

雑音強調を抑制するアンシャープマスキング処理 Unsharp Masking Procedure Suppressing Enhancement of Noise

小野 直樹†
Naoki ONO

浦濱 喜一†
Kiichi Urahama

1. まえがき

アンシャープマスキング処理は、画像の鮮鋭化のために最もよく用いられる処理の一つである。しかしながら、この処理を雑音の含まれる画像に対して適用すると、パラメータによって多少は調整できるものの、雑音が強調され画質の低下したものとなる。

一方、雑音の含まれる画像に対して、エッジの状態をできるだけ保存したままで雑音を抑制除去する方法として、バイラテラルフィルタが有効である[1]。

本稿では、このバイラテラルフィルタのように平滑化を含み雑音強調を抑制する効果を持つ、新しいアンシャープマスキング処理を提案している。この方法による結果と従来方法による結果とを PSNR と SSIM(Structural SIMilarity) [2]とによって比較し、本方法が有効であることを実験からも検証した。

2. アンシャープマスキング処理

位置 (i, j) の画素値が d_{ij} である入力画像を処理して、画素値が f_{ij} である画像を得るものとする。

アンシャープマスキングでは、元の画像をぼかした画像と元画像との差分を調整して、元画像に加える事で鮮鋭化処理を行う[3]。

画像をぼかすための平滑化フィルタとしてよく用いられるガウシアンフィルタによって得られる画像 f_{gij} は、

$$f_{gij} = \frac{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)} d_{i+l, j+m}}{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)}} \quad (1)$$

である。ここで、 α はガウス関数の分散の逆数に相当し、平滑化の程度を表すパラメータとして与える。また、 p はフィルタとして用いるマスクの大きさを与え、 α に応じて調整する必要がある。

式(1)で与えられるガウシアンフィルタによる平滑化処理を用いたアンシャープマスキングは、式(2)のように表すことができる。ここで、 $\delta (>0)$ は鮮鋭化の度合いを調整するために与えるパラメータである。

$$f_{uij} = d_{ij} + \delta \left[d_{ij} - \frac{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)} d_{i+l, j+m}}{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)}} \right] \quad (2)$$

この式は、

$$w_{lm} = \frac{e^{-\alpha(l^2+m^2)}}{\sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p e^{-\alpha(l^2+m^2)}} \quad (3)$$

と置くことによって、

$$f_{uij} = d_{ij} + \delta \sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p w_{lm} (d_{ij} - d_{i+l, j+m}) \quad (4)$$

と表記できる。

一方、式(1)のガウスフィルタは、式(3)を用いて

$$f_{gij} = d_{ij} + \sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p w_{lm} (d_{i+l, j+m} - d_{ij}) \quad (5)$$

と表される。

3. 雑音抑制アンシャープマスキング

鮮鋭化フィルタを表す式(4)と平滑化フィルタを表す式(5)とにそれぞれ重み係数 $(1-\lambda)$, λ を付けて加算した次の式を考える。

$$f_{ij} = d_{ij} + \sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p w_{lm} \{ \lambda (d_{i+l, j+m} - d_{ij}) + \delta (1-\lambda) (d_{ij} - d_{i+l, j+m}) \} \quad (6)$$

ここで、パラメータ λ を、2つの画素間の輝度差の関数

$$\lambda = e^{-\beta(d_{ij} - d_{i+l, j+m})^2} \quad (7)$$

によって与えることにする。このように与えることによって式(6)は、次のように表わされる。

$$f_{ij} = d_{ij} + \sum_{l=-p}^p \sum_{m=-p}^p w_{lm} (d_{i+l, j+m} - d_{ij}) \left[(1+\delta) e^{-\beta(d_{ij} - d_{i+l, j+m})^2} - \delta \right] \quad (8)$$

式(8)は、 $d_{i+l, j+m}$ の値が d_{ij} に近い (l, m) では式(5)に近づく、遠い (l, m) では式(4)に近づく。すなわち、輝度の変化が大きい部分では、アンシャープマスキングによって鮮鋭化され、輝度の変化の小さい部分ではガウシアンフィルタによって平滑化されることになる。ボケに雑音の加わった劣化画像に対して、このフィルタを適用すれば、雑音の強調を抑えつつ、鮮鋭化処理を行うことができる。

ガウス関数でぼかす処理を式(7)で表わされる輝度の変化に応じて調整するフィルタは、バイラテラルフィルタと呼ばれる。バイラテラルフィルタでは、輝度差が大きいところでは、重み係数が小さい画素が多くなり平滑化の度合いも小さくなる。逆に輝度差の小さいところでは、重み係数が大きい画素が増えるため平滑化が行われる。すなわち、エッジを保存しながら画像を平滑化できる。

ここで提案する雑音抑制アンシャープフィルタは、輝度変化の比較的大きいところでは、よりエッジが強調され、逆に輝度変化の小さいところでは平滑化が効くことになる。このため、バイラテラルフィルタに鮮鋭化処理を加えたものと見なせる。

