

低ガウス雑音推定法のウィナーフィルタへの適用 Application of Low Gaussian Noise Estimation to Wiener Filter

鈴木 貴士[†] 辻 裕之[†] 木村 誠聡[†]
Takashi Suzuki Hiroyuki Tsuji Tomoaki Kimura

1. はじめに

撮像素子が画像を取得する際に、暗電流や熱または電子回路の影響によりガウス雑音が重畳する。ガウス雑音に有効な雑音除去フィルタとして、ウィナーフィルタやデータ依存型フィルタなどが提案されており、画像に重畳しているガウス雑音の標準偏差をパラメータとしてフィルタ処理に用いられるため、効果的に雑音を除去するためには画像に重畳しているガウス雑音の標準偏差の推定が必要である[1]。

ガウス雑音が重畳した画像からガウス雑音の標準偏差を推定する方法として Liu らの PCA に基づいた方法[2]や筆者らの画像の変化成分に基づく方法[3]が提案されている。Liu らの方法は推定精度は良好なものの繰り返し処理を用いるため計算量が多いという問題がある。一方で筆者らの提案した方法は画像をブロックに分割し、平坦部であろうブロックにロバスト推定法である MAD (Median Absolute Deviation) に基づく方法で推定している。さらに、筆者らは文献[4]において文献[3]の方法で推定した雑音推定値をウィナーフィルタに適用することで雑音除去性能を向上することを示している。しかしながら、文献[4]の方法は画像に重畳しているガウス雑音の標準偏差が 10 以上である場合には精度良く推定できるものの、重畳しているガウス雑音の標準偏差が 10 未満の場合（以下「低ガウス雑音」と定義）には画像の種類によって推定精度が良好でない場合がある。そこで、筆者らは文献[5]において低ガウス雑音の場合でも推定精度が良好になる方法を提案し雑音の推定精度の向上を確認した。しかしながら、文献[5]では低ガウス雑音における雑音の推定精度向上が雑音除去フィルタに有効であることを示していない。

本稿では低ガウス雑音が重畳した 39 種類の画像に対して文献[3]と文献[5]のそれぞれの方法で推定されたガウス雑音の標準偏差をウィナーフィルタに適用し、客観的画質評価である PSNR によって比較検討を行い、低ガウス雑音における雑音の推定精度の向上と雑音除去フィルタの性能の向上について検証する。

2. ガウス雑音の標準偏差の推定法

画像に重畳したガウス雑音の標準偏差を推定する方法として式(1)に示すロバスト推定法に基づく MAD(Median Absolute Deviation)を用いた方法がある[6]。文献[6]において MAD を用いた画素値集合 X の標準偏差の推定値は次の式で与えられる。

$$\hat{\sigma}_{MAD}(X) = 1.483 \cdot \text{med}\{|X - \text{med}(X)|\} \quad (1)$$

ここで、 $\text{med}(X)$ は X におけるメディアン処理を表し、 $X - \text{med}(X)$ は X のそれぞれの要素を $\text{med}(X)$ で減じたもの、 $|X - \text{med}(X)|$ は $X - \text{med}(X)$ のそれぞれの要素の絶対値を取

[†] 神奈川工科大学情報工学専攻, 神奈川県

Department of Information and Computer Sciences,
Kanagawa Institute of Technology, 1030 Shimoogino,
Atsugi-shi, Kanagawa, 243-0292 Japan

ったものである。

文献[3]では画像 I に重畳したガウス雑音の標準偏差を $\hat{\sigma}_n(I)$ で表現し、次の式で推定する。

$$\hat{\sigma}_n(I) = \frac{1}{m_n} \sum_{i=1}^{m_n} \hat{\sigma}_{MAD}(B_i) \quad (B_i \subset I) \quad (2)$$

