

# バーチャルワイパー ～ 画像処理を用いた屋外環境での視野明瞭化～

山下 淳 田中 友 原田 知明 金子 透 三浦 憲二郎  
静岡大学 工学部 機械工学科

## Virtual Wiper –Restoration of Deteriorated Images in Outdoor Environments by Using Image Processing Techniques–

Atsushi Yamashita, Yuu Tanaka, Tomoaki Harada, Toru Kaneko, Kenjiro T. Miura  
Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

**Abstract**— In this paper, we propose a new restoration method of deteriorated images by using image processing techniques. In outdoor environment, it is often the case that scenes taken by cameras are difficult to see because of adherent noises such as waterdrops on the surface of the lens-protecting glass of the cameras. Our method estimates the positions of view-disturbing noises to compare multiple images taken with the camera(s), and synthesizes an image in which adherent noises are eliminated. Experimental results show the effectiveness of our method.

**Key Words:** Image restoration, Noise removal, Adherent noise, Multiple cameras, Pan-tilt camera

### 1. 序論

近年、多様な移動ロボットが開発されており、その活動範囲はますます広がっている。例えば、工場内など整備された屋内環境のみで活動するロボットに加え、屋外環境でも移動可能なロボットも数多く提案されている<sup>1)</sup>。また、災害現場における情報収集や救助活動などを目的としたレスキューロボットの研究も盛んに行われている<sup>2, 3)</sup>。

これらの作業を行うロボットは、一般に視覚センサを有している。カメラに代表される視覚センサは、遠隔操作型ロボットでは人間に画像を提示するために必要不可欠であり、自律移動型ロボットにおいても周囲環境のセンシングを行う最も有効な装置である。

また、ロボット用途以外にも、屋外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。

従って、屋外環境においてカメラが用いられる用途は非常に多く、屋外環境におけるカメラを用いたセンシングは非常に重要な技術となっている。

しかし、屋外環境でカメラを用いる場合には、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。

カメラの保護ガラス面に付着したノイズを除去するために、一般にはワイパーが用いられる。しかし、移動ロボットに搭載されたカメラや屋外監視カメラでは、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してしまうという問題もある。

また、業務用途では、保護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。

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提案する。具体的には、使用可能なカメラの台数に応じて、それぞれ適切な手法を構築する。提案手法を仮想的なワイパーとして用いることにより、例えば悪天候時の屋外環境でのカメラ画像の視野を明瞭化することが可能となる。

さて、視野妨害ノイズが存在する画像の視野を明瞭化するためには、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り、これらの研究については照明変化<sup>4)</sup>や天候の変化<sup>5, 6)</sup>、背景自体の変化<sup>7)</sup>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であるを改良した手法も提案されているが<sup>4)</sup>、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ため、移動ロボットに適用することは原理的に難しい。

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<sup>8)</sup>。

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が、画面中に進入してから停止した物体を検出することができない。従って、降雪時に動的物体である降雪粒子のみを除去して画像の明瞭化を行うことは可能であるが<sup>6)</sup>、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、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<sup>9)</sup>。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水滴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。

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<sup>10, 11, 12)</sup>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。また、引っかき傷以外の形状のノイズについても、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<sup>13)</sup>や画像のフラクタル性を利用した画像復元手法<sup>14)</sup>なども提案されている。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、ロボット用途に直接用いることは難しい。

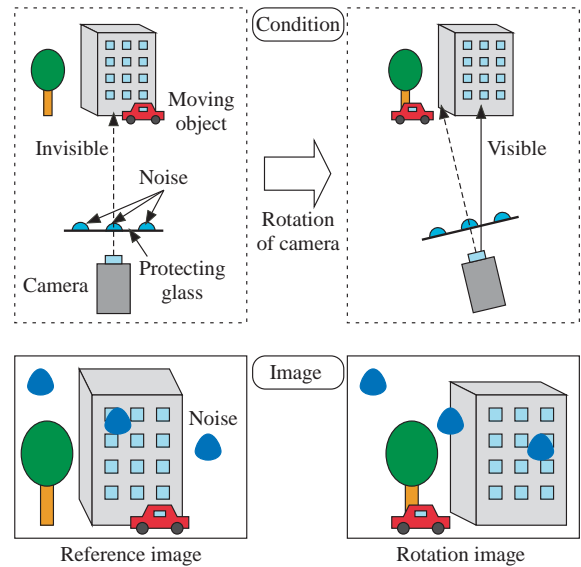
以上、視野を妨害するノイズ領域の検出、及びノイズ領域の画像補間については、従来手法を直接用いることは不可能である。

