

遺伝的アルゴリズムによる輝度勾配情報を考慮した 荷重メジアンフィルタの設計

鈴木 達也[†] 花田 良子^{††} 棟 安実 治^{††}

インパルス性雑音によって劣化した自然画像を復元する有効な非線形フィルタとして荷重メジアンフィルタがある。荷重メジアンフィルタの復元性能を向上させるには、画像の局所的なパターンの特徴に適したフィルタ窓の形状・荷重を推定する必要がある。輝度値が類似した画素の集合を得る窓形状を用いることで劣化画素が高い精度で復元され、さらに、適した荷重を用いることで微細なエッジ保存を実現することが可能であるためである。自然画像内には様々な方向持つエッジが複数含まれているため、それらに対応してフィルタを設計することでより精度の高い復元が実現できると考えられる。本論文では自然画像を対象として、種々の方向の微細なエッジの保存を考慮した荷重メジアンフィルタの設計手法を提案する。輝度勾配情報により画像を一様な方向を持った領域に分割し、それぞれの方向に沿ったフィルタを設計、適用することで、他手法と比較して、高い復元精度の処理結果が得られることを示す。

Design of Weighted Median Filters Considering Intensity Gradient Using Genetic Algorithm

TATSUYA SUZUKI[†], YOSHIKO HANADA^{††} and MITSUJI MUNAYASU^{††}

Weighted median filter (WMF) is one of effective nonlinear filters for the impulse noise removal. To improve the processing performance of WMF, both a suitable window shape and appropriate weights of the filter to the local pattern observed in images should be selected. This is because an estimated value of corrupted pixel has high accuracy since the window shape along the edge of a uniform direction includes many pixels that have similar values. In addition, appropriate weights can preserve tiny edges. Most natural pictures or images include many edges of different directions. In this paper, a new design method of WMFs considering the edges of various directions for the natural corrupted images is proposed. Here the input image is divided into several domain according to the intensity gradient and a suitable WMF is designed in each domain. Through experiments our method is shown to outperform conventional promising filters.

1. はじめに

画像を取得する際、入力装置中の回路や増幅器で発生する雑音あるいは入射光の量子雑音などによって画像が劣化する場合がある。このような劣化した画像から雑音を除去することによって、画像を復元することは画像処理における重要な課題の一つである。また、復元の際には、画像の重要な特徴であるエッジや微細な変化を損なうことなく保存することが重要である。雑音の中でも画像内に白・黒のようなごま塩模様が不規則に入る雑音をインパルス性雑音といい、画質を著しく低下させるものとして知られている。インパルス性雑音による劣化画像の代表的な復元方法としてメジ

アンフィルタ¹⁾がある。メジアンフィルタはエッジを保存しつつインパルス性雑音を除去することができるが、一方でエッジずれが生じたり、細かな信号情報や微細なエッジなどを劣化させたりする欠点がある。このメジアンフィルタを拡張したフィルタとして、荷重メジアンフィルタ¹⁾がある。荷重メジアンフィルタはメジアンフィルタに荷重を導入したフィルタであり、フィルタ窓内の信号それぞれに荷重を割り当て、重要性の高い信号の荷重を大きくし、選択される可能性を高めることにより、画像の細部を保存しつつ、劣化部分の復元を実現している。

フィルタを適用する際には画像の特徴にかかわらず、多くの場合、典型的なフィルタ窓として正方窓が採用されている。荷重メジアンフィルタにおいては輝度値が類似する画素の集合を得る窓形状を用いることで輝度値が大きく異なる画素、すなわち雑音がメジアン処理で出力される可能性が低くなる。さらに、適した荷

[†] 関西大学大学院
Graduate School of Science and Engineering, Kansai University
^{††} 関西大学システム理工学部
Faculty of Engineering Science, Kansai University

