

A Study on Optimal Parameter Estimation of Bilateral Filter Using Distribution Distance

Taiki Makishi

Dept. of Electronic and Comm. Syst. Eng.
Okinawa National College of Tech.
Okinawa, Japan
ac134609@edu.okinawa-ct.ac.jp

Chikatoshi Yamada

Dept. of Info. and Comm. Syst. Eng.
Okinawa National College of Tech.
Okinawa, Japan
cyamada@okinawa-ct.ac.jp

Suichi Ichikawa

Dept. of Electrical and Electronic Info. Eng.
Toyohashi Univ. of Tech.
Aichi, Japan
ichikawa@tut.jp

Abstract—Bilateral Filter has properties of high noise removal. However, the estimating of suitable parameter by using an input image is required to obtain a fine denoising image. A method of parameter estimation using distribution distance has proposed. The method is optimal parameter estimation of bilateral filter based on distribution distance and assumption noise distribution that is estimated by differences between input and output images. However, there is problem if input images include many small edges. In this paper, we propose estimation of parameter using noise distribution that was estimated from estimation method that less susceptible to the original signal. Moreover, we show experimental results using proposed method.

Index Terms—Bilateral Filter, Parameter Estimation, Distribution Distance, Noise Distribution

I. まえがき

エッジ保存性の高いノイズ除去フィルタとして Bilateral Filter が、画像処理や CG など広範に利用されている [1]. Bilateral Filter により良好な復元結果を得るには、入力画像に応じて平滑化パラメータの最適値を推定する必要がある。これまで信号と雑音の無相関性に基づいた手法 [2] や分布間距離を用いたパラメータ推定 [3] などが提案されている。無相関性に基づいた手法は、復元画像とその残差画像の間の無相関性を利用し最適な平滑化パラメータを推定を行うため、入力画像の雑音分布情報を必要としないという利点を有しているが、パラメータ推定がうまくできない場合があるという問題がある [2]。また、分布間距離を用いたパラメータ推定法は、復元前後の画像間の差分より推定された雑音分布と事前に仮定した雑音分布との分布間距離に基づいて最適なパラメータを推定する手法であり、無相関性に基づいた手法よりも推定精度が高い推定手法であるが、細かなエッジの多い画像から推定を行う場合、推定精度が低下してしまう問題点があり、その原因は、事前に仮定する雑音分布の標準偏差の推定方法にあると考察されている [3]。そこで本稿では、細かなエッジの多い画像においても、最適なパラメータを推定を行える事前仮定雑音分布のパラメータの推定方法を提案する。

II. BILATERAL FILTER

Bilateral Filter は、Tomasi らにより提案された非線形平滑化フィルタであり、エッジ保存性の高い平滑化フィルタとして利用されている。入力画素 (x, y) における画素値を $I(x, y)$

とすると、バイラテラルフィルタの出力 $I_{BF}(x, y)$ は式 (1) で得られる。

$$I_{BF}(x, y) = \frac{\sum_{x=-r}^r \sum_{y=-r}^r f(i+x, j+y) \omega(x+i, y+j)}{\sum_{x=-r}^r \sum_{y=-r}^r \omega(x+i, y+j)} \quad (1)$$

ここで、 r はフィルタ半径であり、フィルタ係数 ω は、

$$\omega(i+x, j+y) = \omega_r(i, j) \omega_d(i+x, j+y)$$

$$\omega_r(i, j) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_r^2}\right)$$

$$\omega_d(i+x, j+y) = \exp\left(-\frac{[I(i, j) - I(i+x, j+y)]^2}{2\sigma_d^2}\right)$$

で定義される。 σ_r, σ_d は、それぞれ空間方向及び輝度方向の平滑化パラメータであり、このパラメータを調整することにより平滑化の度合を調整する。

III. 従来手法

従来手法における Bilateral Filter の平滑化パラメータ推定は、入力画像と復元画像の差分から雑音分布を求め、さらに事前に仮定した雑音分布との分布間距離を求め、その分布間距離の大きさにより行われる。分布間距離が最小の場合に良好な雑音除去が行われたと考え、その際の平滑化パラメータの値を最適なパラメータ値とする。Fig. 1 に従来手法の概略を示す。

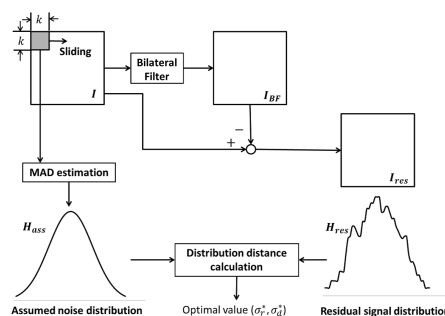


Fig. 1. Diagram of traditional method

入力画像 I と復元画像 I_b の差分をとることにより残差画像 I_{res} を得る。次に、得られた残差画像から雑音分布も求め正規化を行う。正規化された分布 H_{res} と事前に仮定した雑音分布 H_{ass} との分布間距離により Bilateral Filter の平滑化パラメータの推定を行う。