ここで B_1, B_2, \dots, B_{m_n} は画像 I 中の平坦部と思われる全体の $n\%$ の 16×16 のサブブロックの集合であり、画像 I を 16×16 の大きさに分割し MAD により推定された標準偏差の順番で昇順にソートした m 個のサブブロック B_1, B_2, \dots, B_m ($\hat{\sigma}_{MAD}(B_1) \leq \hat{\sigma}_{MAD}(B_2) \leq \dots \leq \hat{\sigma}_{MAD}(B_m)$) を小さいものから $n\%$ を取得したものである。なお、 m_n は分割した全サブブロック m 個の $n\%$ のサブブロック数を表し、 $\hat{\sigma}_{MAD}(B_i)$ は分割した各サブブロック B_i に対して式(1)を適用し推定された各ブロックの標準偏差を表す。

画像中にエッジや細部信号が多く含まれている場合、推定精度に限界が存在するため、文献[3]では式(3)に示す様に画像のエッジや細部信号の含有量によって制御される補正係数 α を乗ずることによって、雑音の推定精度が画像の種類や性質に依存する問題を解消している。

$$\hat{\sigma}^* = \alpha \cdot \hat{\sigma}_n(I) \quad (3)$$

文献[3]では補正係数 α を画像のエッジや細部信号の含有量によって制御し、画像に平坦部が多い場合には基本的に 1 に近く、エッジや細部信号が多い場合には基本的に 1 より小さくなる様に設計している。

文献[5]では雑音除去フィルタを施した画像と元の雑音重畳画像との差分を用いることで低ガウス雑音の標準偏差の推定方法を提案している。具体的にはガウス雑音が重畳していない原画像を I 、重畳するガウス雑音を N 、ガウス雑音重畳画像 X とすると、 X の分散を以下の関係式で表すことができる。

$$\sigma^2(X) = \sigma^2(I) + \sigma^2(N) \quad (4)$$

ただし、 $\sigma^2(N)$ は N の通常の分散である。ガウス雑音重畳画像に対して雑音除去フィルタを適用すると、 $\sigma^2(N)$ は限りなく 0 に近づくため、雑音除去フィルタを適用した画像を X' とすると、 $\sigma^2(X')$ は限りなく $\sigma^2(I)$ に近づく。よって、ガウス雑音の分散 $\sigma^2(N)$ は以下の式で表すことができる。

$$\sigma^2(N) = \sigma^2(X) - \sigma^2(X') \quad (5)$$

この時 $\sigma^2(X)$ はガウス雑音が重畳している画像の分散であることから、式(2)を適用すると $(\hat{\sigma}_n(X))^2$ で表すことができ、また $\sigma^2(X')$ は同様に雑音除去フィルタを通した後の画像であることから、これに対して式(2)を適用すると $(\hat{\sigma}_n(X'))^2$ で表すことができる。

これらの関係性から文献[5]では以下の 3 ステップによってガウス雑音の標準偏差を推定する。

1. 低ガウス雑音重畳画像に対して雑音除去フィルタを適用する。
2. 低ガウス雑音重畳画像と雑音除去フィルタを適用した画像のそれぞれに式(2)によってガウス雑音を推定する。
3. 先の 2. によって推定された低ガウス雑音重畳画像の分散 $(\hat{\sigma}_5(X))^2$ と雑音除去フィルタを適用した画像の分散

$(\hat{\sigma}_5(X'))^2$ との差を取り、画像に重畳するガウス雑音の分散の推定値 $\hat{N}_{f,var}$ を算出する。なおここでは最下位から5%を対象とするため、 $n=5$ とする。

$$\hat{N}_{f,var} = (\hat{\sigma}_5(X'))^2 - (\hat{\sigma}_5(X))^2 \quad (6)$$

以上が文献[3]と文献[5]のガウス雑音の推定方法である。なお、提案法は従来法に比べて推定精度が $\sigma=3$ で約18%、 $\sigma=5$ で約8%、 $\sigma=7$ で約2%それぞれで向上している。一方で $\sigma=10$ では約3%推定誤差が大きくなっている。

3. 適用例

ここでは、文献[3]の手法(従来法)と文献[5]の手法(提案法)によって推定されたガウス雑音の標準偏差の推定値をウィナーフィルタに適用し、文献[5]で使用した低ガウス雑音が重畳した39種類の画像を用いてPSNRによる比較を行う。今回は次式に示す文献[8]の適応型ウィナーフィルタを使用する。

$$p = m_f + \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_v^2} (g - m_f) \quad (7)$$