## 2. 視野明瞭化の概要

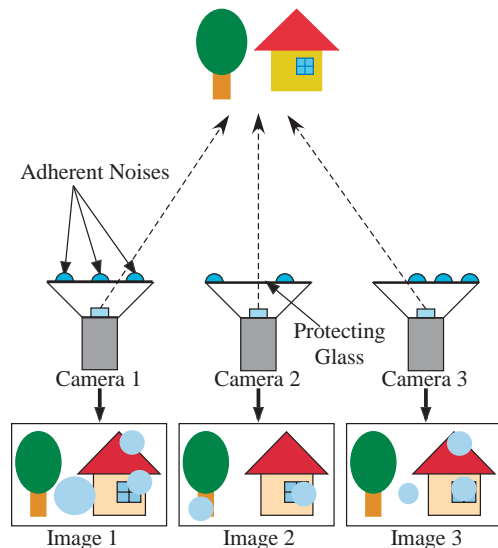
本研究では、カメラから得られる複数枚の同一シーン画像を用いることで視野妨害ノイズの位置を推定し、視野妨害ノイズの付着していない部分を組み合わせることで視野の明瞭化を図る方式を提案する。

使用可能なカメラが1台の場合には、カメラを方向変化させながら画像を取得する (Fig. 1(a))。具体的には、付着物がカメラの保護ガラスに静止して付着している状態でカメラを方向変化させる。カメラの方向を変化させると、カメラ保護ガラスへの付着物は画像中の同じ位置に撮影され、もとのカメラ方向で付着物に隠れていた被写体部分が出現する。そこでこの付着物部分の画素値を新たに出現した被写体の画素値に置換することで付着物の除去を行い、視野を明瞭化することができる。

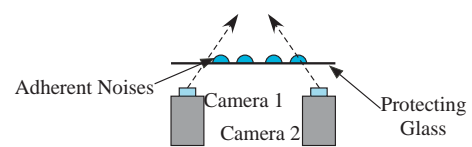
カメラ台数が複数の場合には、各カメラの光軸や走査線の方向が極端に異ならないようににカメラを設置し、同時に画像を取得する。ここでは、各カメラに個別の保護ガラス面がある場合 (Fig. 1(b)) と、撮影同一の保護ガラス面の場合を想定する (Fig. 1(c))。前者は、各カメラがそれぞれ防水ユニットに予め納められている場合や、複数台の単体カメラを搭載した移動ロボットが同じシーンを観察する場合などに相当し、後者は屋内において窓越しに屋外を観察する場合や、ステレオカメラが同じ防水ユニットに納められている場合などに相当する。前者の場合には、それぞれのカメラの



(a) Single camera.



(b) Multiple cameras in distant view.



(c) Multiple cameras in near view.

Fig.1 Image acquisition.

保護ガラス面の全く同じ場所にノイズが付着している可能性が少ないことを利用する。後者の場合には、視差があるため同じノイズに視野妨害されて見えなくなる場所がそれぞれの画像で異なることを利用する。いずれの場合においても、ノイズの影響を受けていない画像部分をそれぞれ組み合わせることにより、視野を明瞭化することができる。

具体的な処理手順は、1) 視野妨害ノイズの位置検出、2) 視野妨害のノイズの識別、3) 視野明瞭化である。

### 3. 視野妨害ノイズの位置検出

カメラ台数が1台の場合 (Fig. 1(a)), 及びカメラ台数が複数かつ比較的遠景を撮影する場合 (Fig. 1(b)) には, 取得する複数画像間の視差が小さい. 従って, 複数画像の位置合わせを行えば, 画像間の差分処理によりノイズの位置を検出できる.

一方, カメラ台数が複数かつ近景を含んだシーンを撮影する場合 (Fig. 1(c)) には, 画像間の視差が大きいため単純な差分処理ではノイズの位置を検出できない. そこで, 画像間の相関を用いてノイズの位置を検出する.

#### 3.1 単数カメラの場合

##### 3.1.1 画像のレジストレーション

差分処理によりノイズの位置を検出するためには, 複数画像のレジストレーション (位置合わせ・色合わせ) を行う必要がある.

まず, レンズ歪みの影響による歪曲収差の補正を行う<sup>15)</sup>. 次に, カメラの方向を変化させながら撮影した2枚の画像について, 投影変換を用いることでの位置合わせを行う. ここで,  $(u, v)$  を変換前の画像中での座標値,  $\theta$  をカメラの回転角度,  $f$  を焦点距離とすると,

$$u_{new} = f \frac{f \tan \theta + u}{f - u \tan \theta}, \quad (1)$$

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

により, 位置合わせを行った後の座標値  $(u_{new}, v_{new})$  を求めることができる.

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に色合わせを行う. 具体的には, 画像のグレースケール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.

##### 3.1.2 差分処理による視野妨害ノイズ抽出

視野妨害ノイズを抽出するため, (3) 式より画像  $i$  と画像  $j$  の差分処理を行う.

$$g_{ij}(u, v) = \begin{cases} 0, & |f_i(u, v) - f_j(u, v)| \leq L \\ 1, & |f_i(u, v) - f_j(u, v)| > L \end{cases}, \quad (3)$$

ただし,  $f_i(u, v)$  は画像  $i$  の座標  $(u, v)$  におけるグレースケール値とし,  $g_{ij}(u, v) = 1$  となる領域に視野妨害ノイズが存在する. 閾値  $L$  は背景によって異なることから, 視野妨害ノイズ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ノイズが小さく抽出され, 小さいと誤検出が多くなる. そこで, 視野妨害ノイズ毎に閾値  $L$  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.