重を用いることで微細なエッジ保存を実現するため、画像に対して適切な窓形状と荷重を選定することは重要な課題である。とくにテクスチャのように、ある一定の局所的に相関の高い画素値の並び(パターン)が画像全体を通して多く観測される画像においては、そのパターンに沿った窓形状、荷重を用いることで高い精度の復元が実現できる。これまでに、荷重メジアンフィルタ設計を最適化問題に定式化し、パターンにあった処理精度の高いフィルタを推定する手法が提案されている²⁾。この手法では実用性の観点から劣化画像から直接、適したフィルタを推定することを目的とし、非劣化画素の信号保存性能と劣化画素の雑音除去・復元を考慮した目的関数を用いて、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)³⁾によりフィルタを最適化している。しかし、一様な微細パターンを多く含むテクスチャにおいてのみ有効であり、自然画像を対象とすると、テクスチャ画像とは異なり、画像内に様々な方向性を持つエッジなどの特徴が複数含まれているため、一つのフィルタを一様に適用するよりも、各特徴に沿ったフィルタを複数用意すればより良好な処理結果が得られると考えられる。本論文では、画像の局所的な特徴の中でも重要な特徴である輝度勾配に着目し、様々な方向のエッジに対応したフィルタを設計する。そして、推定した勾配情報を用いて画像を領域分割し、各領域に対して輝度勾配を考慮した荷重メジアンフィルタを設計する。本手法を代表的なインパルス性雑音の除去手法と比較し、その有効性を示す。

2. 荷重メジアンフィルタと雑音モデル

簡単のために、1次元の荷重メジアンフィルタについて説明する。入力ベクトルを $\mathbf{X}=\{X_1, \dots, X_{2N+1}\}$ と考え、荷重ベクトルを正の整数を要素とする $\mathbf{W}=\{W_1, \dots, W_{2N+1}\}$ とする。荷重メジアンフィルタの出力を Y とすると、 Y は以下のように与えられる。式中、 \diamond は信号 X_i を W_i 個多重させることであり、各信号をそれぞれの荷重個分ずつ多重させて、拡大した要素の中から中央値を取る操作を示している。

$$Y = MED\left\{ \underbrace{X_1, \dots, X_1}_{W_1}, \underbrace{X_2, \dots, X_2}_{W_2}, \dots, \underbrace{X_{2N+1}, \dots, X_{2N+1}}_{W_{2N+1}} \right\} \quad (1)$$

重要性の高い信号の荷重を大きくすることによってその信号が多数多重され、メジアン演算によって出力値として選択される可能性が高くなる。あるいは、その信号に近い値を持つ信号が出力されることとなる¹⁾。

本論文では 256 階調のグレースケールの自然画像を対象とし、インパルス性雑音のみの影響を受けた劣化画像 $x(i, j)$ の復元について考える。ここでは以下のランダム値のインパルス性雑音の発生モデルを用いる。 p は雑音付加率、 $x_o(i, j)$ は原画像の画素値(輝度値)、 $\xi(i, j)$ は一様分布を持つ正数のランダム雑音であり、確率 p で画素の輝度値を $[0, 255]$ の範囲のランダムな輝度値と置き換える。

$$x(i, j) = \begin{cases} \xi(i, j), & \text{prob. } p \\ x_o(i, j), & \text{prob. } 1 - p \end{cases} \quad (2)$$

3. 劣化画像のみを用いた荷重メジアンフィルタの設計

荷重メジアンフィルタの復元性能を向上させるには、輝度値が類似した画素の集合を得る窓形状、および雑音付加の程度に適した荷重を推定する必要がある。これまでに、荷重メジアンフィルタ設計を最適化問題に定式化し、パターンにあった窓形状および荷重を劣化画像から直接推定する手法が提案されている²⁾。一様な微細パターンを多く含むテクスチャ画像を前提としているため、自然画像に適用する場合には、その画像を一様性を持つ領域に分け、それぞれに対して個々に推定すればよい。

3.1 フィルタ設計のための目的関数

劣化・非劣化画素の集合に対して、それぞれ雑音除去性能、信号保存性能を向上させる部分的な指標からなる目的関数を用いることにより、両者を考慮したフィルタを設計する。劣化画像のどの画素に雑音が重畳しているかは既知でないため、各々の画素で雑音かどうか判断する必要がある。ここでは雑音の判断基準として雑音画素と非雑音画素の値が近いランダム値インパルス性雑音に対して有効であると報告されている ROLD(Rank-Ordered Logarithmic Differences) 統計量⁴⁾を採用している。

