1,j}-I_{2,j}|>Q$)部分では,輪郭があるのか背景が複雑であるのかの区別がつきにくく, (ii) の性質を用いて識別することは難しい(図 $4(\mathrm{a})$, (b) 》。そこで,像がぼやけるという (i) の性質を用い, $I_{i,j}$ が小さい方の画像(図 $4(\mathrm{a})$)にノイズが付着していると識別できる。

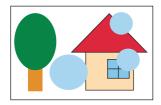
また,どちらの性質にも当てはまらない場合[†],視野妨害ノイズ内の画素値の平均の和をとる。その値が閾値 R より高い場合には,内部の平均値が高い画像に視野妨害ノイズが付着しており,逆に低い場合には,平均値が低い画像に付着していると判断する。これは,水滴のような透明物体が付着している場合は光を集めるため周りの画素に比べ明るくなり,それ以外の泥のような物体は光を通さないため暗くなるからである。

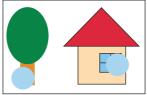
6·2 3 眼視による識別 取得した画像が 3 枚以上の場合には,集合演算を行うことにより精度良く視野妨害 ノイズの識別を行うことができる。

ここで、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。しかし、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には誤認識を引き起こす。

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

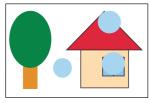
[†] ほとんどの場合,上述の2通りに分類されるため,どちらの性質にも当てはまらないことは少ない。

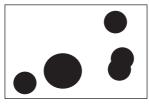




(a) Input image 1.

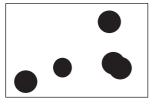
(b) Input image 2.

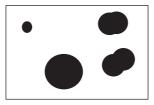




(c) Input image 3.

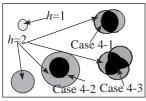
(d) $g_{12}(u, v)$





(e) $g_{23}(u,v)$

(f) $g_{31}(u,v)$





(g) h(u,v).

(h) Case4-3.

図 5 視野妨害ノイズの識別

Fig. 5. Judgment of noise regions.

る。まず,(9) 式より h(u,v) を求める(図 5)。ここで,図 5 の (a) ~ (c) は原画像,(d) ~ (h) は視野妨害領域と h(u,v) である。

h(u,v) の値が $0\sim 2$ 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しない。これらの場合には,画素毎に 視野妨害ノイズの識別を行う。それに対して,h(u,v) 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が困難である。従って,視野妨害領域毎に視野妨害ノイズの識別を行う。

Case 1: h(u,v)=0 のとき

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,基準画像の画素値を用いて視野明瞭化画像を生成する。 Case $2\colon h(u,v)=1$ のとき

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, $g_{ij}(u,v)=1$ となる差分画像について考えると,画像 iと画像 j の画素値の変化が大きいことになる。従って,画像 iと画像 j に対し画素値の差が小さいもう 1 枚の画像を用

いて明瞭化画像を生成する。

Case 3: h(u,v)=2 のとき

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。従って, $g_{ij}(u,v)=0$ となる画像 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。よって,もし画像 i または画像 j が基準画像であれば,基準画像を用いる。また,基準画像でなければ,どちらか一方の画像を用いる。Case 4: h(u,v)=3 のとき

h(u,v)=3 を満たす領域は、図 $5(\mathrm{h})$ 中の Case 4-1, Case 4-2, Case 4-3 の 3 種類に分類することができる。

• <u>Case 4-1</u>

h(u,v)=3 を満たす $Case\ 4-1$ の領域(図 5(g) 中黒色の部分)は,h(u,v)=2 を満たす領域(図 5(g) 中灰色の部分)に隣接している。隣接した領域については $Case\ 3$ 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。従って, $Case\ 4-1$ の領域には,隣接した領域のいずれにも視野妨害ノイズが存在しない画像(この場合は図 5(b) となる)を用いる。

• Case 4-2

h(u,v)=3 を満たす $Case\ 4-2$ の領域 (図 5(g) 中黒色の部分) は ,h(u,v)=2 を満たす 1 つの領域 (図 5(g) 中灰色の部分) に囲まれている。この場合 , $Case\ 4-2$ の領域を囲む領域の視野妨害領域の元である画像 i , j のうち , 視野妨害領域の $C_{i,l}$ が小さい画像 (この場合は図 5(b) となる) を用いる。