##### 3.1.3 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.

2. 視野妨害ノイズ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小さくなる.

前者の視野妨害領域内の変化は (4) 式を用いて求めることができる.

$$I_{i,l} = \frac{1}{h_l} \sum_{(u,v) \in R_l} \left\{ f_i(u, v) - \frac{1}{h_l} \sum_{(u,v) \in R_l} f_i(u, v) \right\}^2 \quad (4)$$

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, 後者の輪郭部の画素値の変化は (6) 式を用いて求めることができる.

$$V_{i,k,l} = \frac{1}{9} \sum_{u=\alpha_{k,l}-1}^{\alpha_{k,l}+1} \sum_{v=\beta_{k,l}-1}^{\beta_{k,l}+1} \left\{ f_i(u, v) - \frac{1}{9} \sum_{u=\alpha_{k,l}-1}^{\alpha_{k,l}+1} \sum_{v=\beta_{k,l}-1}^{\beta_{k,l}+1} f_i(u, v) \right\}^2, \quad (5)$$

$$C_{i,l} = \frac{1}{n_l} \sum_{k=1}^{n_l} V_{i,k,l}, \quad (6)$$

ただし,  $(\alpha_{k,l}, \beta_{k,l})$  及び  $l$  番目の視野妨害ノイズの最外郭画素と画素数,  $V_{i,k,l}$  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  $3 \times 3$  領域での分散とする.

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ことができる.

##### 3.1.4 閾値の決定

画像  $i$  の視野妨害ノイズ  $l$  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.

$$L(i, l) = \arg \max_L C_{i,l}, \quad (7)$$

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.

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.

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.

#### 3.2 複数カメラかつ遠景の場合

カメラ台数が複数かつ遠景の場合には, 画像間での視差は小さい. 従って, 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ため, 位置合わせは以下の関係によって行うことができる.

$$u_{new} = \frac{a_{11}u + a_{12}v + a_{13}}{a_{31}u + a_{32}v + 1}, \quad (8)$$

$$v_{new} = \frac{a_{21}u + a_{22}v + a_{23}}{a_{31}u + a_{32}v + 1}, \quad (9)$$

ただし,  $a_{ij}$  は射影変換のためのパラメータであり, カメラを設置する際に3点以上の対応点を指定することで求めることが可能である.

位置合わせ以外については、単数カメラの場合と同じ処理を行うことで視野妨害ノイズの位置を検出することができる。

### 3.3 複数カメラかつ近景の場合

カメラ台数が複数かつ近景を含む画像を撮影する場合 (Fig. 1(c)), 画像中の場所によって視差が異なるため、画像間の位置合わせが不可能である。そこで、正規化相互相関を用いた画像間のテンプレートマッチングを行って対応点を求め、各画素の視差および相関値を用いて視野妨害ノイズの位置を判別する。

ここで、事前に各カメラと保護ガラス面間の距離を求めておくこととする。テンプレートマッチングにより画像間の対応が取れる場所では視差が求まるため、その場所の3次元座標を求めることができる。従って、保護ガラス面と同じ距離にある対応点は視野妨害ノイズであると判別することにより、画像中の視野妨害ノイズの位置を求めることが可能である。

本研究では、正規化相互相関による相関値が一定以上の場合には、対応点候補と判断する。

ただし、テンプレートマッチングではテンプレート内の濃淡値の変化が乏しい単純なテクスチャの部分では、たとえ相関値が高くても誤認識を引き起こしやすい。従って、対応点候補のうち、テンプレート内の濃度値の変化が小さい箇所については、対応が取れないと判断する。

また、テンプレートマッチングにより正しい対応点を得られている場合、右の画像から左の画像の対応点を調べた時も左の画像から右の画像の対応点を調べた時も結果は一致し、一対一の対応が取れる。そこで、各対応点候補に対して一対一で対応しているかどうかを調べ、一対一の対応が取れていない場合には、誤認識の可能性があると対応が取れないと判断する。

以上の処理の後、正式に対応点であると判定された画素について、それぞれ視差を求める。そして事前に求めた保護ガラス面の場所での視差と対応点での視差が同じ場合には、視野妨害ノイズであると判定する。