3.1.1 劣化・非劣化画素の推定

処理点を $x = (x_1, x_2)$ とし、 x を中心とする周囲の点を $\Omega_B(x) = \{x + (i, j) : -B/2 \leq i, j \leq B/2\}$ とする。そのとき周囲の画素数は $(B+1)^2$ となる。 Ω_B 内の処理点とその他の画素値をそれぞれ u_x, u_y とし、処理点の画素値と周囲の画素値との差分絶対値に対数を適用し、とり得る範囲を $[0, 1]$ に保つために縮小および線形変換を用いた次の $d_{x,y}$ を求める。

$$d_{x,y} = \{1 + \max\{\log_a |(u_x - u_y)/255|, -b\}/b\} \times 255 \quad (3)$$

ROLD 統計量では対数を用いて雑音画素の値と非雑

音画素の値の差を広げることで、その差を明確にしている。式(3)において、 a 、 b は正の整数であり、 a は対数関数の底を、 b は打ち切り位置を決定している。ここでは原論文に従い、 $a=2$ 、 $b=5$ とする。ROLD統計量は $d_{x,y}$ を昇順に並べ替え、小さい方から n 個の $d_{x,y}$ の和で求められる。ここでは、式(4)のように n 個の平均としている。式中、 $r_i(x)$ は i 番目に小さい $d_{x,y}$ である。

$$ROLD_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i(x) \quad (4)$$

荷重メジアンフィルタの評価においては、上記のROLD統計量を $\Omega_B(x) = \{x + (i, j) : -B/2 \leq i, j \leq B/2\}$ で荷重 $W(x + (i, j)) > 0$ の点、すなわち窓内の点の画素値のみを用いて $d_{x,y}$ を求める。閾値 Th を定め、各画素 x について $ROLD_n(x)$ を算出し、閾値未満の場合は非雑音、閾値以上の場合を雑音と判断する。なお、 Th の設定については雑音の重畳が少ない場合は高い値、多い場合は低い値が適している傾向にある。

3.1.2 目的関数

信号保存性能については、雑音の影響を受けていない非劣化画素は原信号値を保持しているため、それに対応する荷重変化後の処理画像の画素間の平均二乗誤差 (Mean Square Error: MSE) などを用いて評価できる。一方で、影響を受けた劣化画素については、何らかの推定画素値との誤差を用いて評価すればよい。

サイズ $M_1 \times M_2$ の画像の各画素 (i, j) において、ROLD値が小さく雑音でないと判定した場合、次の f_1 を適用する。

$$f_1(i, j) = \begin{cases} |z(i, j) - y(i, j)|^2, & ROLD_n(i, j) < Th \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

$z(i, j)$ は雑音ではないと判断した部分の画素値であり、 $y(i, j)$ は画素 (i, j) に荷重メジアンフィルタを適用したときの (i, j) の画素値である。

ROLD値が大きく雑音であると判定した画素では次の f_2 を適用する。

$$f_2(i, j) = \begin{cases} |m(i, j) - y(i, j)|^2, & ROLD_n(i, j) \geq Th \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

$m(i, j)$ は $ROLD_n(x) \geq Th$ で雑音と判断した画素を処理点とした窓内の画素集合の中央値を示す。 f_1 は原信号の保存性能を考慮する関数となり、 f_1 のみを最適化した場合、処理点のみがフィルタの他の要素と比較して高い荷重を持ったフィルタが設計される。一方、 f_2 のみを最適化するとフィルタのすべての要素が均等

な荷重を持つ平板なフィルタが得られる。 f_2 は画像を平滑化する、つまり、雑音の除去性能を考慮する関数となる。 f_1 、 f_2 いずれも総和が小さい値ほど荷重メジアンフィルタの処理結果が原画像に近くなるため、目的関数 F を以下のように定める。

$$F = \sum_{i=0}^{M_1-1} \sum_{j=0}^{M_2-1} f_1(i, j) + \sum_{i=0}^{M_1-1} \sum_{j=0}^{M_2-1} f_2(i, j) \quad (7)$$

式(7)を目的関数とし、最小化することで最適な窓形状および荷重を推定する。ここでは、ROLD統計量の閾値 Th を用いてインパルス性雑音の発生率に対応したフィルタ設計を実現する。