• Case 4-3

図 5(g) において,h(u,v)=3 を満たす Case~4-3 の領域(図 5(g) 中黒色の部分)は,h(u,v)=2 を満たす 3 つの領域(図 5(g) 中灰色の部分)に囲まれている。Case~4-3 の領域では,視野妨害ノイズは 2 枚,もしくは 3 枚の画像に付着しており,4 種類の領域から構成される(図 5(h) 中 $A\sim D$)。しかし,領域 $A\sim D$ を判別して分割す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 枚の画像に付着していると仮定すると,付着していない 1 枚の画像の画素値は他の画像に比べ差が大きくなるはずである。従って,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。

なお , 画像枚数が 4 枚以上の場合も同様の考え方で処理を行うことが可能である。

7. 実 験

視野妨害ノイズが付着した保護ガラス面を各カメラの手前約 $20\mathrm{mm}$ に設置し,実験を行った。画像の取得にはディジタルカメラを使用し,画像サイズは 640×480 とした † 。

[†] 画像補間手法を評価する際には,画像データベースの画像を使用することが多い。しかし,カメラの保護ガラス面に視野妨害ノイズが付着した状況を想定した複数視点での画像データベースが存在しないため,独自に撮影した画像を提案手法の評価に用いた。





(a) Original image 1.

(b) Original image 2.





(c) Registration result.

(d) Noise region.



(e) Result.

図 6 実験結果 1

Fig. 6. Experimental results I.

また, $5\cdot 1$ 節における視野妨害領域抽出の閾値 L を最適化する範囲は 40 から 8 とし, $6\cdot 1$ 節における背景の複雑さを判別するための閾値は P=800,Q=50,R=200と設定した。なお,これらの値は事前にオペレータが試行錯誤的に決定し,全実験を通じて同じ値を用いた。

2台のカメラを用いて視野明瞭化を行った結果を図 6 に示す。図 6(a),(b) は原画像であり,保護ガラス面に付着した視野妨害ノイズは水滴である。図 6(c) は原画像 1 の位置合わせを行った結果であり,画像周辺の黒い部分は 2 台のカメラの共通視野以外の部分である。水滴位置を判別した結果を図 6(d)に,視野明瞭化結果を図 6(e)に示す。原画像における全画素に対するノイズの割合が平均 3.8%であったことに対し,結果の画像では 1.1%まで減少した † 。

この結果より、視野妨害ノイズがそれほど多くない場合には、2台のカメラを用いることでほとんどのノイズを除去可能であることが確認できた。

次に,水滴と泥が付着した場合に3台のカメラを用いて視野明瞭化を行った結果を図7に示す。背景にピントが合っていることから,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黒くぼけたノイズとして画像に現れる。図 $7(a) \sim (c)$ は原画像,図7(d)は最終結果である。この例では,原画像では平均6.4%ノイズが付着していたことに対





(a) Original image 1.

(b) Original image 2.





(c) Original image 3.

(d) Result.

図 7 実験結果 2

Fig. 7. Experimental results II.





(a) Original image 1.

(b) Original image 2.





(c) Original image 3.

(d) Result.

図 8 実験結果 3

Fig. 8. Experimental results III.

し,最終結果では1.0%まで減少した。

よって,本手法はノイズの色に関わらず視野明瞭化が可能であることが確認できた。

また , 画像には水滴が付着し , ワイパー状の長尺物が画面中を横切った場合の結果を図 8 に示す。図 $8(a) \sim (c)$ は原画像 , 図 8(d) は最終結果である。この例では , 原画像では平均 6.9% ノイズが付着していたことに対し , 最終結果では 0.2%まで減少した。

よって,本手法はノイズの形状の関わらず視野明瞭化が可能であることが確認できた。

次に , 視野妨害ノイズが多い場合の結果を図 9 に示す。図 $9(a) \sim (c)$ が原画像であり , 非常に多くの水滴が付着している。図 9(a) , (b) のみを用い , 2 画像による視野明瞭化手法を用いた結果を図 9(d) に示す。多少の誤認識もある

[†] ノイズの割合は人間が目視で位置を確認し,画素数を計測することにより求めている。

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できた。

また,人間が手動で水滴の位置を指定した結果図 9(e)を 用いて Image Inpainting (15) により水滴を除去した結果を 図 9(f) に示す † 。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ことが確認でき 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。

