

高画質なデジタルカメラを実現する ランダムノイズ除去技術

Random Noise Removal Technology to Realize High-Quality Digital Cameras

河田 諭志 田口 安則 松本 信幸

■ KAWATA Satoshi ■ TAGUCHI Yasunori ■ MATSUMOTO Nobuyuki

近年、デジタルカメラに利用されるイメージセンサの微細化が進んでいる。これに伴い、一つひとつのセンサに入射する光量が低下し、撮影画像に発生するランダムノイズ^(注1)が問題となっている。

東芝は、撮影画像の信号から、自然画像や撮影画像と相関の低い成分をノイズとして除去する新しい技術を開発した。これにより、デジタルカメラや監視カメラなどの画質を向上させることができる。

With the reductions in size of image sensors installed in cameras in recent years, the intensity of the incoming light received by each sensor has also been decreasing. Random noise is an inevitable consequence of this decrease in light intensity.

Toshiba has developed a new technology to remove noise having no correlation with natural images and input images. This technology makes it possible to enhance the quality of various types of pictures taken by digital cameras, surveillance cameras, and so on.

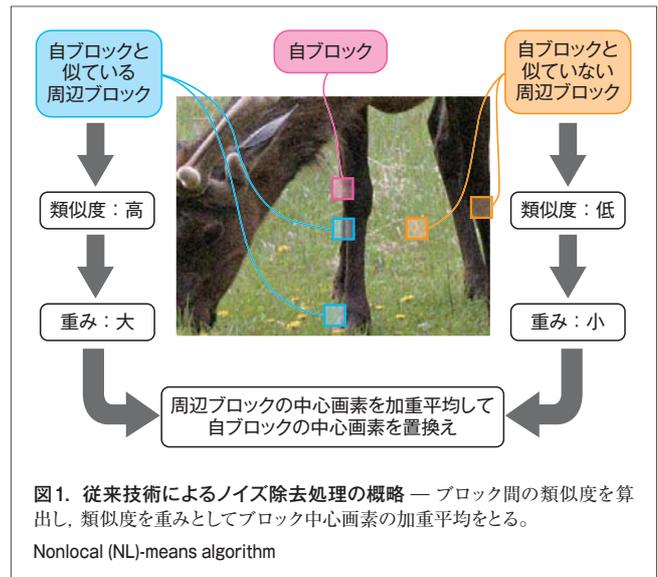
1 まえがき

近年、デジタルカメラや監視カメラなどに利用されるイメージセンサの微細化が進み、一つひとつのセンサに入射する光量が低下しつつある。これにより、信号に含まれるランダムノイズの画像への影響が大きくなり、画質が低下している。より高画質なカメラを実現するため、このランダムノイズを効果的に除去する技術の重要性が高まっている。

これに対し、応用数学を用いた画像処理を専門とするスペインのA. Buadesらによって2005年に提案された、Non-Local Means⁽¹⁾（以下、NL-means法と呼ぶ）と呼ばれる技術が近年、注目を集めている。NL-means法は、対象画素を中心とするブロックと画像内から大量に収集したブロックとの間の類似度を重みとして、各ブロックの中心画素の加重平均をとり、対象画素を置き換える技術である。平坦部のノイズ除去性能及びエッジ部の保存性能ともに、それまでのノイズ除去技術を上回る高画質な結果が得られる。しかし、ノイズの量が多い画像に対しては、類似度がノイズの影響を受けるため画質が十分ではないという課題があった。

ここでは、従来のNL-means法をベースに東芝が開発した、新たな類似度を用いるノイズ除去技術（構造適応型NL-means法⁽²⁾）について述べる。この技術では、事前にカラーの自然画像から切り出したブロックを大量に収集して、ノイズの影響を受けにくいパターンを統計的に学習しておく。入力画像からノイズを除去する際には、処理対象のブロックごとに適応

(注1) 周波数や振幅が不規則な雑音信号。



的に選択したパターンの組合せを用いて類似度を算出する。これにより、高画質な処理結果が得られる。

2 従来のNL-means法

従来のNL-means法（以下、従来技術と呼ぶ）は、入力された画像中の画素を左上から右下の順に選択し、選択された各画素の画素値を大量の周辺画素の画素値の加重平均により置き換える技術である。図1に示すように、加重平均の重みは、処理対象となる自画素を中心とするブロック（以下、自ブロックと呼ぶ）と周辺画素を中心とするブロック（以下、周辺ブロック