## 4. 視野妨害ノイズの識別

### 4.1 単数カメラの場合

前述の差分処理によって、視野妨害ノイズ以外にも移動物体も検出される (Fig. 2)。

ここで、視野妨害ノイズは回転前の画像 (Fig. 2(a)) と投影変換後の画像 (Fig. 2(c)) で付着位置が異なるため、1つのノイズは差分画像では2箇所が存在することとなる (Fig. 2(d))。またその位置関係は投影変換 (1),(2)式) に依存し既知である。すなわち判別したい領域が視野妨害ノイズによるものであるならば、この位置関係にある左右の位置のどちらか一方に類似形状のノイズ領域が存在する。そしてどちらに存在するかにより、回転前の画像と投影変換後の画像のいずれに付着しているかが判別できる。具体的には、Fig. 1(a)の方向にカメラを回転させた場合には、回転前の画像に付着した視野妨害ノイズは投影変換後の画像に付着したノイズの右側に存在する。

一方、投影変換で求めた場所に同じ形状のノイズがない場合には、移動物体と判別することができる。

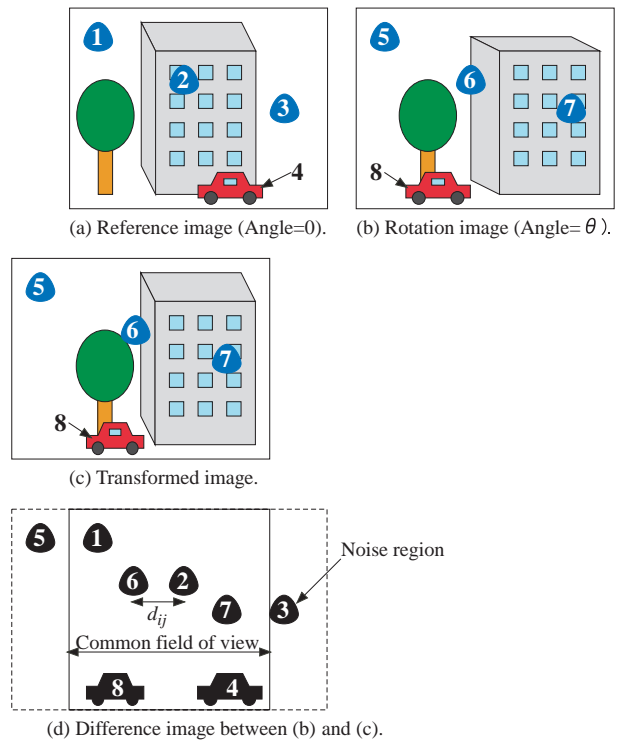


Fig.2 Extraction of noise region.

### 4.2 複数カメラかつ遠景の場合

#### 4.2.1 取得画像が2枚の場合

取得した画像が2枚の場合には、3.1.3項で述べた視野妨害ノイズの性質を用いて識別することができる。

背景が単純な (各画像の  $I_{i,j}$  が小さい) 部分では、どちらの画像も視野妨害ノイズ内の画素値の変化は小さい (Fig. 3(a), (b))。従って、2.の性質から  $C_{i,l}$  の大きい画像 (Fig. 3(a)) に視野妨害ノイズが付着していると判別できる。それに対し、背景が複雑な (各画像の  $I_{i,j}$  が大きい) 部分では、2.の性質を用いて区別することは難しい (Fig. 3(c), (d))。そこで、1.の性質の用い、 $I_{i,j}$  が小さい画像 (Fig. 3(c)) にノイズが付着していると判別できる。

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。

#### 4.2.2 取得画像が3枚以上の場合

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も考えられる。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



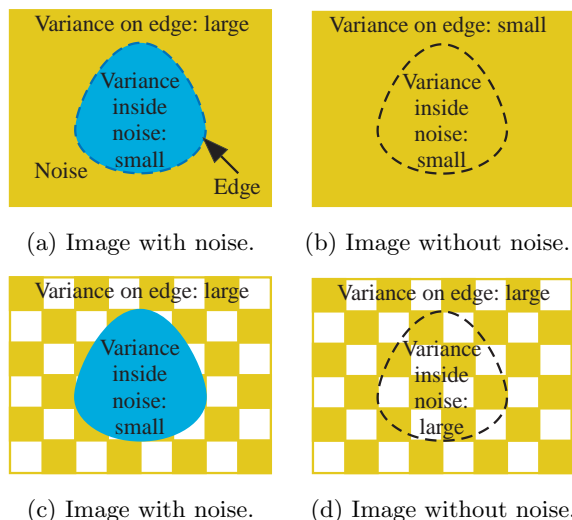


Fig.3 The features of the noise region.