ここで、 p はフィルタ適用後の画素値を、 m_f は局所領域の画素値の平均値を、 σ_f^2 は局所領域の画素値の分散を、 σ_v^2 は画像に重畳しているガウス雑音の分散を、 g は処理点の画素値を表す。従来法と提案法によって推定されたガウス雑音の標準偏差の推定値は σ_v^2 に適用されることになる。

表1 従来法と提案法のPSNRによる比較

	$\sigma=3$		$\sigma=5$		$\sigma=7$		$\sigma=10$	
	従来法	提案法	従来法	提案法	従来法	提案法	従来法	提案法
21levelstepwedge	30.98	30.99	31.44	32.55	31.33	32.73	29.48	30.20
256leveltestpattern	33.44	36.23	32.30	33.67	30.47	32.16	28.99	29.89
Aerial	38.76	35.41	34.85	32.50	32.34	30.14	29.71	28.23
Aerial2	37.66	38.91	35.05	35.32	32.72	32.94	30.20	30.32
Airplane(F-16)	38.32	39.73	35.78	36.38	33.61	33.87	30.63	31.36
Airplane(U-2)	33.31	36.75	31.09	35.21	30.38	33.45	30.75	31.45
Airplane	38.18	40.39	35.27	36.52	34.03	34.61	30.91	31.70
Airplane3	37.03	39.97	34.95	36.95	33.75	34.60	30.02	31.94
Airport	33.94	37.39	33.11	34.90	31.43	32.65	29.31	30.32
APC	33.86	38.05	31.35	35.32	30.72	33.56	29.90	31.38
CarandAPCs	30.68	34.29	30.39	33.35	29.23	31.98	28.00	30.42
CarandAPCs2	31.12	36.10	30.39	34.84	29.87	33.28	27.62	30.80
Clock	38.66	39.85	34.83	36.18	33.20	33.89	30.63	31.26
Couple	36.54	38.73	33.79	35.32	32.10	33.17	29.85	30.89
FishingBoat	36.77	37.70	34.41	35.08	32.31	32.97	30.04	30.67
Generaltestpattern	31.67	32.10	31.96	33.10	30.99	31.77	28.81	29.93
Girl(Elaine)	35.70	38.04	33.39	34.91	31.37	32.95	29.43	30.71
Girl(lenaorLenna)	37.05	39.39	34.96	36.12	32.62	33.93	30.59	31.38
Girl(tiffany)	37.96	38.62	34.83	35.79	32.36	33.79	30.53	31.13
Girl1	34.55	35.81	34.03	35.25	32.57	33.45	29.61	30.96
Girl2	34.25	38.96	33.74	36.30	32.07	33.75	30.74	31.51
House	38.83	39.48	35.61	35.81	33.22	33.32	30.44	30.80
House1	38.02	39.57	35.32	35.98	33.44	33.78	30.49	31.07
Jellybeans	37.77	40.52	35.67	37.20	33.63	34.84	30.46	31.90
Jellybeans2	37.80	40.53	35.43	36.86	33.98	34.50	29.90	31.51
Man	35.55	37.11	33.13	34.22	31.25	32.21	28.80	30.04
Mandrill(a.k.a.Baboon)	36.11	36.92	33.71	34.05	31.71	31.99	28.97	29.32
Moonsurface	31.53	34.08	29.68	31.85	29.27	31.41	28.09	30.09
Peppers	35.45	37.57	33.53	35.76	31.48	33.47	29.78	31.30
Sailboatonlake	36.94	38.14	34.50	35.29	32.18	33.01	29.58	30.52
Splash	36.00	39.73	35.18	36.82	32.48	34.53	30.99	31.91
Streamandbridge	34.80	36.38	32.40	33.52	31.00	31.63	28.81	29.32
Tank	32.58	36.52	31.00	34.40	30.42	33.09	28.76	30.74
Tank2	31.00	35.33	30.24	33.47	29.50	31.93	27.69	29.95
Tank3	31.80	36.22	30.34	33.83	29.78	32.47	28.22	30.23
Tree	39.12	39.14	35.35	35.36	32.84	32.88	30.12	30.19
TruckandAPCs	38.69	38.40	35.03	34.85	32.66	32.56	30.11	30.13
TruckandAPCs2	36.87	37.40	34.24	34.55	31.90	32.21	29.78	29.94
Truck	36.54	39.02	34.14	35.62	31.97	33.31	29.61	31.10
PSNR平均	35.53	37.58	33.50	35.00	31.85	33.05	29.65	30.68