(a) 原画像



(b) ノイズ付加画像



(c) 従来技術で処理した画像

図2. 従来技術で処理した画像 — デジタルカメラで撮影された原画像に対し、標準偏差20の白色ガウスノイズを付加した画像と、更に従来技術で処理した画像を比較したものである。従来技術ではノイズは除去されるが、細かなテクスチャが平滑化され、ぼけが生じて鮮鋭感が失われている。

Image denoised by NL means

と呼ぶ) との間の類似度が高いほど、大きく設定する。これにより、似通ったパターンのブロックが平均され、ノイズが除去される。しかし、ノイズの影響により、本来は同じパターンのブロックどうしであっても類似度が低くなることもある。その場合、本来は異なるパターンのブロックが相対的に大きな重みを持つため、画像のぼけが生じて画質が低下する。

デジタルカメラで撮影した図2(a)の原画像に標準偏差20の白色ガウスノイズ(正規分布に従うノイズ)を付加した画像を図2(b)に、従来技術により処理した結果を図2(c)に示す。ノイズは除去されたが、細かなテクスチャ(質感)が平滑化され、画像がぼけたようすがわかる。

3 開発技術の概要

当社が開発した構造適応型NL-means法(以下、開発技術と呼ぶ)では、画像中のブロックが図3のように単純な基底パターンの組合せで表現できる性質を利用する。図3中の $a_1 \sim a_n$ は、それぞれの基底パターンに対応する係数である。ノイズに対してロバスト(頑健)な、単純な基底パターンの組合せでブロックを表現するために、3.1節と3.2節で述べるステップにより基底パターンを求め、次に、それを利用して、3.3節で述べる方法により類似度を算出する。

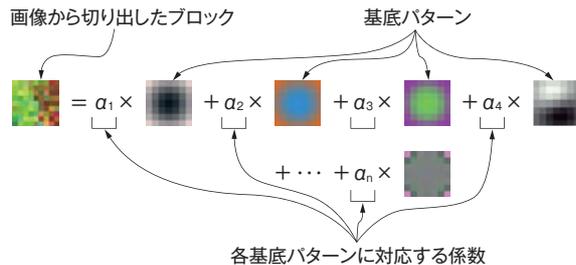


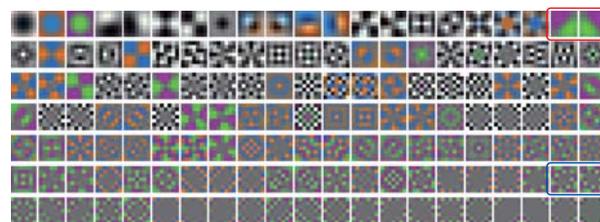
図3. 画像の表現 — 画像(ブロック)は、単純なパターンの組合せにより表現することができる。

Description of image by decomposition

3.1 統計的な出現頻度に基づく基底パターンの選別

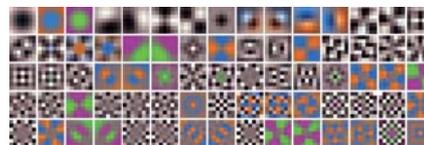
第1ステップでは、ノイズに対してロバストな基底パターンを自然画像から統計的に学習する。大量の自然画像から収集した様々なブロックを分析すると、代表的な基底パターンとそれぞれの出現頻度を算出できる。カラーの様々な自然画像から切り出した約5億個のブロックを分析することで生成した基底パターンを、出現頻度の順に左上から並べたものを図4(a)に示す。

出現頻度が高い基底パターンは、一般的な自然画像に多く存在する局所的な構造を表す。それに対して出現頻度の低い基底パターンは、画像の構造とは相関を持たない、ノイズ成分を表す。そこで、出現頻度の高い基底パターンだけを選別す