更に,単純な多数決を用いて画像補正を行った結果を 図 9(g), 3 枚の画像を用いた結果を図 9(h) に示す。単純な 多数決を用いた方法では水滴が多少目立つのに対し,提案 手法ではほぼ水滴がない画像を生成することができた。実 際に , 図 9(a) ~ (c) の水滴の割合が平均 12.3%であること に対し,2画像による提案手法図9(d)では3.3%,単純な 多数決による処理図 9(g) では 2.7% , 3 画像よる提案手法 図 9(h) では 0.8%まで減少した。

8. 考 察

実験ではカメラ間の距離(基線長)が数十 mm 程度であ リ,一番近い対象との距離は数 m 程度であった。厳密には 画像間には視差が存在しているが、ほとんど影響はなかっ た。これは,基線長に対して対象までの距離が非常に大き いことと,ノイズの位置を検出する際に閾値を自動的に変 動させているため画像間で多少ノイズの位置が異なってい ても問題なく検出できたことによる。

計算時間については, CPU が Pentium IV 2.53MHz, メモリが 512MB の計算機を用いた場合,実験に示した画 像例ではいずれも分オーダで処理が終了した。視野妨害ノ イズの数が増えると,それに比例してノイズ検出のための 閾値 L 検出の時間が増加するため , 計算時間の大半は閾値 L を求めるために費やされた。ただし本手法では,対象や 視野妨害ノイズの3次元計測は一切行っていないため,原 理的には対応点検出が必要なステレオ計測よりも高速に処 理が可能である。また、画面全体や一定範囲内で閾値を固 定することや, 閾値決定を行うときのみ解像度を落とした 画像を使用することで計算時間を短縮することが可能であ ると考えられる。

視野妨害ノイズの種類については、様々な形状と色の物 体が付着することが考えられる。

形状については、本研究では形状に依存した処理を行っ ていないため,小さな円形物体にも画面を横切る大きなワ イパー状の長尺物にも対応できることが確認された。

色については,保護ガラス面とレンズが接近しているた め、透明な物体が付着した場合には像がぼやけて見え、ま た透明でない物体が付着した場合には黒色の物体として観 測された。透明な物体を代表する水滴,透明でない物体を 代表する泥††の両方において,良好な実験結果が得られた。





(a) Original image 1.

(b) Original image 2.





(c) Original image 3.

(d) Result using two images.





(e) Noise region.

(f) Result by (15)





(g) Result by majority vote.

(h) Result by our method.

図 9 実験結果 4

Fig. 9. Experimental results IV.

両者を比較すると,泥よりも水滴のように透明なノイズ のほうが検出が困難であった。これは,保護ガラス面に付 着した水滴がレンズの役割を果たすことによって水滴内部 に像が写ることがあるため、差分処理で水滴全体を完全に 検出することが泥よりも困難であることが原因の1つと考 えられる。ただし,水滴ノイズは直径 10mm を超えると流 れ出すため,除去すべき静止ノイズとしての水滴は10mm 以下であった。従って,今回のカメラ配置や画像解像度で は像が明瞭に写るほど水滴は大きくなく,実際にはほとん ど問題にならなかった。更に,実験の最終結果の水滴の付 着率を算出する際には,人間が見ても分からない(画像を 拡大して観察しないと分からない)程度の水滴も含んでい る可能性がある。これらの水滴は厳密に言えば除去できな かったことになるが,差分処理でも検出できず,人間が見て

葉や花びらなどが付着することが考えられる。ただし,これらも同様 に黒色に観測されるため,本質的には泥の場合と同じであると考えら れる。

[†] ただし,この方法の各種パラメータ設定などを完璧に再現してい る保証はない。

^{††} 非透明な物体としては,本実験と取り扱った物体以外にも植物の

も分からない程度であるため,少なくもと人間への提示用途で本手法を利用する場合には問題が少ないと予想される。

以上,様々な画像で実験を行った結果,本手法の有効性が定性的・定量的に示された。

9. 結論

本研究では,複数カメラを用いることで,カメラの保護ガラスに付着した視野妨害ノイズを画像から除去して視野明瞭化を図る手法を提案した。具体的には,画像間の差分処理により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て視野の明瞭化を図る手法を構築した。また,実験結果より,提案手法は実際のワイパー状の物体も含めて様々な視野妨害ノイズを除去可能であることが確認できた。