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, (10) 式より  $h(u, v)$  を求める (Fig. 4)。

$$h(u, v) = \sum_{i \neq j} g_{ij}(u, v). \quad (10)$$

$h(u, v) = 0$  の部分では, 視野妨害ノイズはどの画像にも付着していない。

$h(u, v) = 1$  の部分は, 視野妨害ノイズはどの画像にも存在しないが画素値の微妙な違いが抽出された場所であるため, 同様に視野妨害ノイズは付着していないと判別する。

$h(u, v) = 2$  の部分は, 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,  $g_{ij} = 0$  となる画像  $i$  と画像  $j$  には視野妨害ノイズが付着しておらず, これ以外の画像に視野妨害ノイズが付着していると判別できる。

$h(u, v) = 3$  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。従って, 領域毎に視野妨害ノイズの識別を行う。ここで,  $h(u, v) = 3$  を満たす領域は3種類に分類することができる (Fig. 4 中 Case 4-1, 4-2, 4-3)。Case 4-1 では,  $g_{ij}(u, v) = 1$  となる領域の大きさが最も大きくなる  $i, j$  を求めた際に  $i, j$  以外の画像, Case 4-2 では, 視野妨害ノイズ内部と外部の画素値の変化が最も小さくなる画像, Case 4-3 では, 各画像を比較して他の2画像と最も画素値が離れた画像にそれぞれ視野妨害ノイズが付着していないと判別できる。

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できる。

#### 4.3 複数カメラかつ近景の場合

対応点検出の結果, 各画像における視野妨害ノイズの位置がそれぞれ求まる。従って, この結果をそのまま識別結果とすれば良い。

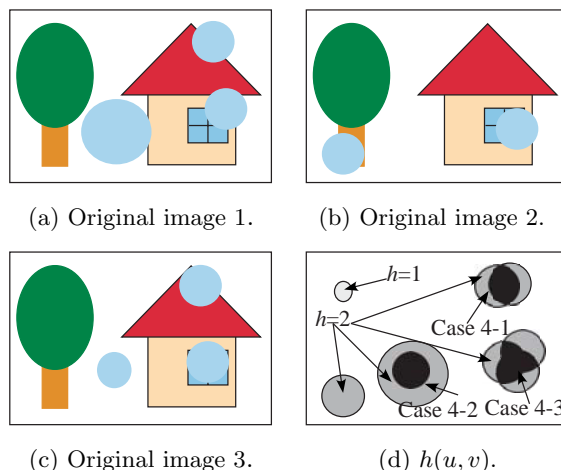


Fig.4 Judgment of noise regions.

## 5. 視野明瞭化

### 5.1 単数カメラの場合

カメラ回転前の画像に付着した視野妨害ノイズの場所の画素値を投影変換後の画像の画素値で置き換えることにより, 移動物体をそのまま残し視野妨害ノイズのみを除去することができる。カメラ回転後の画像についても同様の処理により, 視野明瞭化を行うことができる。

### 5.2 複数カメラかつ遠景の場合

単数カメラの場合と同様に, 視野妨害ノイズの部分では他の画像の画素値に置き換える。ただし, すべてのカメラが同じシーンを観察しているため, 結果の画像はカメラ台数に関わらず1枚である。

### 5.3 複数カメラかつ近景の場合

この場合には視差が画像中の場所によって異なるため, 視野妨害ノイズの場所を別の画像の画素値にそのまま置き換えることはできない。ただし, ノイズに隠れた部分はもう一方の画像に写っている可能性が高いため, もう一方の画像の画素値を用いてノイズの場所の画素値の推定を行う。

そこで, 視野妨害ノイズ付着部分の画素値 (テクスチャ) を直接推定するのではなく, ノイズ付着部分の視差を推定し, その視差を元にもう一方の画像の画素値を用いて視野明瞭化を行う。ここで, 視野妨害ノイズによって遮られた場所のテクスチャは複雑である可能性があるが, 一般的に視差が極端に複雑に変化することは少ない。

本研究では, "Image Inpainting" アルゴリズム<sup>13)</sup>を利用して視差を推定する。この手法は, 本来は画像の輝度勾配を考慮して画像の欠損部を修正する技術であり, 輪郭の再現性は良いが, 欠損部内部の複雑なテクスチャの再現性が悪いという特徴がある。従って, 本研究においてテクスチャではなく視差を推定するために用いることは有効であると考えられる。そこで, 視差を画素値 (テクスチャ) と見立てて, 視野妨害ノイズの場所にノイズが付着していなかった場合の視差を "Image Inpainting" アルゴリズムによって推定する。

