

## ロバストなノンローカル手法に基づく 混合雑音画像デノイジング

日大生産工(院) ○新倉 春樹  
日大生産工 目黒 光彦

### 1 はじめに

劣化画像を復元する技術は、様々な研究により成果があげられている。近年、画像の詳細成分を損なうことなく、高いガウス性雑音の除去性能を有する手法として、Block-matching and 3D filtering (BM3D) [1], Non Local Means (NL-Means) [2]等のノンローカル手法が注目されている。これらは画像信号の模様の類似度を用いて劣化画像の復元を行う手法として知られる。

NL-Meansは、注目画素を中心としたブロック（対象ブロックと呼ぶ）と、類似性の高い周辺のブロック（参照ブロックと呼ぶ）の中心画素をかき集め、ブロック間の類似度による重みにより荷重平均を出力とする雑音除去手法である。しかしながら、NL-Meansでは、ブロック間の類似度を求める際に、雑音の影響によりブロック間の類似度を正確に推定できなくなることがある。

BM3Dは、直交変換を含んだNL-Meansベースの雑音除去手法である。初めに、NL-Meansと同様に対象ブロックと類似性の高い参照ブロックを集めるため、画像内でブロックマッチングを行い、その中でも類似性の高いブロックのみを積み重ね、三次元の画素キューブを作成する。次に、キューブの各レイヤーであるブロックごとにDCT等の二次元直交変換を施す。さらに、キューブの同一の位置に対応するレイヤーにまたがった一次元信号に対し、ハール変換等の直交変換を行う。直交変換で得られた係数のうち、小さい成分をカットしたのち、逆変換を行うことで、三次元キューブに再構成する。そして、三次元キューブの各レイヤーの画像ブロックを元の座標の位置に戻し、重ね合わせておく。これらの処理をすべての画素に対し適用後、すべての画素に戻された画素ブロックの注目画

素を荷重平均した値を出力する雑音除去手法である。

しかしながら、これらはガウス性雑音により劣化された画像のみに有効であり、画像信号内にインパルス性雑音に代表される突発性雑音が含まれている場合、類似度判定の精度が著しく低下してしまう。さらに、対象ブロックと参照ブロック双方の中心画素に突発性雑音が重畳される場合、突発性雑音の除去は困難であるため、高い雑音除去性能が得られなかった。

さらに、従来の手法においても、ガウス性雑音で劣化した場合でも、雑音の影響により、ブロックの類似度推定の精度が低くなり、その結果、十分な雑音除去性能を得ることができないこともあった。

本研究では、ガウス性雑音と突発性雑音による混合雑音で劣化した画像に対し、対象ブロック、参照ブロック内の突発性雑音を取り除いて類似度判定を行い、さらに、処理点である対象ブロックの中心座標に突発性雑音を検出された場合、中心座標の信号を取り除いたブロックにより類似度判定を行いながら、ガウス性雑音による影響を低減したNL-Meansを提案する。適用例を通じて、本提案手法の有効性を明らかにする。

### 2 従来手法

NL-Meansは、注目画素を中心とした対象ブロックと、類似性の高い参照ブロックの中心画素をかき集め、その画素値をブロック間の類似度に応じた荷重で荷重平均したものを出力とする雑音除去手法である。

ここで、対象画素を $i$ 、参照画素を $j$ とした場合、対象ブロックと参照ブロックの類似度 $s(i,j)$ は、

---

Image Denoising by Non Local Means with Robustness  
for Gaussian and Impulsive Noise

Haruki NIIKURA and Mitsuhiko MEGURO

$$s(i, j) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{v}(i) - \mathbf{v}(j)\|^2}{h^2}\right) \quad (1)$$

と算出する。このとき、 $h$ は平滑化強度を制御する正のパラメータであり、 $\|\mathbf{v}(i) - \mathbf{v}(j)\|^2$ は、異なる2つのブロックの全画素値の二乗誤差和を示す。ここで $\mathbf{v}(i)$ は、

$$\mathbf{v}(i) = (\mathbf{v}(i)_1, \mathbf{v}(i)_2, \dots, \mathbf{v}(i)_k)^T \quad (2)$$

で示される画素 $i$ を中心とする $k \times k$ 画素のブロック内の画素値を並べた $k^2$ のベクトルである。また、類似度 $s(i, j)$ は、絶対値誤差和 (SAD) で求めることもでき、この場合の類似度 $s(i, j)$ は、

$$s(i, j) = \exp\left(-\frac{(|\mathbf{v}(i) - \mathbf{v}(j)|)}{f}\right) \quad (3)$$