本研究では、従来手法では解決が困難であった静止ノイズの除去を実現した。提案手法はカメラを搭載したロボット自体が移動する場合にも、風景が変動する場合にも適用可能である。また、静止画にも動画にも使用することができ、更にワイパーや特殊なオイルを保護ガラス面に塗る方法と併用することも可能である。

今後の課題としては,専用画像処理ハードウエアや GPU (Graphics Processing Unit)などを用いることにより処理時間の短縮を図ることが挙げられる。撮影条件や撮影対象の違いに対応するための各種閾値の自動決定も重要な課題である。

また,JIS条件による雨天状況下での有効性の検証や,ワイパーとの比較,計測への応用なども今後の課題である。更に,撮影対象との距離が比較的近く,画像間の視差が大きいケースへの対応も必要である(10)(11)。

謝辞 本研究の一部は,文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト,及び日本学術振興会科学研究費若手研究(B)15700153の補助を受けた。また,静岡大学工学部機械工学科の三浦憲二郎教授に有益な助言を頂いたため,ここに謝意を表す。

(平成 18 年 6 月 1 日受付,平成 18 年 12 月 13 日再受付)

文 献

- (1) T. Matsuyama, T. Wada, H. Habe and K. Tanahashi: "Background Subtraction under Varying Illumination," IEICE Transactions on Information and Systems, D-II, Vol.J84-D-II, No.10, pp.2201-2211 (2001) (in Japanese) 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-
- (2) S. Nagaya, T. Miyatake, T. Fujita, W. Ito and H. Ueda:
 "Moving Object Detection by Time-Correlation-Based Background Judgement Method," IEICE Transactions on Information and Systems, D-II, Vol.J79-D-II, No.4, pp.568-576 (1996) (in Japanese)
 - 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) K. Miyake, M. Yoneda, H. Hase, M. Sakai and H. Maruyama:

- "Snowfall Noise Elimination Using a Time Median Filter," IIEEJ Transactions, Vol.30, No.3, pp.251–259 (2001) (in Japanese)
- 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,"画像電子学会誌, Vol.30, No.3, pp.251-259 (2001)
- (4) K. Garg, S. K. Nayar: "Detection and Removal of Rain from Videos," Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, pp.528-535 (2004)
- (5) A. Nagai, Y. Kuno and Y. Shirai: "Detection of Moving Objects in Changing Background," IEICE Transactions on Information and Systems, D-II, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1086-1095 (1997) (in Japanese) 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
 - 長井敦, 久野義徳, 日井良明: "複数変動肖景 ト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)
- (6) A. C. Kokaram, R. D. Morris, W. J. Fitzgerald and P. J. W. Rayner: "Detection of Missing Data in Image Sequences," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.4, No.11, pp.1496–1508 (1995)
- (7) 太田直哉: "2 台のカメラを用いた進入物体検出," 画像ラボ, Vol.13, No.1, pp.33-37 (2002)
- (8) T. Kanade, K. Oda, A. Yoshida, M. Tanaka and H. Kano: "Video-Rate Z Keying: A New Method for Merging Images," Technical Report CMU-RI-TR-95-38, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University (1995)
- (9) T. Haga, K. Sumi, M. Hashimoto, A. Seki and S. Kuroda: "Monitoring System with Depth Based Object Emphasis Using Spatiotemporal Image Processing," Technical Report of IEICE, PRMU97-126, pp.41-46 (1997) (in Japanese) 羽下哲司, 鷲見和彦, 橋本学, 関明伸,黒田伸一: "時空間画像処理に上去け口の歌社会の発知に上ていた清原原料はスプラム" 電子は起る

よる注目距離対象の強調に基づいた遠隔監視システム、"電子情報通信学会技術報告 (PRMU97-126) , pp.41-46 (1997)