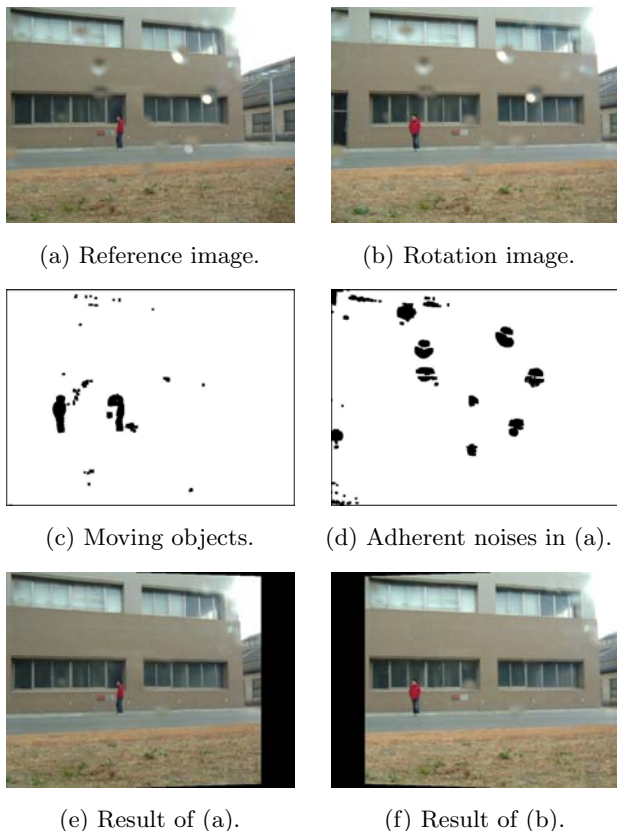


Fig.5 Result I.

最終的に、視差推定によってノイズが存在しなかった場合の視差を求めた後、もう一方の画像において、求めた視差分だけずれた位置の画素値をノイズ部分の画素値と置き換えることにより視野明瞭化を図ることが可能である。

## 6. 実験

### 6.1 単数カメラの場合

保護ガラス面に水滴が付着した首振りカメラの画像を用いた結果を Fig. 5 に示す。この例では、画面中央部に移動物体が存在している。回転前と回転後の原画像をそれぞれが (a), (b)、移動物体と回転前の画像に付着したノイズを抽出した結果がそれぞれ (c), (d)、回転前と回転後の画像の視野を明瞭化した結果がそれぞれ (e), (f) である。なお、画像端の黒い部分は、2 枚の画像の共通視野でない部分である。結果画像より、移動物体を変化させることなく水滴のみを除去していることが分かる。

また、泥が付着した移動物体を含む画像の場合にも、同様に対応可能であることが分かる (Fig. 6)。

### 6.2 複数カメラかつ遠景の場合

複数枚の遠景画像を撮影した結果を Fig. 7 に示す。取得した 3 枚の画像が (a), (b), (c) であり、非常に多くの水滴が付着している。(a) と (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 (d) 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。

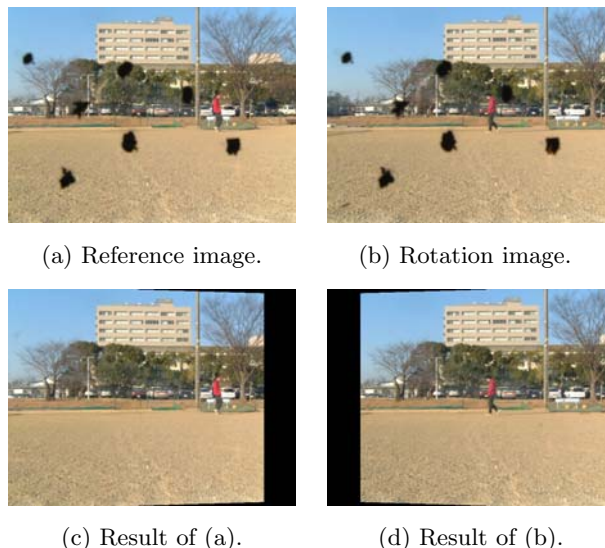


Fig.6 Result II.

また、人間が手動で水滴の位置を指定した結果 (e) を用いて “Image Inpainting” アルゴリズムにより水滴を除去した結果を (f) に示す。この方法の各種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。

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

また、これ以外の例として、2 画像から水滴を除去した結果を Fig. 8(a), (b)、水滴と泥を除去した結果を (c), (d)、水滴とワイパー状のノイズを除去した結果を (e), (f) にそれぞれ示す。

### 6.3 複数カメラかつ近景の場合

視差が存在する近景を撮影した結果を Fig. 9 に示す。この例では、保護ガラス面に水滴が付着した状態において、2 枚の画像 (a), (b) を取得した。提案手法により (a) の水滴の位置を検出した結果を (c)、視差の大きさの違いを色分けした結果を (d) に示す。(d) において、色が黒い部分は水滴と画像間の対応が取れなかった部分、緑色 (薄い色) の部分は視差が大きい (近い) 部分、オレンジ色 (濃い色) の部分は視差が小さい (遠い) 部分である。(d) の結果より、画像中の場所によって視差が大きく異なっているため、差分処理を基本とした方法では対応できないことが分かる。また、原画像の水滴を除去し、視野明瞭化を行った結果を (e), (f) に示す。原画像では看板の部分に水滴が付着していたため読み取ることができない文字があったが、結果の画像では文字が綺麗に修正されている。よって、“Image Inpainting” アルゴリズムに代表される画像補間法では