(a) 大量の自然画像から生成した基底パターン

第1ステップ



(b) 出現頻度が高い基底パターン

第2ステップ



(c) 自ブロックとの相関が高い基底パターン

図4. 開発技術における基底パターンの選別の流れ — 開発技術は、二つのステップで基底パターンを求める。

Triage of basis pattern in newly developed method

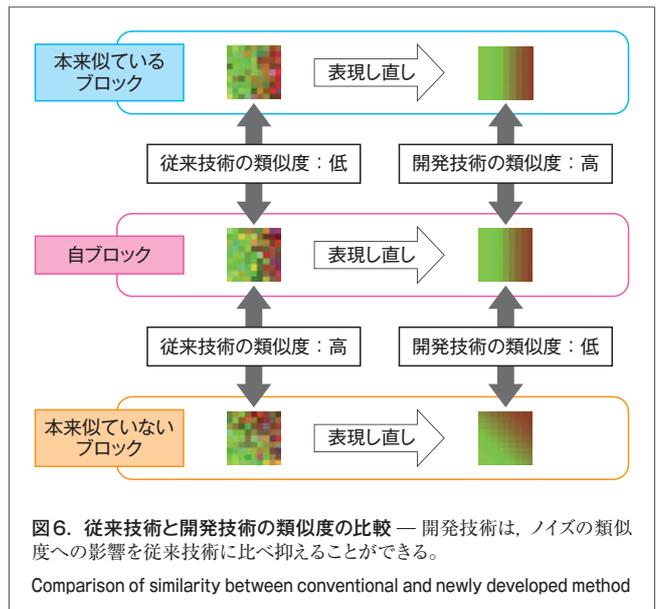
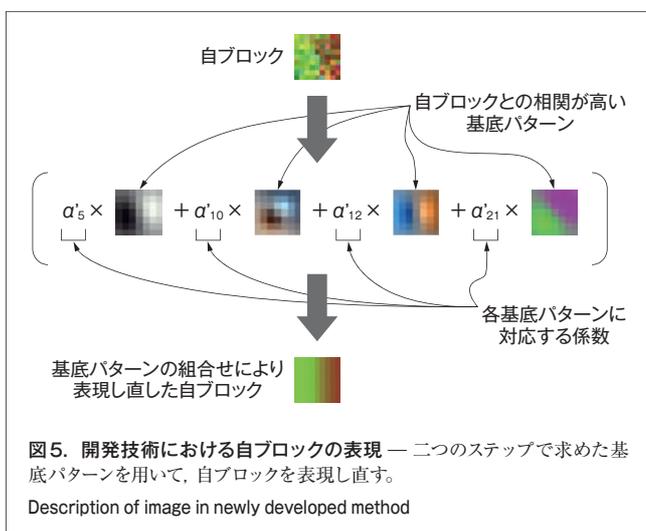
ることで、統計的にノイズの影響を受けにくい基底パターンが得られる。例えば、図4(a)の青枠で示した基底パターンは、1画素ごとに色が変化するパターンを表し、粒状ノイズを表していると考えられる。これらを除外した、図4(b)に示す出現頻度の高い基底パターンだけの組合せにより自ブロックや周辺ブロックを表現しなおすことで、類似度が粒状ノイズに左右されるリスクを軽減できる。

3.2 自ブロックとの相関に基づく基底パターンの選別

第2ステップでは、第1ステップで選別した基底パターン群のうちから、処理対象である自ブロックとの相関の高い基底パターンを更に選別する(図4(c))。例えば、平たん部のブロックでは、図4(a)の赤枠で示した基底パターンを第2ステップで除くことによって、2, 3画素にわたっての色のにじみが類似度に与える影響を軽減できる。一方、色付きのエッジ部では、それと相関の高い、図4(a)の赤枠で示した基底パターンは除外されず、出現頻度は高くても色付きエッジとの相関は低い基底パターンが除外される(図4(c))。これにより、色付きエッジという画像の構造を表現しながら、エッジ上のノイズには影響されない基底パターンだけが選別されるため、類似度へのノイズの影響を抑えられる。そのため、エッジの鮮鋭感は保持しながらノイズを除去することができる。

