

# 非線形フィルタを用いたエッジ歪抑制画像鮮鋭化処理 Image Enhancement with Suppressing Edge Distortion by Using Nonlinear Filter

小野 直樹  
Naoki ONO

浦濱 喜一  
Kiichi Urahama

## 1. まえがき

画像の鮮鋭化処理として通常用いられている方法では、ラプラシアン鮮鋭化やアンシャープマスキングに代表されるように、画像中のエッジの両端にアンダーシュート、オーバーシュートを生じさせることによって、エッジの輝度差を強調している。このため、特に物体の輪郭などの強いエッジにおいては、エッジの両側に不自然な歪が生じることになる。

一方、エッジ保存性の良い平滑化フィルタの中には、元の画像よりもエッジが強調された処理結果を示すものもある。バイラテラルフィルタ[1]は、そのような性質を有する非線形フィルタである。

本研究では、バイラテラルフィルタを用いたエッジ歪の生じない画像の鮮鋭化処理を提案する。

## 2. バイラテラルフィルタによるエッジ強調

バイラテラルフィルタは、エッジ保存性の良い雑音除去フィルタとして知られている。すなわち、ガウス雑音等が含まれる比較的変動の少ない輝度変化の領域はこのフィルタによって平滑化され均一な領域に近づく。一方、物体の輪郭などの比較的明瞭なエッジは、むしろ強調されたものとなり、境界がより明確になる。このとき、バイラテラルフィルタによって鮮明になったエッジには、ラプラシアン等によって鮮鋭化されたエッジとは異なり、周辺にオーバーシュート等の歪が生じていない。従って、これらのエッジを用いれば歪のない鮮鋭化が行える。

画像  $d_{ij}; i, j=0, 1, 2, \dots$  が与えられたとき、この画像をバイラテラルフィルタ処理した画像  $b_{ij}$  は

$$b_{ij} = \frac{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)-\beta(d_{ij}-d_{i+l,j+m})^2} d_{i+l,j+m}}{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)-\beta(d_{ij}-d_{i+l,j+m})^2}} = \frac{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p w_{ijlm} d_{i+l,j+m}}{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p w_{ijlm}} \quad (1)$$

$$w_{ijlm} = e^{-\alpha(l^2+m^2)-\beta(d_{ij}-d_{i+l,j+m})^2}$$

によって与えられる。ここで、 $\alpha > 0, \beta > 0$  は、バイラテラルフィルタによる処理効果を制御する係数であり、 $p$  はフィルタの大きさを与えるパラメータである。また、バイラテラルフィルタの結果に対して再度バイラテラルフィルタを適用することで、平滑化とエッジの鮮鋭化をさらに進めることができる。

バイラテラルフィルタを用いれば、ほとんどの領域は平滑化されるが、エッジなどの主要な輝度変化部分については強調される。このバイラテラルフィルタによって強調される領域を抽出するために、輝度の局所空間変動量を測る式を導入する。

ここでは、入力画像における画素  $(i, j)$  における輝度の変動量  $s_{dij}$  を式(2)で与えることにする。

$$s_{dij} = \frac{1}{(2q+1)^2} \sum_{k=-q}^q \sum_{l=-q}^q \|d_{i+k,j+l} - d_{ij}\| \quad (2)$$

ここで、 $\|\cdot\|$  は  $\cdot$  の絶対値を表し、 $q$  は変動量を求めるための局所領域のサイズを示す。式(2)における  $d_{ij}$  をバイラテラルフィルタによる結果  $b_{ij}$  に置き換えて、バイラテラルフィルタ結果の変動量  $s_{bij}$  を求める。強調されたエッジの位置を正確に求めるためには、画像の局所的な変動を細かくとらえる必要があるため、変動量を求める際の領域サイズ  $q$  は小さくしておくことが望ましい。従って、ここでは  $q=1$  とする。

元の画像の変動量  $s_{dij}$  とバイラテラルフィルタ処理後の画像の変動量  $s_{bij}$  とを比較して、 $s_{bij}$  が大きくなっている画素がバイラテラルフィルタによってエッジ強調された画素とみなせる。

## 3. エッジ歪を抑えた画像の鮮鋭化処理の流れ

バイラテラルフィルタの結果を用いることができるのは、物体の輪郭などの比較的輝度差の大きいエッジ部分である。従って、画像全体を鮮鋭化するには、それ以外の部分を別途鮮鋭化する必要がある。そのために、ここでは、画像の輝度差の3乗を用いた鮮鋭化処理[2]を用いることにする。