と表す。ここで、 $|\mathbf{v}(i) - \mathbf{v}(j)|$ は、異なる2つのブロック全ての画素値のSADを示し、 $f$ は平滑化強度を制御する正のパラメータである。また、類似度を正規化して求めた荷重 $w(i, j)$ は、対象画素 $i$ の周辺の参照画素の集合 $\Omega(i)$ 及び、類似度 $s(i, j)$ より、

$$w(i, j) = \frac{s(i, j)}{\sum_{l \in \Omega} s(i, l)} \quad (4)$$

と算出する。出力 $y(i)$ は、荷重 $w(i, j)$ 、処理前の参照画素の画素値 $x(j)$ から

$$y(i) = \sum_{j \in \Omega(i)} w(i, j)x(j) \quad (5)$$

と求める。ここでNL-Meansによる雑音除去の概略を図1に示す。

しかしながら、NL-Meansでは、ガウス性雑音の成分がブロック間の類似度を求める際のブロックにも含まれるため、雑音の影響により、正確な類似度が得られなくなることがある。さらに、画像信号内にインパルス性雑音に代表される突発性雑音が含まれている場合、ブロック間の類似度判定の精度が著しく低下する。その結果、処理結果画像では、エッジ部にボケや平坦な部にムラが発生し、ブロック内に突発性雑音を重ねられている場合、

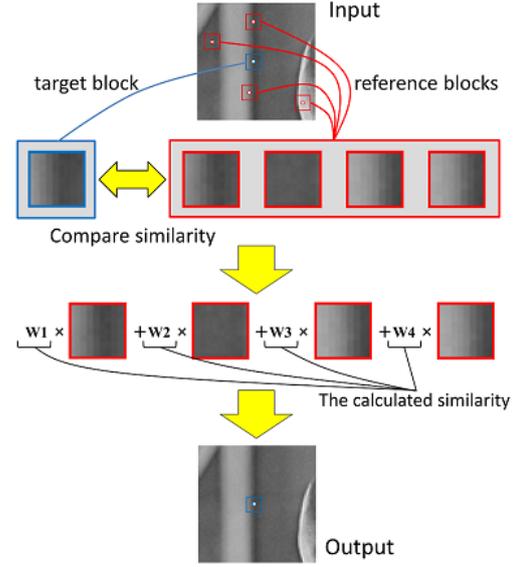


図1 NL-Meansによるフィルタ処理

NL-Meansでは、突発性雑音の除去は困難となる。

### 3 提案手法

突発性雑音を検出する雑音検出部についての説明を3.1に、混合雑音を除去する雑音除去部を3.2で説明する。

#### 3.1 雑音検出部

突発性雑音を検出する手法として、Wangらにより提案されたPSMフィルタの雑音検出器[3]を用いて、注目画素が突発性雑音で劣化しているか否かを判定する。判定結果を格納する雑音検出画像 $P(i)$ を求める。劣化していると判断した画素には $1(P(i)=1)$ を、劣化していないと判断した画素には $0(P(i)=0)$ を当てはめる。

雑音検出器では、入力信号を $x(i)$ 、反復回数を $N$ 、 $n$ 回目の反復における雑音検出画像を $b_n(i)$ 、 $n$ 回目のフィルタ処理後の画像を $y_n(i)$ とし、それぞれの初期値は、

$$\begin{aligned} y_0(i) &= x(i) \\ b_0(i) &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

とする。このとき、突発性雑音を検出するための閾値を $T_h$ 、画像 $y_n(i)$ の座標 $i$ 近傍の中央値を $m_n(i)$ としたとき、雑音検出画像 $b_n(i)$ は、

$$b_n(i) = \begin{cases} b_{n-1}(i) & \text{if } (y_{n-1}(i) - m_{n-1}(i)) < T_h \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

と更新し、 $y_n(i)$ は

$$y_n(i) = \begin{cases} m_n(i) & \text{if } b_n(i) \neq b_{n-1}(i) \\ y_{n-1}(i) & \text{if } b_n(i) = b_{n-1}(i) \end{cases} \quad (8)$$

と更新する．ここで，反復回数 $N$ よりも反復回数が少ない場合， $n = n + 1$ として式(7)と式(8)の計算に戻り，反復回数が $N$ 回に達したとき，

$$P(i) = \begin{cases} 1 & \text{if } b_1(i) \vee b_2(i) \vee \dots \vee b_N(i) = 1 \\ 0 & \text{if } b_1(i) \vee b_2(i) \vee \dots \vee b_N(i) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

