

J-1

# 周波数選択特性を有する荷重メジアンフィルタによる 雑音で劣化した画像の復元

## Recovery of Images Degraded by Additive Noise using Weighted Median Filters with Frequency Selective Property

目黒 光彦<sup>†</sup>  
Mitsuhiko Meguro

金子 正秀<sup>†</sup>  
Masahide Kaneko

樽松 明<sup>†</sup>  
Akira Kurematsu

### 1. はじめに

本論文では、周波数選択性フィルタとして設計可能な正負両方の荷重を有する一般化荷重メジアン (GWM) フィルタを、インパルス性雑音で劣化した画像の復元処理に適用する手法を提案する。GWM フィルタは、正の荷重のみ持つことが許される荷重メジアンフィルタを、正のほかに負の荷重値も有する構成にしたフィルタである。正負両方の荷重を適切に選択することにより、所望の周波数特性に近似した特性を有する荷重メジアンフィルタを設計することができる。そこで、周波数特性を有する GWM フィルタを画像復元処理のために設計する手法について提案する。非定常性に富んだ画像信号に合わせた適切なフィルタ処理を施すために、フィルタ窓内の信号ごとに、画像勾配の方向性によりクラスタリングする。それぞれのクラスに適した周波数特性を有する GWM フィルタを設計した後、各ブロックごとにフィルタ処理を切り替える。これにより、インパルス性雑音の除去と画像信号の高周波成分の保持が両立される処理が実現されることを適用例を通じて明らかにする。

### 2. 一般化荷重メジアン (GWM) フィルタ

#### 2.1 荷重メジアン (WM) フィルタと一般化荷重メジアン (GWM) フィルタ

荷重メジアン (Weighted Median: WM) フィルタは、フィルタ窓内の位置に関する重み付けがなされたメジアン出力が選択されるフィルタとして提案されている [1]。フィルタ窓内の入力信号を  $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_N)$ 、窓内それぞれの位置に該当する荷重を  $(W_1, W_2, \dots, W_N)$  とすると、WM フィルタ出力  $Y$  は

$$Y = \text{Median}(W_1 \diamond X_1, W_2 \diamond X_2, \dots, W_N \diamond X_N) \quad (1)$$

である。ここで  $\diamond$  を、信号を多重させる処理  $W \diamond X = X, \dots, X$  ( $W$  個だけ信号  $X$  を多重) とし、荷重  $W$  を正の整数とする。つまり、荷重が大きい位置に該当する信号ほど、多重される個数が増すことによって、フィルタ出力値として選択される確率を大きくしたメジアンフィルタ処理である。

従来の WM フィルタの荷重は正数であるという制約があった。そこで、この制約を取り除き、負数の荷重を許した一般化荷重メジアン (GWM) フィルタが提案されている [1]。窓内それぞれの位置に該当する正または負の整数の荷重を  $(W_1, W_2, \dots, W_N)$  とすると、GWM フィルタ出力  $Y$  は

$$Y = \text{Median}(|W_1| \diamond \text{sgn}(W_1) X_1, \dots, |W_N| \diamond \text{sgn}(W_N) X_N) \quad (2)$$

である。つまり、負の荷重に該当する信号自身を負数に変換の上、荷重メジアン処理を行うものである。

<sup>†</sup>電気通信大学 大学院電気通信学研究所 電子工学専攻  
〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1  
E-mail: {meguro, kaneko, kure}@ee.ucc.ac.jp