- (10) A. Yamashita, Y. Tanaka and T. Kaneko: "Removal of Adherent Waterdrops from Images Acquired with Stereo Camera," Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.953-958 (2005)
- (11) Y. Tanaka, A. Yamashita, T. Kaneko and K. T. Miura: "Removal of Adherent Waterdrops from Images Acquired with a Stereo Camera System," *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol.89-D, No.7, pp.2021–2027 (2006)
- (12) A. C. Kokaram, R. D. Morris, W. J. Fitzgerald and P. J. W. Rayner: "Interpolation of Missing Data in Image Sequences," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.4, No.11, pp.1509–1519 (1995)
- (13) S. Masnou and J. -M. Morel: "Level Lines Based Disocclusion," Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Image Processing, pp.259-263 (1998)
- (14) L. Joyeux, O. Buisson, B. Besserer and S. Boukir: "Detection and Removal of Line Scratches in Motion Picture Films," Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.548–553 (1999)
- (15) M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles and C. Ballester: "Image Inpainting," Computer Graphics (SIGGRAPH2000), pp.417-424 (2000)
- (16) M. Bertalmio, L. Vese, G. Sapiro and S. Osher: "Simultaneous Structure and Texture Image Inpainting," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.12, No.8, pp.882–889 (2003)
- (17) S. H. Kang, T. F. Chan and S. Soatto: "Inpainting from Multiple Views," Proceedings of the 1st International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, pp.622–625 (2002)
- (18) T. F. Chan and J. Shen: "Variational Image Inpainting," IMA Preprint, 1868, pp.1-28 (2002)
- (19) Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang and H.-Y. Shum: "Full-frame Video Stabilization," Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, pp.50-57 (2005)
- (20) Y. Obata, Y. Kenmochi and K.Kotani: "Image Restoration with Considering Fractal of Images," Technical Report of IE-ICE, PRMU2002-126, Vol.102, No.471, pp.37–42 (2002) (in Japanese)

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

2211 (2001)

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 ($\rm PRMU2002\text{-}126$) , $\rm Vol.102,\ No.471,\ pp.37\text{-}42\ (2002)$

- (21) T. Amano and Y. Sato: "Image Interpolation Using BPLP Method on the Eigenspace," IEICE Transactions on Information and Systems, D-II, Vol.J85-D-II, No.3, pp.457-465 (2002) (in Japanese)
 - 天野敏之, 佐藤幸男: "固有空間法を用いた BPLP による画像補間," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J85-D-II, No.3, pp.457-465 (2002)
- (22) A. Yamashita, T. Harada, T. Kaneko and K. T. Miura: "Virtual Wiper -Removal of Adherent Noises from Images of Dynamic Scenes by Using a Pan-Tilt Camera-," Advanced Robotics, Vol.19, No.3, pp.295–310 (2005)
- (23) M. Kuramoto, A. Yamashita, T. Kaneko and K. T. Miura: "Removal of Adherent Waterdrops in Images Causing View Disturbance," The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers, Vol.56, No.5, pp.853-857 (2002) (in Japanese)
 - 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)
- (24) J. Weng, P. Cohen and M. 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)

山下 淳 (正員) 1973年生。1996年3月東京大学工学部



卒業,1998年3月東京大学大学院工学系研究科修 士課程修了,2001年3月同博士課程修了。2001 年 4 月静岡大学工学部機械工学科助手, 2006 年 11 月よりカリフォルニア工科大学客員研究員,現 在に至る。1996年日本機械学会畠山賞,2001年 総合研究奨励会石井学術奨励賞,2004年映像情 報メディア学会研究奨励賞,2005年日本機械学

会ロボメカ部門ベストプレゼンテーション表彰,2006年電気学会優秀 論文発表賞,日本ロボット学会研究奨励賞など受賞。画像処理,コン ピュータビジョン,ロボットの知能化などの研究に従事。博士(工学)。 蔵 本 昌 之 (非会員) 1978年生。2003年3月静岡大学大学



院理工学研究科修士課程修了。2003年4月富士 写真フィルム(株)入社,現在に至る。在学中は, 視野遮蔽画像の明瞭化に関する研究に従事。

金 子 透 (非会員) 1948 年生。1974 年 3 月東京大学大学 院工学系研究科修士課程修了。1974年4月日本



電信電話公社 (現 NTT) 入社。1997年4月静岡 大学工学部機械工学科教授,現在に至る。画像処 理,ロボットビジョンの研究に従事。工学博士。