そうして得られた鮮鋭化後の画像  $c_{ij}$  に対して、バイラテラルフィルタによってエッジ強調された部分を置換することで、歪の抑えられた鮮鋭化画像  $e_{ij}$  を得る。提案する鮮鋭化処理の一連の手順を図1に示す。

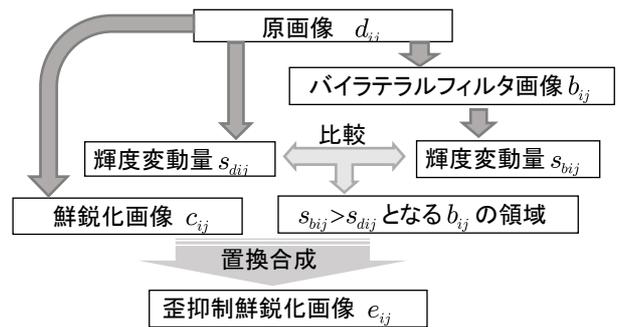


図1 歪抑制鮮鋭化処理の流れ

## 4. 置換合成処理

バイラテラルフィルタの結果  $b_{ij}$  で鮮鋭化画像  $c_{ij}$  を置換する際には、画像の連続性を考慮して、置き換える条件  $s_{bij} > s_{dij}$  に該当する画素だけでなくその周辺の画素の値もあわせて調整する。そこで、置換すべき画素  $(i, j)$  の周辺画素  $(i+m, j+n)$  の値  $e_{i+m,j+n}$  を式(3)によって与えることにする。

$$e_{i+m,j+n} = \frac{(c_{i+m,j+n} + \lambda b_{i+m,j+n})}{1 + \lambda} \quad (3)$$

ここで、係数 $\lambda$ の値は、置換する領域の幅によって調整することとし、例えば範囲 $-2 \leq m, n \leq 2$ の置換に対しては、 $\lambda = \{10 - (m^2 + n^2)\} / 2$ によって求め、 $-3 \leq m, n \leq 3$ に対しては $\lambda = \{20 - (m^2 + n^2)\} / 5$ によって与えることにする。なお、置換する領域の幅は、画像のサイズや鮮鋭化処理に応じて決めることにする。

## 5. 実験

提案方法によって処理した例を図 2 に示す。まず、(a)に示す画像をバイラテラルフィルタ処理した。ここでは、バイラテラルフィルタの効果がより発揮されるように、バイラテラルフィルタ処理を 2 回繰り返して適用した。その処理結果を(b)に示す。ここで、 $\alpha=0.3, \beta=0.01$ としている。細かいテクスチャは失われているが、輪郭等のエッジはより明瞭になっている。

その結果の変動量と原画像の変動量を式(2)によって求めて比較した。輝度の変動量が原画像より上がった領域を(c)に示す。この結果からも、もともと顕著なエッジが、バイラテラルフィルタ処理によってより強調されていることがわかる。

原画像(a)を輝度差の 3 乗を用いて鮮鋭化した結果が画像(d)である。この画像に対して、(c)で示される領域近辺の置換を行った結果が(e)である。ここで、置換する範囲は、

$-3 \leq m, n \leq 3$ とした。鮮鋭化画像で生じていた輪郭エッジ部分の歪が補正された鮮鋭化画像になっている。

## 6. むすび

エッジ近傍に生じる輝度の歪を抑えた画像の鮮鋭化方法を提案した。この方法は、通常の鮮鋭化処理において生じるオーバーシュート等の歪のある領域を、バイラテラルフィルタ処理の結果を用いて置き換えるものである。

この方法を用いれば、エッジ強調歪を避けるために弱めに設定されていた鮮鋭化のパラメータをより積極的に設定できるため、細かい画像の変化をより明瞭にすることができる。実際、この方法の有効性が実験からも確かめられた。

鮮鋭化処理は、雑音の強調を伴うために処理パラメータを積極的に大きく取れない場合も多い。しかし、しばしば鮮鋭化処理が必要となる画像の補間拡大においては、雑音が問題となることはなく、むしろ補間方法によるエッジ部分の輝度の歪や振動などが問題となる。そのような局面において、提案方法を応用することが有効であると考えられる。このことについては、別の機会に譲る。

## 参考文献

- [1] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," Proc. ICCV, pp. 839-846, 1998.
- [2] N. Ono and K. Urahama "Sharpening Interpolated Image by Using Cube of Pixel Difference and Evaluation in Frequency Domain", Journal of the IIAE, Vol.4, No.2, pp. 56-60, 2016.



(a)原画像



(b)バイラテラルフィルタ処理結果



(c)変動量が増加した領域



(d)差分の 3 乗による鮮鋭化画像



(e)エッジ歪が改善された鮮鋭化画像

図 2 提案方法による処理例