#### 2.2 GWM フィルタの周波数特性推定法

Mallows は、WM フィルタにおいて、ガウス過程信号を入力としたときのフィルタ窓内の  $i$  番目の信号  $X_i$  が出力される確率  $p_i$ 、つまり、サンプル選択確率 (SSP) を求めることによって、 $p_i$  と等しいフィルタ係数を有する線形フィルタに近似した周波数特性を有する周波数特性推定法を導いている [2, 3]。所望の SSP を有するように WM フィルタを設計することによって、所望の周波数特性を有する WM フィルタが設計可能といえる。そこで、荷重値を正に限定せずに、負の荷重をも含めた GWM フィルタを、所望の周波数特性を有するような SSP 値になるように設計すれば、所望の周波数特性を近似した WM フィルタが得られる [2]。つまり、GWM フィルタの荷重から SSP を求めることで GWM フィルタの周波数特性を推定することが可能となる。まず、正または負の整数である GWM フィルタの荷重を  $\mathbf{W} = (W_1, W_2, \dots, W_N)$  とし、 $\mathbf{W}$  から負号を取り除いた荷重を  $\hat{\mathbf{W}} = (\hat{W}_1, \hat{W}_2, \dots, \hat{W}_N)$  ( $\hat{W}_i \geq 0, \forall i$ ) とする。次に、文献 [2] にしたがって、フィルタ荷重を  $\hat{\mathbf{W}}$  としたときのフィルタ窓内信号  $(X_1, X_2, \dots, X_N)$  それぞれを出力として選択する確率である SSP、つまり、 $\hat{\mathbf{p}} = (\hat{p}_1, \hat{p}_2, \dots, \hat{p}_N)$  を求める。フィルタ荷重  $\hat{\mathbf{W}}$  から、 $\hat{\mathbf{p}}$  を求める一連の処理を  $\hat{\mathbf{p}} = \Psi(\hat{\mathbf{W}})$  と表現する。

GWM フィルタの周波数特性は、フィルタ係数  $\hat{\mathbf{h}} = (\hat{h}_1, \hat{h}_2, \dots, \hat{h}_N)$  が  $\hat{h}_i = \text{sgn}(W_i) \cdot \hat{p}_i$  によって与えられる FIR フィルタの周波数特性により近似される [2]。

#### 2.3 所望の周波数特性を有する GWM フィルタの設計法

本節では、所望の周波数特性を有する GWM フィルタの設計法について述べる [2]。まず、所望の周波数特性を有する FIR フィルタを設計し、FIR フィルタ係数  $\mathbf{h} = (h_1, h_2, \dots, h_N)$  を求めておく。次に、フィルタ係数を  $h_i = \text{sgn}(h_i) |h_i|$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とし、負号を分けた形にし、正数値  $|h_i|$  によって、所望の SSP である  $\mathbf{p}$  を  $\mathbf{p} = (|h_1|, |h_2|, \dots, |h_N|)$  と設定する。次に、ある荷重  $\mathbf{W}$  にて設定した GWM フィルタを、その荷重の負号を取り除き正にした荷重  $\hat{\mathbf{W}}$  を用いて、 $\Psi(\hat{\mathbf{W}})$  により算出する。ここで、 $\Psi(\hat{\mathbf{W}})$  と  $\mathbf{p}$  とのユークリッド距離を最小とする  $\mathbf{W}_{\text{opt}} = (W_{\text{opt}1}, W_{\text{opt}2}, \dots, W_{\text{opt}N})$  を

$$\mathbf{W}_{\text{opt}} = \arg \min_{\hat{\mathbf{W}}} \|\Psi(\hat{\mathbf{W}}) - \mathbf{p}\|_2, (W_i \geq 0, \forall i) \quad (3)$$

により求める。求めた荷重  $\mathbf{W}_{\text{opt}}$  から、GWM フィルタの荷重  $\mathbf{W}$  は  $\mathbf{W} = (\text{sgn}(h_1) W_{\text{opt}1}, \text{sgn}(h_2) W_{\text{opt}2}, \dots, \text{sgn}(h_N) W_{\text{opt}N})$  である。他に、逐次更新学習により荷重を求めることも可能である [1]。しかしながら、雑音による劣化前と後の対となる学習用信号が必要となり、実用的ではない。



(a)Original image("LENA") (b)Degraded image(salt 2%)



(c) WM filter (d) Proposed filter( $\alpha = 3$ )

Fig.1: Restoration of images (impulsive noise)



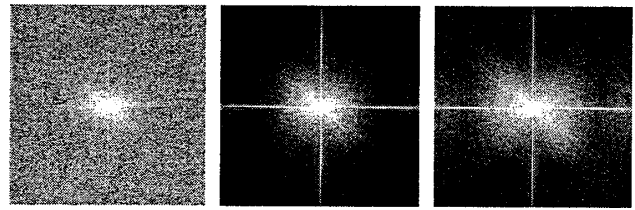
(a) Blur & Impulse (b) Proposed filter( $\alpha = 3$ )