3.2 GAの適用

3.2.1 初期個体生成

GAにおける解(個体)は荷重の情報を持つ窓形状であり、処理点を中心とした形状を有すると考えられる。したがって、初期個体はランダム性を保持しつつも処理点を中心として生成されることが望ましい。また、探索の効率化の観点から、解表現を固定長にすることで探索空間の複雑化を回避する。そのため、固定の窓サイズ(窓の要素数) N のもとで窓形状の最適化を行う。初期個体の生成については、まず中心となる処理点を与え、その処理点を中心に $N-1$ 要素追加していく。荷重については、その最大値を W_{max} とすると、各窓要素に対して $[1, W_{max}]$ の範囲で荷重をランダムに与え、それ以外は0とする。要素を追加する過程において、窓要素の8近傍から追加点を選択することで、初期形状において不連続な要素が生じないようにする。なお、フィルタは $B \times B$ の枠内(B は縦横の最大サイズ)で設計する。ここでは $N=9$ 、 $W_{max}=5$ 、 $B=9$ とする。

3.2.2 遺伝的オペレータ

選択、交叉および突然変異に代表される遺伝的操作の中で、各個体が持つ情報を交換する交叉はGAの主探索オペレータであり、その設計がGAの解探索性能の鍵となる。GAが効率よく解空間を探索するにあたり、交叉では親の良好な形質(部分解)をうまく子に継承させる必要がある。まず、選んだ親 p_1 、 p_2 について、 p_1 からランダムに処理点以外の $N/2$ 点(N は窓サイズ)を選ぶ。そして、 p_2 からも同様に p_1 で選んだ点とは異なる $N/2$ 点を選び、生成された窓形状を子個体とする。中心の処理点は $1/2$ の確率で p_1 あるいは p_2 の荷重を採用する。図1に $N=9$ のときの交叉の例を示す。

一般にGAでは1回の交叉の適用で生成される子個体は複数であるが、本手法は1回の交叉で親2個体か

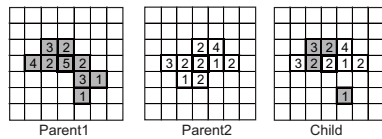


図 1 交叉の例
 Fig. 1 Example of crossover

ら 1 個体だけ生成されるため、交叉を親個体の各ペアに複数回適用することで、複数の子個体を生成する。なお、図 1 の例のように、交叉により分離した点が発生する可能性があるが、フィルタとしては実行可能解である。初期点では探索の効率化のため、処理点を中心とした連続形状としたが、解探索の自由度を高めるため分離点の連結などの修正は行わない。

突然変異については、生成された子個体に対してランダムに選んだ 1 点を窓の近傍点にランダムに移動させ、荷重については $[1, W_{max}]$ の範囲のランダムな値に置き換える。

3.2.3 世代交代モデル

本研究では ER(Elitist Recombination)⁵⁾において、子個体を複数個 (N_{cross} 個) 生成するようにし、親 2 個体、子 N_{cross} 個体からなる家族から最良 2 個体を選択する世代交代モデルを用いる。

4. 自然画像における輝度勾配情報を考慮した荷重メジアンフィルタの設計

4.1 設計指針と手順

本研究では 3 章で述べた手法を応用し、自然画像における荷重メジアンフィルタの設計を考える。自然画像内には様々な方向もつエッジが複数含まれているため、画像全体に一律なフィルタを設計するのではなく、種々の方向の微細なエッジに対応してフィルタを設計することでより精度の高い復元が実現できると考えられる。ここでは、入力画像に対してエッジを抽出し、画素を種々の方向のエッジあるいは平坦領域に分類し、それぞれに属する画素集合に対して、適した荷重メジアンフィルタの形状および荷重を推定する。各画素がどの方向性を持ったエッジ上にあるか、あるいは平坦領域にあるかは、その位置での輝度勾配で推定することができる。図 2 に本手法の処理の流れを示し、以降で各処理について説明する。

4.2 劣化画像における輝度勾配推定と前処理

エッジは輝度の濃淡が急に変化している箇所であり、各画素についてその隣接画素との輝度勾配値(画素値の差分値)によって特徴づけられる。しかし、本論文における処理対象画像はインパルス性雑音によって劣