A. 事前仮定分布の標準偏差の推定方法

入力画像に重畳した雑音としてガウス雑音を仮定しているため、 H_{ass} は $N(0, \sigma^2)$ の正規分布となる。標準偏差 σ は、ロバスト推定量として知られる MAD (Median Absolute Deviation) を用いて求める。具体的には、入力画像からラスタ順に $k \times k$ の局所領域 (ブロック) を切り出し、各ブロックに対して MAD を計算する。ただし、各ブロック同士には重なりがあるものとする。細かなエッジ部では、標準偏差の推定に原信号の影響が大きくなり、MAD 推定により推定された標準偏差は大きくなる。そのため標準偏差 σ_i の最小値を推定値とすることにより、原信号の影響の少ない平坦部より標準偏差推定を積極的に行っている。しかし、細かなエッジの多い画像で推定を行う場合、原信号の影響を大きく受けてしまうため推定精度が低下してしまう問題点がある。そこで本稿では、細かなエッジの多い画像における推定を行うために、エッジ検出器を用いた細かなエッジを考慮した雑音分布の標準偏差の推定方法を提案する。

IV. 提案手法

細かなエッジを考慮するために、山野らにより提案された可変閾値の Laplace of Gaussian (LoG) フィルタを用いた多値画像輪郭抽出法 [4] により入力画像から細かなエッジも含めたエッジを抽出を行う。検出されたエッジ部と平坦部を $k \times k$ 領域内でそれぞれで原信号を仮定し、仮定した原信号との差分をとり、その残差画素から分散を求め、MAD 推定法を用いて事前仮定ノイズ分布の標準偏差を求める。本提案手法で用いるエッジ検出器のシステム構成図を Fig. 2 に示す。

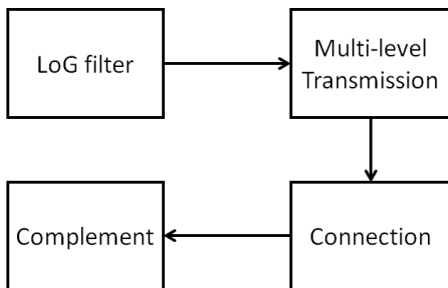


Fig. 2. Diagram of the edge detector

LoG フィルタは、入力画像に対しガウス関数による平滑化を行った後、ラプラスフィルタを施し、出力のゼロクロッシングの近傍を輪郭部として検出するため、雑音を強調することなく、画像の平坦部・輪郭部を検出することが可能である [5]。しかし、平坦部においては重畳したノイズをエッジとして誤検出する可能性があるため、山野らの手法は LoG を 5 値へ多値化し、出力結果に 4 つの異なるしきい値を設けることにより細かなエッジ検出が可能としている。LoG フィルタの出力結果に連結処理、補完処理を行い、ノイズの

誤検出の可能性を低減を行っている。さらに本稿では、入力画像の $k \times k$ 領域内における原信号を、エッジ検出結果を元に、エッジ部では、エッジと判定された画素の中の最小値を原信号として、それ以外の部分を平坦部とし、平坦部では中央値を原信号と仮定する。仮定した原信号と入力画像との差分をとり、残差画像を生成し、 $k \times k$ の各ブロック内の分散を求める。求めた各ブロックの分散の値に対し、MAD 推定を行い、推定結果を事前仮定雑音分布の標準偏差とする。

V. 推定結果

本提案手法を用いて実際の標準偏差 σ でノイズを重畳した種々の画像から事前仮定分布の標準偏差を求めた推定結果と従来手法の推定結果を Table I に示す。

	Standard deviation			
	$\sigma = 5$		$\sigma = 10$	
	prop.	trad.	prop.	trad.
Airplane	4.4	4.4	7.4	8.9
Barbara	4.4	7.4	8.9	12.6
Boat	4.4	4.4	8.9	8.9
Bridge	8.2	12.6	11.9	14.8
Cameraman	4.4	4.4	8.2	8.9
Girl	4.4	5.2	8.9	9.6
Lax	5.9	5.9	8.9	10.4
Lenna	4.4	4.4	7.6	9.6

TABLE I
EXPERIMENTAL RESULT

Lenna や Girl などの細かなエッジの少ない画像において、推定精度の低下がみられるが、Barbara や Bridge などの細かなエッジの多い画像においては、推定精度の向上が確認できた。

VI. まとめ

本稿では、ノイズ付加画像からガウス性ノイズの標準偏差を推定する手法の提案を行い、細かなエッジの多い画像における事前仮定分布の標準偏差の推定結果の向上を確認することができた。今後は、推定結果を元に従来手法に用いられている分布間距離による Bilateral Filter の平滑化パラメータの推定を行い、その結果を確認していく予定である。

REFERENCES

- [1] Kiichi Urahama, "(8) Extracting Intrinsic Structures in Images : Noise Reduction and Generation of Illustrations by Using Bilateral Filters", Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, 62(8), pp.1268-1273 (2008)
- [2] Kohei Inoue and Kiichi Urahama, "Estimation of Optimal Parameter in Bilateral Filter on the Basis of Minimum Correlation Criterion", Journal of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers(A), Vol J87-A, No. 4, pp.574-576, 2004
- [3] Noriaki Suetake, Go Tanaka, Hayato Hashii and Eiji Uchino, "Optimal Parameter Estimation of Bilateral Filter Based on Distribution Distance", Journal of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers(A), Vol J94-A, No. 4, pp.285-292 (2011)
- [4] Koutarou Yamano, C-K Pham, "Multi-Valued Image Contour Extraction Method Using Variable Threshold Laplacian-Gaussian Filter", Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, 105(297), pp.49-52 (2005)
- [5] Noritake Yamashita, Hiroo Sekiya, Jianming LU, and Yakashi Yahagi, "Impulse Noise Detector by Using Laplacian-Gaussian Filter", Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, 106(319), pp.73-78 (2006)