Fig.2: Restoration of images (blur & impulsive noise)

### 3. 画像の復元処理のための GWM フィルタ

#### 3.1 画像復元処理のための GWM フィルタ構成法

画像を適切に復元処理するためには、画像のスペクトル的な特性を把握し、その性質の違いに応じて適した処理に切り替える必要がある。GWM フィルタは、所望の周波数特性を有する荷重メジアンフィルタが設計可能なフィルタである。そこで、画像のフィルタ窓内の信号の方向性によりクラスタリングを行い、それぞれのクラスに分けられた信号に対して、適した周波数特性を有する GWM フィルタによる復元処理を考える。ここでは、フィルタ窓内の信号の方向性を、縦、横、右斜め、左斜めの 4 種類とした典型的なクラスを想定し、テンプレートマッチングにより窓内の信号をいずれかのクラスであるかを判断する。方向性を検出するためのテンプレートと同様な周波数特性を有する、ハイパス特性を有した GWM フィルタを設計し、用いることとする。それらのフィルタを  $Y = GWM_{high-i}(X)$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) とし、画像信号の平滑化を目的としたローパス特性を有する GWM フィルタを  $GWM(X)$  とする。提案する画像復元のため



(a)Degraded (b)WM output (c) Proposed output

Fig.3: Spectrums of images

のフィルタ出力を

$$Y = GWM(X) + \alpha GWM_{high-i}(X) \quad (4)$$

とする。これにより、ローパス特性を有する GWM フィルタにおいて雑音除去が行われ、ハイパス特性を有する GWM フィルタにおいてエッジ等の詳細な成分の抽出が行われることによって、信号成分の劣化を抑えながら雑音除去を実現する画像復元フィルタを実現している。

#### 3.2 適用例

原画像 LENA(図 1(a)) に生起確率 2% の正のインパルス性雑音が加えられた画像 (図 1(b)) の、WM フィルタおよび提案する復元用 GWM フィルタによる出力結果を、それぞれ図 1(c) および図 1(d) に示す。帽子のつばの部分のエッジ成分等の詳細な画像信号が保持されながら、雑音が適切に除去されていることが分かる。

次に、提案手法の有効性を際立たせる応用例として、 $3 \times 3$  の平均値フィルタによりボケを生じさせた画像に生起確率 2% の正のインパルス性雑音を加えさせた画像 (図 2(a)) を、提案フィルタにより復元した結果を図 2(b) に示す。雑音を取り除きながら効果的にボケを修復するフィルタ処理が実現されていることが分かる。

最後に、図 2(a)、図 2(a) を WM フィルタにて処理した出力画像、および、図 2(b) 画像のスペクトルを、図 3(a),(b)、および (c) に示す。単なる WM フィルタ処理では損なわれている高周波成分も、提案フィルタにおいては保存されていることが理解される。

### 4. むすび

本論文では、周波数選択性を持たせた一般化荷重メジアン (GWM) フィルタによる、雑音で劣化した画像の復元処理を提案した。ハイパスフィルタ特性を有するフィルタの設計が可能な GWM フィルタを画像復元に用いることによって、インパルス性雑音の除去と信号の高周波成分の保持の両立を図ることができた。

### 参考文献

- [1] G. R. Arce, "A general weighted median filter structure admitting negative weights," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.46, no.12, pp.3195-3205, Dec. 1998.
- [2] I. Shmulevich and G. R. Arce, "Spectral design of weighted median filters admitting negative weights," *IEEE Signal Processing Lett.*, vol.8, no.12, pp.313-316, Dec. 2001.
- [3] C. L. Mallows, "Some theory of nonlinear smoothers," *Ann. Statist.*, vol.8, no.4, pp.695-715, 1980.
- [4] M. K. Prasad and Y. H. Lee, "Stack filters and selection probabilities," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.42, no.10, pp.2628-2643, Oct. 1994.