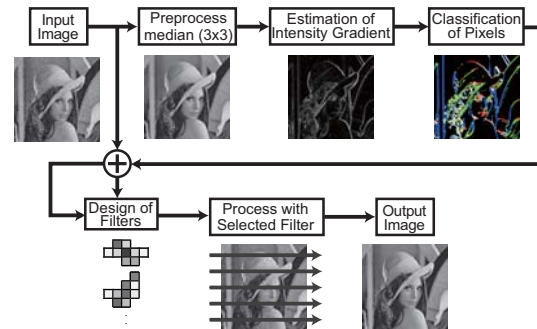


図 2 提案手法の処理手順
 Fig. 2 Flow of proposed method

化した画像であり、雑音画素においてもその勾配が大きくなり、エッジ推定に悪影響を与える。そこで、提案手法ではインパルス性雑音のような大振幅の雑音に対してロバストに勾配強度および勾配方向を推定することができる RCMG-Median-Mean を採用する⁶⁾。RCMG-Median-Mean は、勾配を生成するハイパスフィルタの役割である RCMG(Robust Color Morphological Gradient) 演算と雑音を低減させるローパスフィルタの役割であるメジアン演算 (Median) 用い、それぞれのフィルタを異なる順序で水平・垂直方向に直交に適用したときの結果を平均値演算 (Mean) によって集約することにより、推定精度を向上させている。RCMG 演算を水平に、メジアン演算を垂直に適用することで水平方向の輝度勾配 g_x が、メジアン演算を水平、RCMG 演算を垂直に適用することで垂直方向の勾配 g_y が得られる。RCMG-Median-Mean を適用するにあたり、必要とされるパラメータは RCMG 演算におけるトリム処理のサイズ s および窓形状である。ここでは、原論文に従い $s=1$ とし、窓形状には多く用いられている、勾配の局所化と雑音の低減の間でよい妥協点を与える 5×5 の正方窓を採用する。なお、RCMG-Median-Mean はインパルス性雑音の影響を受けにくい手法ではあるが、高い雑音付加率のもとでは雑音の影響は無視できない。そのため前処理として、メジアンフィルタによる簡易な雑音低減処理を行う。

4.3 輝度勾配による画素の分類

勾配の強度および方向から、画素を平坦領域および種々の方向のエッジ領域に分類する。RCMG-Median-Mean を用いて求められた各画素 (i, j) における水平方向、垂直方向の輝度勾配をそれぞれ $g_x(i, j)$, $g_y(i, j)$ とすると、勾配強度 $|g(i, j)|$ および勾配方向 $g_\theta(i, j)$ はそれぞれ次のように求められる。

$$|g(i, j)| = \sqrt{g_x(i, j)^2 + g_y(i, j)^2} \quad (8)$$

$$g_\theta(i, j) = \tan^{-1} \left(\frac{g_y(i, j)}{g_x(i, j)} \right) \quad (9)$$

勾配強度が閾値 d 未満の場合は平坦部分、閾値以上の場合はエッジと判断する。フィルタの窓形状はエッジの方向に沿ったものが望ましいと考えられるため、本研究では様々な方向に沿ったフィルタを個々の方向に対して設計する。そこで、エッジ領域と判別された画素 (i, j) を勾配方向 $g_\theta(i, j)$ によってさらに C 個のパターンのいずれかに分類し、各画素がどの領域に分類されているかを示す領域分割画像 L を次のように得る。

$$L(i, j) = \begin{cases} 0, & |g(i, j)| < d \\ \lfloor \frac{g_\theta(i, j)}{\Delta} + 0.5 \rfloor + 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

ここで、 $\lfloor \cdot \rfloor$ は括弧内の数値を超えない最大整数を与える記号である。また Δ は量子化ステップであり、 $\Delta = \pi/C$ とする。また、 g_θ は垂直下方軸を 0 とし、 $L(i, j) > C$ となった場合は $L(i, j) = 1$ とする。

4.4 各領域での設計

領域 $L(i, j) = k (k = 0, \dots, C)$ について、それぞれ荷重メジアンフィルタを設計する。目的関数は 3.1.2 で示した式 (7) について、 $L(i, j) = k$ に属する画素のみで原信号の保存性の項 f_1 、平滑化の項 f_2 を計算する。ただし、 f_1, f_2 では各画素でフィルタ処理を行うが、その際には属している領域に関係なく窓形状に含まれる画素の値を用いる。