として雑音検出画像 $P(i)$ を得る．

### 3. 2 雑音除去部

雑音除去部では，3. 1で示した雑音検出器により得られた雑音検出画像 $P(i)$ に基づいて突発性雑音を除去したブロックマッチングを実現する．突発性雑音の除去手順を以下の1)~3)に示し，概略を図2に示す．

- 1) NL-Meansの類似度を求める際，式(1)，式(3)における双方のブロックのどちらかに突発性雑音が存在している画素を含めずに類似度 $s(i, j)$ を算出する．
- 2) 処理点である対象ブロックの中心座標が突発性雑音で劣化していると判断された場合，類似度を算出する際に中心座標の信号を取り除いたブロックを使用する．
- 3) 参照ブロックの中心画素がインパルス性雑音で劣化していると判断された場合，その参照ブロック自体を類似度の計算式から除外する．

次に，あらかじめ突発性雑音を除いた信号によるブロックマッチングを行う際，ブロック内に残留しているガウス性雑音により生じるSAD値を，Boyceにより提案されている算出式[4]を用いて推定し，差し引くことで混合雑音にロバストなNL-Meansを実現させる．

ここで推定される雑音により生じる値である $SAD_{noise}$ は，ブロックサイズを $M$ ，両ブロックに加法されるガウス性雑音の標準偏差を $\sigma_n$ とし，それらのデータ同士で計算したSAD値は，その期待値を $E\{SAD\}$ ，分散値を $Var\{SAD\}$ ， $\delta$ ， $\gamma$ を任意の値としたとき，チェビシェフの不等式により，

$$Prob.\{|SAD - E\{SAD\}| \geq \delta\} \leq \frac{Var\{SAD\}}{\delta^2} \quad (10)$$

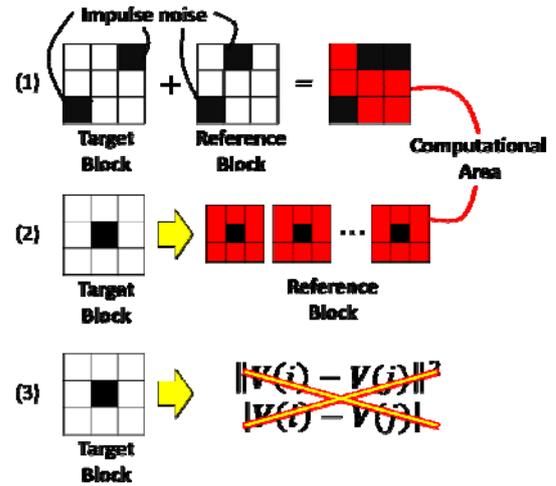


図2 NL-Meansによるフィルタ処理

が成り立つ．これを計算すると

$$Prob.\left\{SAD \geq \frac{2M\sigma_n}{\sqrt{\pi}} + \gamma \sqrt{2M\sigma_n \left(1 - \frac{2}{\pi}\right)}\right\} \leq \frac{1}{\gamma^2} \quad (11)$$

となる．ここから， $1/\gamma^2$ の確率をもって得られSAD内に含まれる雑音により生じる値である $SAD_{noise}$ は，

$$SAD_{noise} = \frac{2M\sigma_n}{\sqrt{\pi}} + \gamma \sqrt{2M\sigma_n \left(1 - \frac{2}{\pi}\right)} \quad (12)$$

と算出される．本手法では， $\gamma$ を1.015として計算を行い，得られた $SAD_{noise}$ の値をSAD内に含まれる雑音により生じる値とした．従って，対象画素を $i$ ，参照画素を $j$ とした場合，雑音にロバストな類似度 $s'(i, j)$ は，

$$s'(i, j) = \exp\left(-\frac{(|\mathbf{v}(i) - \mathbf{v}(j)| - SAD_{noise})}{f}\right) \quad (13)$$

