

BV-G 非線形画像分解を用いた劣化画像の分析とその応用
 Analysis of degrade images with the BV-G nonlinear image-decomposition and its application

遠藤 圭亮[†] 小松 隆[†] 齊藤 隆弘[†]
 Keisuke Endo Takashi Komatsu Takahiro Saito

1. はじめに

筆者らは、先に、ガンマ補正と対数変換後の劣化画像に BV-G 非線形画像分解^[1]を適用して分析した波形レベルの性質を、Noise Free な原画像と比較することで、劣化画像を分析する手法について基礎的検討を行った^[2]。筆者らは、さらに、対数変換よりも網膜上の非線形変換に近い変換を採用すると、対数変換を用いた場合よりも信頼性の高い分析が行えることを確認した^[3]。本研究では、この分析法を、HVS における分析色空間として知られている Opponent 色空間^[4]における分析法へと拡張し、雑音除去カラー画像の分析に適用し、雑音除去方式の性能評価へ応用する。

2. 雑音除去画像の分析手法の概要

本分析手法では、まず Noise Free な原カラー画像と雑音除去カラー画像に対して、図 1 に示した順序で処理を行い、各 Opponent 色成分 (Lum, R/G, B/Y) の 3 つの分解成分 (BV 成分, G 成分, D 成分) に対して構造類似指標 (SSIM: Structure-Similarity Index)^[5]を算出し、雑音除去カラー画像を分析する。

本分析法では、まず、RGB 三原色空間で定義された Noise Free な原カラー画像 f と雑音除去カラー画像 g に対し、画像表示デバイスで行われているガンマ補正を適用し、次に網膜上で行われている非線形変換を模擬した式(1)の非線形変換 $v(x)$ ^[3]を適用する。

$$v(x) = 20 \cdot \frac{x^{0.5}}{x^{0.5} + a^{0.5}}, \quad a = E[x] \quad (1)$$

次に非線形変換後の画像を、RGB 三原色空間から Opponent 色空間へと色変換し、各 Opponent 色成分 (Lum, R/G, B/Y) に対して独立に BV-G 非線形画像分解法^[1]を適用し、その幾何学的構造に対応した波形成分を意味する

BV 成分と、そのテクスチャ構造に対応した振動的波形成分を意味する G 成分と、分解の残差の波形成分である D 成分の三成分の和に分解する。

次に、Noise Free な原カラー画像 f と雑音除去カラー画像 g の間で、各 Opponent 色成分の分解成分毎に比較を行い、その各々に対し SSIM を計算する。SSIM は、二波形間で、1) 局所的平均の相違、2) 局所分散の相違、3) 局所相互相関を評価し、局所 SSIM を算出した後、これを波形全体にわたって加重平均することで算出される。SSIM は [-1, 1] の範囲の実数値であり、その値が大きいくほど類似度が高いことを意味している。

3. 雑音除去法の性能評価への応用

本研究では、下記の三方式を分析対象の雑音除去方式とした。

- 1 Color Shrinkage を用いた適応的 Wavelet 雑音除去法^[6] (以下、Wavelet 法)
- 2 Non-local means 法^[7]
- 3 Bilateral Filtering 法^[8]

分析実験では、Noise Free な原カラー画像に白色ガウス性雑音を付加してテストカラー画像を作成し、これに各種の雑音除去法を適用した。各雑音除去法では、各テストカラー画像に対し、PSNR の観点から雑音除去パラメータを最適化した。付加雑音の分散を変えながら、雑音除去画像の PSNR と、雑音除去画像から分離した各分解成分の SSIM の関係を求める。

また、Noise Free な原カラー画像に白色ガウス性雑音を付加した画像 (以下、雑音付加画像) を作成し、この雑音付加画像にも図 1 の分析法を適用し、各 Opponent 色成分の