5. 数値実験

提案手法と画像に対して一様に荷重メジアンフィルタを設計するアプローチを比較する。いずれも最適化の手法として 3.2 で示した GA を使い、提案手法は $C=4(5$ 領域に分割) とした。また、代表的なインパルス性雑音の除去手法と比較する。比較手法として (1) メジアンフィルタ、スイッチングタイプのフィルタの (2) PSM (Progressive Switching Median)⁷⁾、(3) 画像の方向性を考慮した PSWA (Weighted Average)⁸⁾ および (4) 多方向走査平均処理と 2×2 雑音検出器を組み合わせたスイッチングメジアン (2×2)⁹⁾、また、(5) 提案手法の評価関数でも採用した ROLD 統計量を用いたインパルス性雑音除去手法 ROLD-EPR (edge-preserving regularization)⁴⁾、(6) 学習画像を使う方式として、LMA (least mean absolute) を用いた最適荷重設計法¹⁰⁾ により設計された荷重メジアンフィルタを用いた。提案手法を含め、いずれの手法においてもパラメータは画像ごとに最適なものを採用する。

検証実験は図 3 に示すように、SIDBA(Standard Im-

age Data-Base)¹¹⁾ から、画像処理のベンチマークとして良く用いられる種々の性質をもつ 8 種類の自然画像を使用した。画像サイズは 256×256 であり、256 階調のグレースケール画像である。いずれも雑音付加率 $p=0.05$ および 0.2 とした。フィルタの復元精度については、これらの原画像と処理結果の MSE を比較指標として用いる。この指標は小さいほど原画像に近い画像が得られることを示す。



図 3 原画像
Fig. 3 Original images

GA における各パラメータについては、予備実験により、初期集団生成数 100、子個体生成数 10、突然変異率 5% とし、計算終了世代を 50 世代とした。平坦領域とエッジ領域を判別するための勾配強度の閾値 $d=10$ とし、荷重メジアンフィルタを設計する際の ROLD の閾値 Th は 70 から 120 の 10 刻みの 6 設定から、最良のものを比較する。

表 1 および表 2 に、雑音付加率 $p=0.05$ および 0.2 の 8 例題について、(1)-(6) の手法、一様設計、および提案手法で設計されたフィルタの処理結果比較を示す。一様設計および提案手法は 5 試行の最良結果を示している。また、図 4 に提案手法で設計されたフィルタと処理画像の一例を示す。

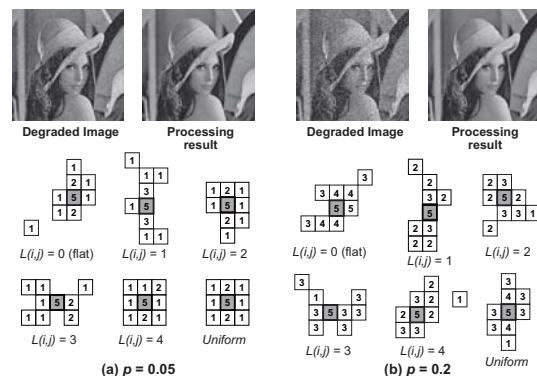


図 4 設計されたフィルタと処理画像
Fig. 4 Designed filters and processing results

表 1 他手法との比較 ($p=0.05$)

Table 1 Comparison among impulse removal methods ($p=0.05$)

Instance	Degraded image	Methods							
		Median	PSM	PSWA	LMA	ROLD-EPR	2x2	uniform	proposed
Airplane	521.10	100.01	59.01	50.74	44.70	40.55	35.05	43.35	29.24
Barbara	382.10	249.21	120.15	95.14	47.01	53.64	58.46	36.71	28.01
Boat	335.42	49.10	27.22	21.82	14.22	15.54	13.04	12.40	9.48
Bridge	436.17	309.02	109.05	96.79	110.46	84.19	86.06	109.58	79.18
Cameraman	494.70	132.97	113.38	99.10	48.96	62.52	69.51	46.17	39.07
Girl	505.73	28.66	11.23	9.45	14.62	10.82	9.92	14.71	8.79
Lena	381.73	47.05	25.59	23.10	20.86	21.84	21.45	21.82	14.68
Lighthouse	431.56	254.78	156.61	145.47	78.44	95.46	90.99	76.34	60.23

表 2 他手法との比較 ($p=0.2$)

Table 2 Comparison among impulse removal methods ($p=0.2$)