3. 画像の鮮鋭化の実験

提案している雑音抑制アンシャープマスキング処理、通常のアンシャープマスキング、及びバイラテラルフィルタによる結果の比較実験を行った。

†九州大学大学院 芸術工学研究院

画質の評価の指標としては、PSNR が一般的であるが、PSNR が同じ値の場合でも、実際に見た画質は大きく異なることがある。特に画像の鮮鋭感に関しては、必ずしも適切な値を示すとは言い難い。そこで、評価の指標として、PSNRに加えてSSIMも用いて画質を評価した。

3.1 評価に用いる画像

原画像(256×256画素, 256階調)にガウスフィルタをかけて画像をぼかし、さらに雑音を加えることによって劣化画像を生成した。

この劣化画像を、提案方法、アンシャープマスクング、バイラテラルフィルタによって処理し、それぞれの処理結果画像と原画像との間でPSNR及びSSIMを求めている。また、比較の基準となる画像として、雑音を付加する前のぼけ画像をアンシャープマスクング処理によって鮮鋭化したものも合わせて用いている。この画像は、雑音強調がない最良な鮮鋭化画像とみなせる。

図1に実験に用いた原画像、図2に $\alpha=0.5$ としたぼけ画像、図2のぼけ画像に分散10のガウス分布雑音の付加された劣化画像を図3に示す。また、図2のぼけ画像をアンシャープマスクングによって鮮鋭化した結果の中で、SSIMの最もよかったものを図4に示す。この画像を原画像と同様に画質の基準画像として以下の実験で用いた。

表1にそれらの画像の原画像に対するPSNR及びSSIMを示す。なお、PSNR, SSIMとも大きいほど望ましい。

表1 入力画像等のPSNRとSSIM

	PSNR	SSIM
ぼけ画像 (図2)	28.09846	0.86875
劣化画像 (図3)	25.04177	0.56710
ぼけ画像からの鮮鋭化画像 (図4)	29.09683 $\alpha=0.5, \delta=1.3$	0.90891 $\alpha=0.5, \delta=1.9$

3.2 鮮鋭化処理結果の比較

3つの処理方法による結果画像について、PSNRとSSIMを求めた結果を表2に示す。アンシャープマスクングについては、基準画像を生成した時と同じパラメータで処理した結果を、他の2つの方法については、最もよい結果となったパラメータを用いた場合について示している。処理結果画像の例を図5(a)(b)(c)に示す。

アンシャープマスクングでは、雑音強調によって処理前の劣化画像よりも画質が低下していることが、評価値と画像から明らかである。提案方法とバイラテラルフィルタとはほぼ同程度の性能であり、わずかながら提案方法がよいと思われる。

表2 処理結果の比較

比較画像	PSNR		SSIM	
	原画像	基準画像	原画像	基準画像
アンシャープマスクングによる結果	20.90167 $\delta=1.3$	21.58176 $\delta=1.3$	0.309842 $\delta=1.9$	0.349438 $\delta=1.9$
バイラテラルフィルタによる結果	26.77354 $\beta=0.0005$	28.46390 $\beta=0.001$	0.785654 $\beta=0.0002$	0.840640 $\beta=0.0003$
提案方法による結果	26.83766 $\delta=10.0$ $\beta=0.0003$	28.68797 $\delta=10.0$ $\beta=0.0003$	0.781288 $\delta=10.0$ $\beta=0.00001$	0.841370 $\delta=10.0$ $\beta=0.000012$

4. むすび

雑音の強調を抑える性質を持つアンシャープマスクング処理を提案した。

輝度差に応じて鮮鋭化と平滑化とを調節する処理とすることで、ぼけて雑音の含まれる画像に対しても画質改善できることを実験からも確認できた。パラメータの効果的な与え方について検討が必要である。



図1 原画像



図2 ぼけ画像



図3 劣化画像



図4 ぼけ画像鮮鋭化画像

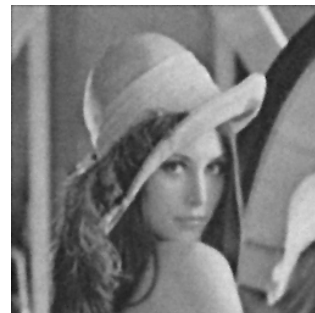


(a)アンシャープマスクング



(b)バイラテラルフィルタ

による結果 $\alpha=0.5, \delta=1.9$ による結果 $\alpha=0.5, \beta=0.0003$



(c)提案方法による結果 $\alpha=0.5, \delta=10.0, \beta=0.000012$

図5 処理結果画像

参考文献

- [1] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral Filtering for Gray and Color Images", Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision, 1998.
- [2] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.
- [3] 長尾 真, A. Rosenfeld, "デジタル画像処理", 近代科学社, p.190, 1978.