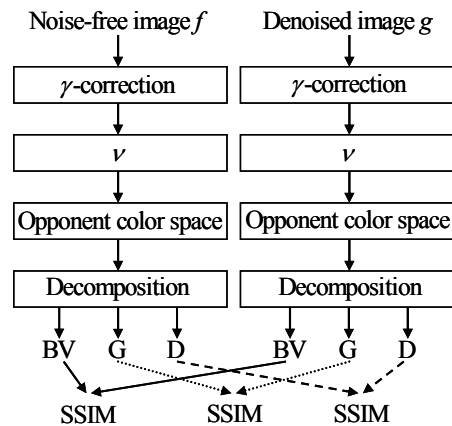


図 1 雑音除去画像の分析のための処理手順

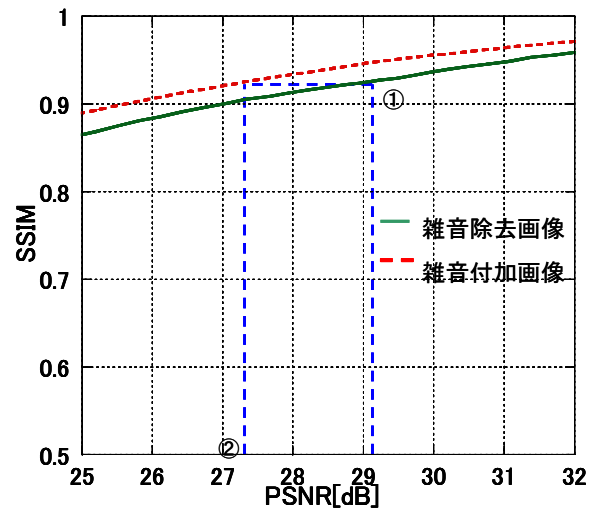


図 2 等価 PSNR 値の推定手順

分解成分毎に SSIM を計算し、雑音付加画像の PSNR と SSIM の関係を求める。これを、雑音除去画像から求めた SSIM と比較することにより、雑音除去画像の原画像からの偏差が、白色ガウス性雑音からどの程度異なって見えるのかを評価できる可能性がある。

本研究では、具体的には、雑音除去画像の Opponent 色成分 Lum から分離した BV 成分の SSIM が、雑音付加画像の Opponent 色成分 Lum から分離した BV 成分の SSIM と等しくなるように、雑音付加画像の白色ガウス性雑音の分散を調整し、その際の雑音付加画像の PSNR を求め、これを雑音除去画像の等価 PSNR 値と定義する。図 2 には、この手順を示した。図 2 の緑色の実線は、ある雑音除去法について、雑音除去画像の色成分 Lum から分離した BV 成分の SSIM を、雑音除去画像の PSNR に対して示したものである。また、図 2 の赤色の点線は、雑音付加画像の色成分 Lum から分離した BV 成分の SSIM を、雑音付加画像の PSNR に対して示したものである。図 2 において、①の SSIM 値と同一の SSIM 値となる雑音付加画像の PSNR 値 (図中の②の値) が、求める等価 PSNR 値である。

図 3 には、Kodak 標準カラー画像 No.1 を原カラー画像として用い、三種類の雑音除去法について、雑音を付加したテストカラー画像の PSNR 値 (横軸の PSNR of Noisy Image) と雑音除去カラー画像の PSNR 値 (縦軸の Denoised PSNR) との関係性を求めた結果を示した。

図 4 には、図 3 と同一の条件下にて求めた、雑音除去画像の PSNR 値 (横軸の Denoised PSNR) と等価 PSNR 値 (縦軸) との関係性を示した。

図 3 において、Wavelet 法が、広い範囲にわたり、PSNR の改善度が最も高くなっている。また、図 4 の分析結果では、Wavelet 法は Denoised PSNR 値と等価 PSNR 値の関係がほぼ傾き 1 の直線となっており、雑音除去によって発生する歪が白色ガウス性雑音に近い性質を有していることを示唆している。一方、Non-local means 法では、Denoised PSNR 値と等価 PSNR 値の関係が、その傾きが 1 より小さな直線となっており、雑音除去によって発生する歪が白色ガウス性雑音からは相当に隔たった性質を有していることを示唆している。実際、Non-local means 法には、雑音除去画像上に特異な人工的パターンを生成する傾向がある。