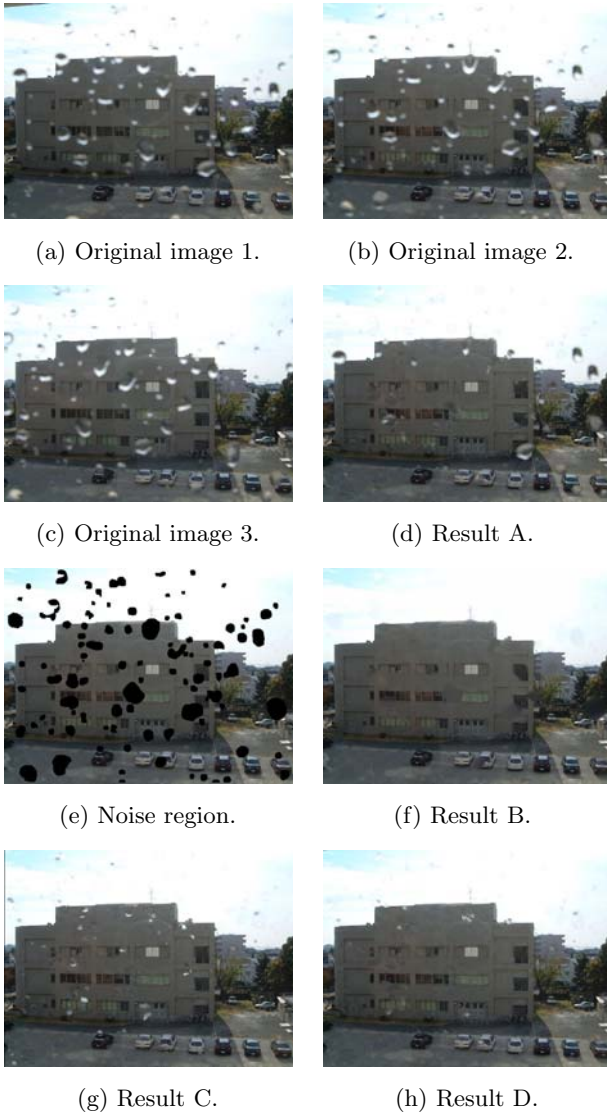


Fig.7 Result III.

修正することが困難である文字のような複雑なテクスチャも、提案手法を用いることで綺麗に補正できることが確認された。

## 7. 考察

カメラ台数が1台の場合、カメラの方向を回転させる必要がある。監視カメラに首振りカメラがよく用いられていることや、移動ロボットにカメラを搭載している場合には移動ロボットがその場回転することでカメラの方向も変化させることができるため、この前提は現実的であると考えられる。また、カメラの回転に関しては、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。しかし、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。今回の実験においても、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、ほとんどの場合において、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、回転前の画像と投影変換後の画像の位置ずれはほとんどなかった。

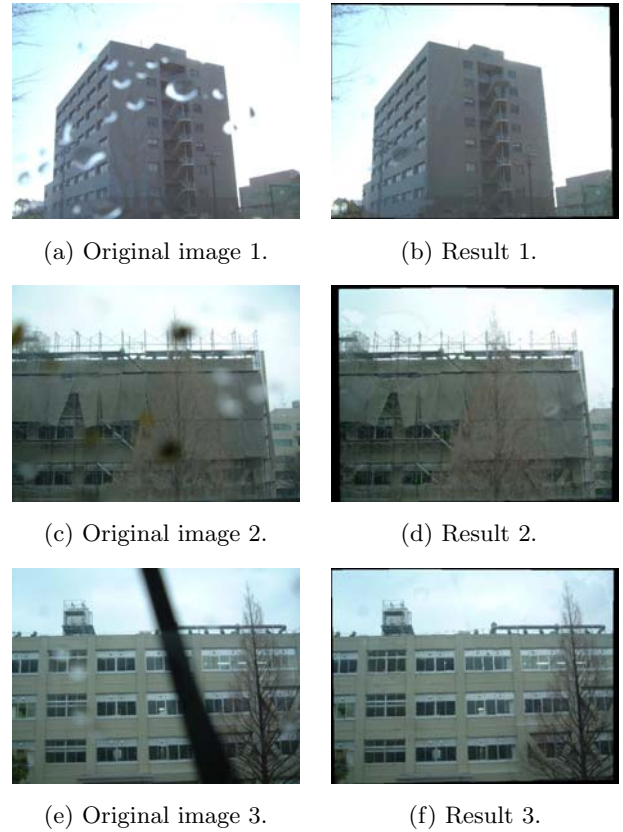


Fig.8 Result IV.