Instance	Degraded image	Methods							
		Median	PSM	PSWA	LMA	ROLD-EPR	2x2	uniform	proposed
Airplane	1995.07	164.23	149.63	142.61	144.40	122.81	112.29	132.79	107.88
Barbara	1585.17	320.82	276.87	227.26	185.40	207.36	187.18	142.54	117.46
Boat	1356.75	87.11	69.23	69.47	71.16	52.25	49.59	58.05	42.02
Bridge	1738.75	402.32	296.12	276.30	311.17	248.12	231.26	304.06	241.14
Cameraman	1901.48	198.40	197.11	198.70	168.30	168.89	148.59	169.61	147.40
Girl	2069.20	73.27	39.74	38.69	73.27	37.44	39.41	73.27	49.84
Lena	1588.93	92.80	77.95	77.18	85.45	69.85	63.46	84.24	61.77
Lighthouse	1804.39	336.19	309.95	295.37	246.66	238.69	223.18	233.23	200.26

ほとんどの画像において、提案手法の MSE は比較手法の MSE に比べ優れており、提案手法の有効性を確認できる。雑音付加率が高くなると、一部の画像において提案手法の MSE が比較手法よりも劣る、もしくは同等となる結果が得られた。これは、雑音付加率が高くなると雑音が固まる箇所が多くなるため、フィルタ窓内に雑音画素が多く含まれ、出力値が雑音画素値(もしくはそれに近い値)となる可能性が高くなるためである。比較手法の PSM, PSWA, ROLD-EPR は雑音位置画像作成およびフィルタ処理を交互に複数行う繰り返し処理により、雑音が固まった箇所を徐々に復元している。また 2x2 は、走査中の入力画像に、雑音除去済みあるいは復元済みの画素を上書きする再帰処理によって雑音が固まっている箇所を徐々に復元している。提案手法においてもこれらの処理を導入することにより、雑音付加率が高い場合に対しても復元精度が向上すると考えられる。

6. おわりに

本論文では、インパルス性雑音によって劣化した自然画像を復元するために、種々の方向の微細なエッジの保存を考慮した荷重メジアンフィルタの設計手法を提案した。本手法は輝度勾配情報により画像を一様な方向を持った領域に分割し、それぞれの方向に沿ったフィルタを設計、適用することで、他手法と比較して、高い復元精度の処理結果が得られることを示した。

謝辞 本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会の科学研究費補助金(若手研究(B):課題番号24700234)の助成を得て行われた。

参考文献

- 1) 棟安実治, 田口亮: 非線形デジタル信号処理, 朝倉書店, 東京, 1999.
- 2) 花田良子, 棟安実治, 浅野晃: テクスチャ画像における劣化画像のみを用いた荷重メジアンフィルタの遺伝的アルゴリズムによる設計, 電子情報通信学会論文誌 A, vol. J94-A, no. 1, pp. 18-29, 2011.
- 3) Goldberg, D. E.: Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.
- 4) Y. Dong, R. H. Chan and S. Xu: A Detection Statistic for Random-Valued Impulse Noise, IEEE Trans. Image Processing, vol. 16, no. 4, pp. 1112-1120, April 2007.
- 5) D. Thierens and D. E. Goldberg. Elitist Recombination: an integrated selection recombination GA. Proceedings of the 1st IEEE Conference on Evolutionary Computation, pp. 508-512, 1994.
- 6) E. Nezhadarya and R. K. Ward: A New Scheme for Robust Gradient Vector Estimation in Color Images, IEEE Trans. Image Process., vol. 20, no. 8, pp. 2211-2220, Aug. 2011.
- 7) Z. Wang and D. Zhang: Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted image, IEEE Trans. Circuits & Systems II: Analog & Digital Signal Processing, vol. 46, no. 1, pp. 78-80, Jan. 1999.
- 8) 松本哲夫, 田口亮: 雑音位置情報と画像の方向性を考慮したインパルス性雑音除去手法, 電子情報通信学会論文誌 A, vol. J83-A(12), pp.1382-1392
- 9) 横山靖樹, 宮崎敬, 曾根光男, 山本博章: 多方向走査平均処理と 2×2 雑音検出器を組み合わせたスイッチングメジアンフィルタ, 電子情報通信学会論文誌 A, vol. H95-A, no. 10, pp. 737-750, 2012.
- 10) L. Yin, J. T. Astola, and Y. A. Neuvo: Adaptive Stack Filtering with Application to Image Processing, IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, no. 1, pp. 162-184, 1993.
- 11) <http://sipi.usc.edu/database/>