となり，荷重 $w'(i, j)$ は，

$$w'(i, j) = \frac{s'(i, j)}{\sum_{l \in \Omega} s'(i, l)} \quad (14)$$

と算出され，処理対象画像の画素値を $x(j)$ としたときの出力する画素 $y'(i)$ は，

$$y'(i) = \sum_{j \in \Omega(i)} w'(i, j) x(j) \quad (15)$$

と算出される．

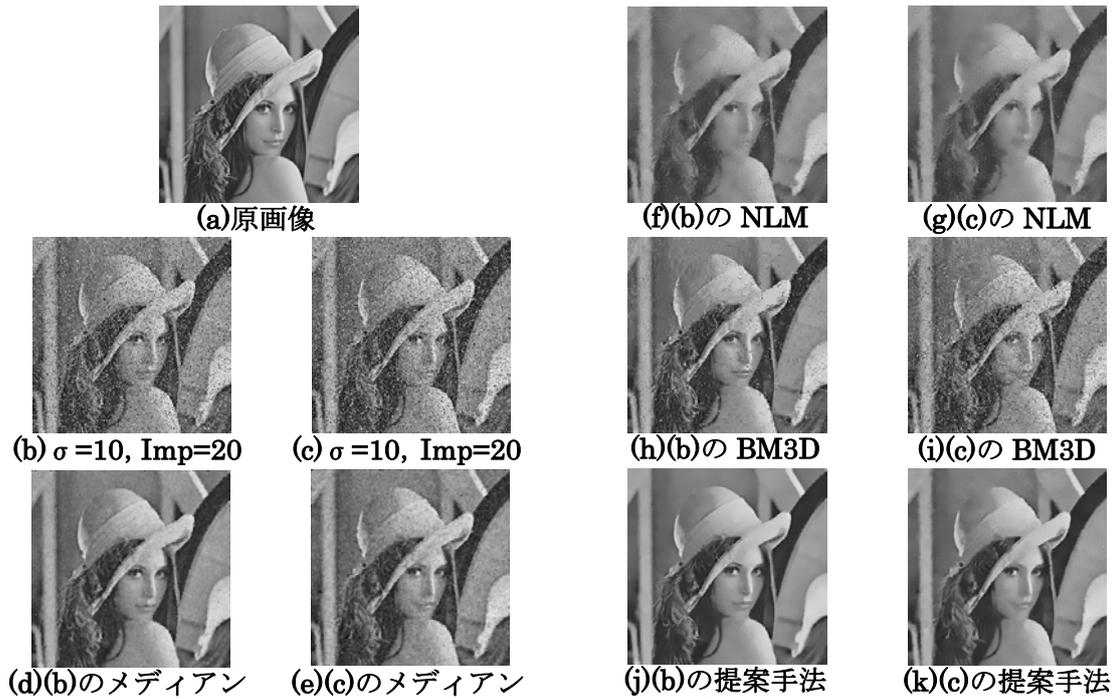


図3 他のフィルタとの比較

表1 他のフィルタとのMSEの比較

$O_n$	Imp(%)	メディアン	NLM	BM3D	提案手法
10	10	90.85	156.17	81.69	54.02
	20	132.69	287.03	295.86	81.07
	30	269.06	443.75	504.17	106.42
20	10	160.80	169.25	93.82	92.11
	20	216.37	282.98	330.58	106.49
	30	309.30	474.88	649.20	138.44

#### 4 適用例

本提案手法の有効性を確認するため、雑音除去性能の比較実験を行う。評価基準として、 $m \times n$ 画素の2枚の所望画像 $s$ , 出力画像 $y$ とすると、平均二乗誤差 (MSE) は、

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [s(i, j) - y(i, j)]^2. \quad (16)$$

と計算される。

各フィルタの処理結果画像を図3に示し、その除去性能をMSEの値で比較したものを表1に示す。表1からどの標準偏差と突発性雑音により劣化している画像に対しても提案手法によるMSEが最も低いことが確認でき、本手法の有効性が確認された。

#### 5 おわりに

対象ブロック、参照ブロック内の突発性雑音を検出し、その信号を取り除いたブロックによる絶対値誤差和による類似度算出を行うことで、

ガウス性雑音、及び、突発性雑音の影響を取り除いたNL-Means法を提案した。適用例を通じて、本手法の有効性を明らかにした。

#### 参考文献

- 1) K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian, "Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering", *IEEE Trans. Image Process.*, vol.16, no.8, pp.2080-2095, August 2007.
- 2) A. Buades and B. Coll, "A non-local algorithm for image denoising", *IEEE Proc. CVPR 2005*, vol.2, pp.60-65, 2005.
- 3) Z. Wang and D. Zhang, "Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images", *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Analog and Digit. Signal Process*, Vol. 46, No. 1, pp. 78-80, Jan. 1999.
- 4) J. M. Boyse, "Noise reduction of image sequences using adaptive notion compensated frame averaging", *IEEE Proc. ASSP 1992*, vol.3, pp.461-464, 1992.