4. むすび

本研究では、BV-G 非線形画像分解^[1]を用いた劣化画像の分析法^{[2],[3]}を HVS における分析色空間として知られている Opponent 色空間^[4]における分析法へと拡張し、これを雑音除去カラー画像の分析に適用し、雑音除去法の性能の評価を行った。その結果、雑音除去画像上に現れる歪の特徴に一定程度対応した評価結果が得られた。今後、この結果を、雑音除去画像の主観評価結果と対比し、両者の関係を明らかにする必要がある。

参考文献

- [1] J. -F. Aujol, et al., "Image decomposition into a bounded variation component and an oscillating component," *J. Math. Imaging & Vision*, 22, 1, pp.71-88, 2005.
- [2] 遠藤, 小松, 齊藤, "雑音除去誤差の非線形画像分解による分析," 映像メディア処理シンポジウム(IMPS2008), 14-02, Oct. 2008.

- [3] 遠藤, 小松, 齊藤, "BV-G 非線形画像分解と構造類似指標を用いた雑音画像の分析," 電子情報通信学会 2009 年総合大会, D-11-48, Mar. 2009.
- [4] B. A. Wandell, "Foundations of vision," Sinauer Press, Sunderland, MA, USA, 1995.
- [5] Z. Wang, et al., "Structural approaches to image quality assessment," in *Handbook of Image and Video Processing*, A.C. Bovik, ed., Academic Press, 2005.
- [6] 齊藤, 小松, "色間相関を利用した新しい Wavelet Shrinkage 雑音除去法の提案," 電子情報通信学会論文誌, vol.J91-D, no.8, pp. 2005-2008, Aug. 2008.
- [7] A. Buades, et al., "A review of image denoising algorithms, with a new one," *Multiscale Model. Simul.*, vol.4, no.2, pp.490-530, 2005.
- [8] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," *Proc. 1998 IEEE Int. Conf. Computer Vision*, pp.839-846, 1998.

† 神奈川大学 Kanagawa University

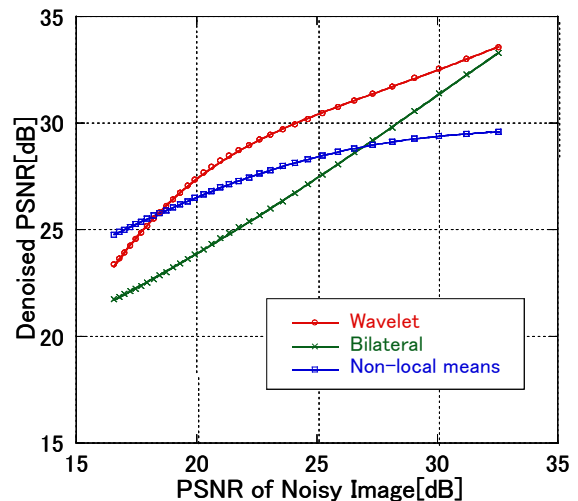


図 3 雑音を付加したテストカラー画像の PSNR 値 (横軸の PSNR of Noisy Image) と雑音除去カラー画像の PSNR 値 (縦軸の Denoised PSNR) との関係

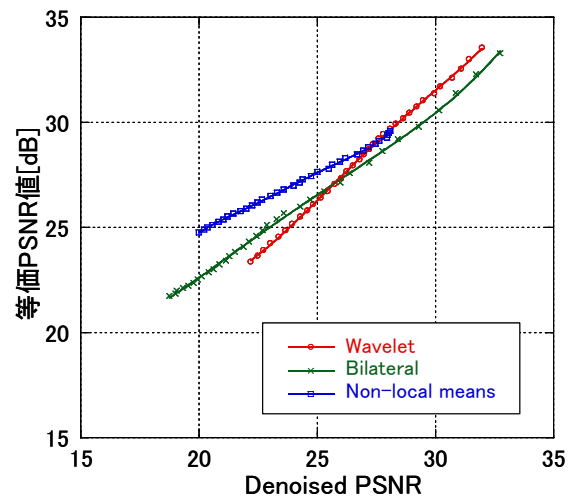


図 4 雑音除去画像の PSNR 値 (横軸の Denoised PSNR) と等価 PSNR 値 (縦軸) との関係