ガウス雑音($\sigma=3,5,7,10$)が重畳した39種類の画像に対して、従来法と提案法で推定したガウス雑音の標準偏差の推定値を使用した式(7)のウィナーフィルタを適用し、PSNRによって比較する。表1に $\sigma=3,5,7,10$ のそれぞれの従来法と提案法のPSNRの比較を示す。

表1から多くの画像においてPSNRが向上していることが分かる。画像全体のPSNR平均で比較すると従来法に比べて提案法は $\sigma=3$ において約2.0dB、 $\sigma=5$ において約1.5dB、 $\sigma=7$ において約1.2dB、 $\sigma=10$ において約1.0dB向上している。特にAirport, APC, Car and APCs, Car and APCs2, Couple, Girl(Elaine), Jellybeans, Moonsurface, Peppers, Splash, Tank, Tank2, Tank3, Truckの画像において $\sigma=3,5,7,10$ それぞれの画像全体のPSNRの平均と同程度以上PSNRが向上している。これらの画像の中でAirport, APC, Car and APCs, Car and APCs2, Moonsurface, Tank, Tank2, Tank3, Truckはエッジや細部信号が多く含まれている画像であり、提案法による推定精度が大きく向上した画像である。以上のことから雑音の推定精度向上が雑音除去の性能向上に関係していることが分かる。

多くの画像においてPSNRが向上しているが、Aerialに関してはPSNRが低下している。Aerialのようなテクスチャー画像はエッジや細部信号と雑音信号の分離が難しく雑音推定が困難であることが予備実験により明らかになっており、雑音推定値の信頼性が低いためPSNRが低下してしまったと考えられる。

以上より、ガウス雑音の推定精度向上が雑音除去フィルタの性能向上に有効であることを確認できた。

4. むすび

本稿ではガウス雑音が重畳した劣化画像から推定したガウス雑音の標準偏差を適応型ウィナーフィルタに適用し、客観的画質評価であるPSNRによって比較を行った。従来法と比べて提案法では画像全体のPSNRの平均で $\sigma=3$ において約2.0dB、 $\sigma=5$ において約1.5dB、 $\sigma=7$ において約1.2dB、 $\sigma=10$ において約1.0dB向上しており、特に推定精度が大きく向上している画像ではPSNRが最大で約5dB向上している。このことから雑音の推定精度向上が雑音の除去性能向上に有効であることが確認できた。

参考文献

- [1] 離元孝夫, 浜田望, 川又政征, 田口亮, 村岡輝雄, 二次元信号と画像処理, コロナ社, 1996.
- [2] Xinhao Liu, Masayuki Tanaka, Masatoshi Okutomi, "Single-Image Noise Level Estimation for Blind Denoising," IEEE Trans. Image Process., Vol.22, No.12, (2013).
- [3] 鈴木貴士, 小林恵太, 辻裕之, 田口亮, 木村誠聡, "画像の変化成分に基づいたガウス雑音の標準偏差の推定," 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J99-A, No.7, pp.235-243, (2016).
- [4] 鈴木貴士, 小林恵太, 辻裕之, 木村誠聡, "改善されたガウス雑音推定法におけるウィナーフィルタへの適用," 電子情報通信学会論文誌(A), Vol.99-A, No.11, pp.435-437, (2016).
- [5] Takashi Suzuki, Hiroyuki Tsuji, Tomoaki Kimura, "An Estimation of Standard Deviation of Gaussian Noise Using the Image Variation Components and the Denoising Filter," SISA2019, RS3-5, pp.151-154, (2019).
- [6] 棟安実治, 田口亮, "非線形デジタル信号処理", 朝倉書店, (1999).
- [7] Lim, Jae S., Two-Dimensional Signal and Image Processing, Prentice-Hall, Inc, 1990.