カメラ台数が複数かつ遠景を対象とした場合にも、厳密には場所によって視差の違いがある。しかし、この場合も同様に視差の違いの影響は他の様々な影響と比較して小さい。ただし、カメラ台数が1台の場合より処理に必要な時間が多少長くなった。これは、カメラ台数が1台の場合はノイズ間の位置関係が分かっているため単純な左右比較のみでノイズが附着している画像を判定できるが、カメラ台数が複数の場合にはノイズの位置がランダムであるため画素値の変化率などの特徴量を計算する必要があることが原因であると考えられる。

更に、カメラ台数が複数かつ近景を対象とした場合には、視差の影響が無視できなくなったため、画像間の差分処理をベースとした手法ではなく、相関をベースとした手法を利用した。この場合には、正規化相互相関によるテンプレートマッチングを行っているため、前述の2つの方法と比較して処理時間が大きく増加した。ただし、相関演算を高速に計算することができる専用ハードウェアなどは市販されているため、これらの専用装置を用いることで処理時間を飛躍的に短縮することが可能であると予想される。また、動画の視野明瞭化を行う際には、最初の1フレームに関してはある程度の処理時間が必要であるが、次のフレームからは前フレームでのノイズの位置などを参考にて対応点の探索ができるため、同様に処理時間を短縮することが可能であると考えられる。

また、様々な画像について実験を行った結果、視野妨害ノイズの色や形、大きさに依らず提案手法が有効

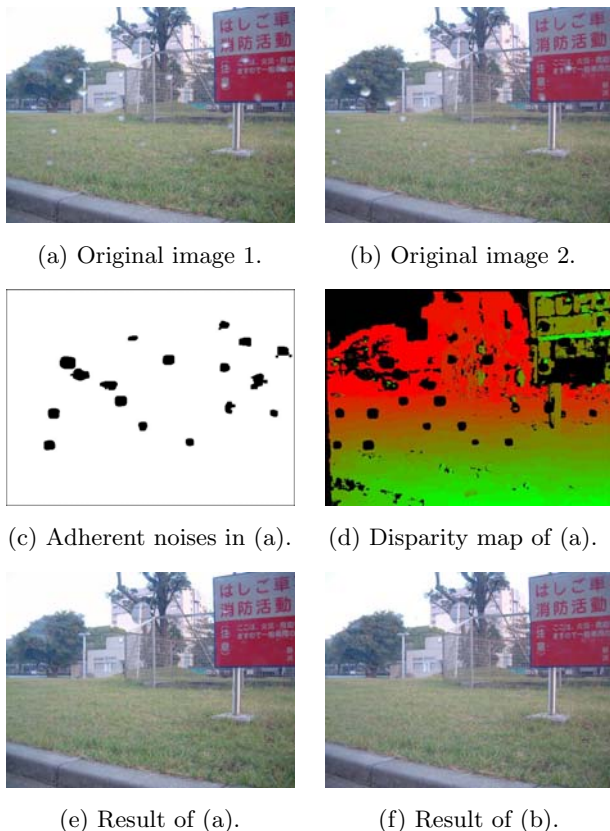


Fig.9 Result V.

であることを確認した．ただし，同じ背景の場所にすべての画像でノイズが付着している場合には，原理的に視野明瞭化は不可能である．よって，2枚の画像を用いただけでは完全にノイズを除去できない状況においては，3枚以上の画像を用いて同じ場所にノイズがある確率を下げることで，綺麗な画像を生成することができることを確認した．

以上，実験結果より，定性的及び定量的に提案手法の有効性が確認できた．

## 8. 結論

本研究では，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，視野明瞭化を行う手法を提案した．具体的には，使用可能なカメラの台数や，カメラと撮影対象との位置関係に応じて，それぞれ視野明瞭化を行う手法を構築した．

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対応可能である．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，実際の屋外環境で利用するために，更に処理時間の短縮やロバスト性の向上を図ることなどが挙げられる．前者の課題については前述の通り専用ハードウェアを利用することにより，後者の課題については提案した複数の手法を組み合わせることなどにより対応することが考えられる．

## 謝辞

本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費補助金若手研究 (B)15700153，及び文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクトの補助を受けた．

## 参考文献

- 1) 山下 淳，浅間 一，新井 民夫，太田 順，金子 透: “ロボットの移動機構に関する研究動向”，日本ロボット学会誌，Vol.21, No.3, pp.282–292, 2003.
- 2) “特集 災害対応のためのロボティクス”，日本機械学会誌，Vol.106, No.1019, 2003.
- 3) “特集 大都市大震災軽減化特別プロジェクト - レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 -”，日本ロボット学会誌，Vol.22, No.5, 2004.
- 4) 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.2201–2211, 2001.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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出”，電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1086–1095, 1997.
- 8) Anil C. Kokaram, Robin D. Morris, William J. Fitzgerald and Peter J. W. Rayner: “Detection of Missing Data in Image Sequences”, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.4, No.11, pp.1496–1508, 1995.
- 9) 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.
- 10) 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*, Vol.4, No.11, pp.1509–1519, 1995.
- 11) Simon Masnou and Jean-Michel Morel: “Level Lines Based Disocclusion”, *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Image Processing*, pp.259–263, 1998.
- 12) 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.
- 13) Marcelo Bertalmio, Guillermo Sapiro, Vicent Caselles and Coloma Ballester: “Image Inpainting”, *Computer Graphics (SIGGRAPH2000)*, pp.417–424, 2000.
- 14) 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.
- 15) Juyang Weng, Paul Cohen and Marc 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.