3.3 類似度の算出

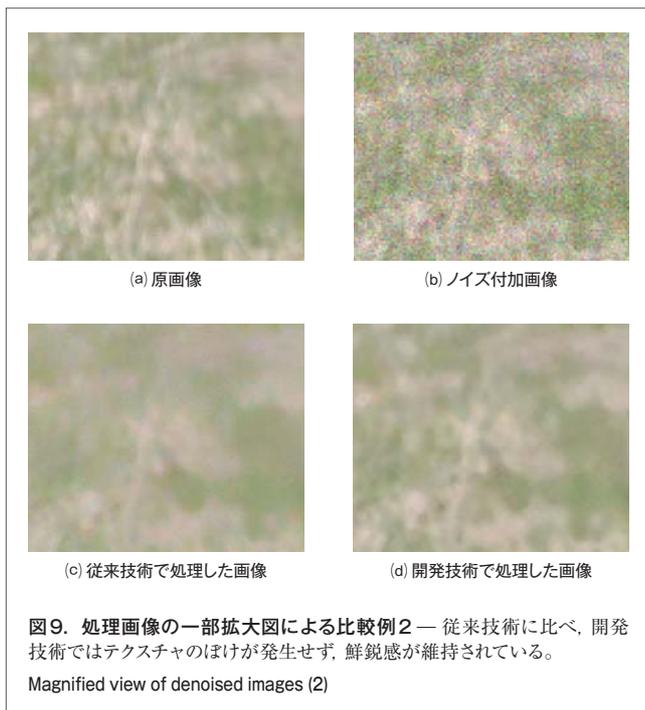
前述の二つのステップで選別した図4(c)の基底パターンを用いて、自ブロックを図5のように表現し直す。次に、図6に示すように周辺ブロックについても同様に表現し直したうえで、自ブロックと周辺ブロックとの類似度を算出する。得られた類似度は、自然画像や自ブロックと無相関なノイズに対してロバストになっている。この類似度を重みとして周辺ブロックの中心画素の加重平均を求め、自画素を置き換える。これにより、従来技術の課題であったノイズの影響による画質低下を防ぎ、高画質な画像が得られる。



4 ノイズ除去性能の比較実験

開発技術と従来技術のノイズ除去性能を比較した。図2(b)のノイズ付加画像に対して開発技術を適用した結果を図7に示す。更に、図7の赤枠部分の拡大図の比較をそれぞれ図8、図9に示す。なお、実験ではブロックサイズを7×7画素、周辺ブロックを探索する領域を21×21画素とした。図8の特に赤枠部分から、従来技術で除去しきれなかったエッジ上のノイズを開発技術では除去できたことがわかる。また、図9から、開発技術では、従来技術で発生したテクスチャのぼけを低減しながらノイズを除去できたことがわかる。





従来技術と開発技術の定量評価を行うため、式(1)で表されるPSNR (Peak Signal to Noise Ratio) を計算した。

$$PSNR (dB) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(2^8 - 1)^2}{MSE} \right\} \quad (1)$$

MSE : Mean Square Error (平均二乗誤差)

PSNRは、原画像と処理後の画像の誤差を測る指標であり、値が大きいほど原画像に近いことを表す。3.1節の統計

的学習に用いた画像とは異なる、サイズが800×600画素でRGB (赤, 緑, 青) 各色の深度が8ビットの画像を20枚用意し、これらに標準偏差20の白色ガウスノイズを付加したものを入力画像とした。用意した入力画像に対して、従来技術と開発技術によるノイズ除去処理を施し、PSNRの平均値を求めた結果を表1に示す。開発技術の平均PSNRは、従来技術と比べ約1.3 dB向上した。

表1. 平均PSNRの比較

Average peak signal-to-noise ratio (PSNR)

項目	入力画像	従来技術	開発技術
平均PSNR (dB)	22.50	29.71	31.05

5 あとがき

ここでは、自然画像や自ブロックと無相関なノイズに対してロバストな、新たな類似度を用いた、NL-means法の新技术について述べた。

この技術により、従来技術の課題であったノイズ除去と鮮鋭感維持の両方の性能が向上し、ノイズの多い画像から効果的にノイズを除去できる。この技術は、デジタルカメラや、ホームビデオカメラ、監視カメラなどを低照度や短露光といった撮影条件下で使用した際に生じる、ランダムノイズの除去に特に有効である。また、医療分野においても、低線量で撮影した、ノイズの多いX線透視画像への活用が期待される。

文献

- (1) Buades, A., et al. A Non-Local Algorithm for Image Denoising. CVPR2005, IEEE Computer Society Conference, 2, 2005, p.60 - 65.
- (2) 河田諭志, ほか. “自然画像の主成分分析を用いたNon-local Meansによるノイズ除去”. SSII2010, 第16回画像センシングシンポジウム. 横浜, 2010-06. 画像センシング技術研究会, 2010, p.IS2-06-1-6.



河田 諭志 KAWATA Satoshi

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。
映像の高画質化に関する研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.



田口 安則 TAGUCHI Yasunori

研究開発センター マルチメディアラボラトリー 研究主務。
映像の高画質化に関する研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.



松本 信幸 MATSUMOTO Nobuyuki

研究開発センター マルチメディアラボラトリー 研究主務。
映像の高画質化に関する研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Multimedia Lab.