

色間相関を考慮した非線形画像分解に基づく画像拡大 Image zooming with nonlinear image decomposition utilizing inter-channel color cross-correlations

山田 大介[†] 小松 隆[†] 齊藤 隆弘[†]
Daisuke YAMADA[†] Takashi KOMATSU[†] Takahiro SAITO[†]

1. はじめに

筆者らは、先に、拡大対象の入力画像に BV-G 非線形画像分解[1], [2]を適用し、BV成分とG成分に分解し、各分解成分に適した補間拡大を行うことにより、リングング歪みやぼけ歪み等の各種のアーティファクトを発生することのない画像拡大が可能であることを示した[3].

しかし、筆者らの先の拡大法で用いていた BV-G 非線形画像分解では、各原色信号の分解処理が独立に行われ、その際に色間相関が考慮されていない。非線形画像分解の際に色間相関を利用していない従来法[3]では、雑音に汚された画像が入力された場合、分離した BV 成分に色付き雑音が混入してしまうなどの問題があった。色間相関を利用した画像分解を行えば、このような問題を解決できる[4]. また、分解性能自体が向上し、カラー画像は BV 成分と G 成分に良好に分解される。

2. 画像拡大アルゴリズム

図1に、本画像拡大法の処理手順を示した。

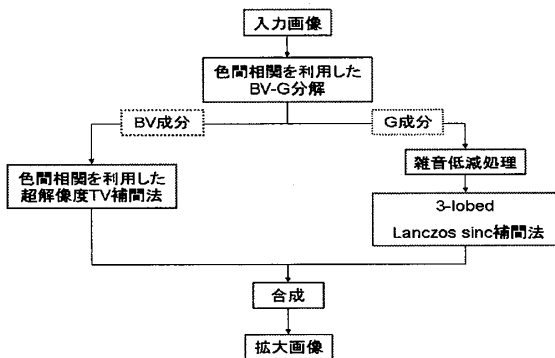


図1. 本画像拡大法の処理手順

まず、入力画像に対して色間相関を考慮した BV-G 非線形画像分解を適用し、BV成分とG成分に分解する。分解された BV 成分は急峻なエッジとなだらかな輝度値変化から構成された成分であり、ほとんど観測雑音の影響を受けない。一方、G成分は BV 成分に細かな模様を付け加える振動成分であり、この成分には雑音が含まれている。

次に、分解された各成分に適した拡大処理を行う。BV成分は雑音が含まれていないので、筆者らが先に提案した色間相関を考慮した超解像度 TV 補間法[5]を適用し、カラー画像補間と同時に、光学 LPF 等による“画像ぼけ”の除去も行う。一方、G成分は振動関数であり、その拡大には線形補間法が適している。また、G成分には雑音が含まれているので、雑音低減処理を行った後に 3-lobed Lanczos sinc 補間法を適用した。

3. 色間相関を考慮した BV-G 非線形画像分解[4]

各原色信号に独立に BV-G 非線形画像分解を適用すると、BV成分においてカラーエッジ周辺で色ずれを生じることがある。このようなカラー歪を抑制するには、原色信号間の相互相関を考慮する必要がある。そこで、筆者らが先に、雑音除去や画像拡大のために考案した色差と色和の TV (全変動ノルム) を BV-G 非線形画像分解モデルに導入し、カラーエッジ周辺でのカラー歪を抑制する。

色差と色和の TV を導入した BV-G 非線形画像分解モデルは、式(1)の変分問題として定式化される。式(1)の Euler-Lagrange 方程式を直接に反復解法で解くと、計算量が膨大となってしまう。そこで、TV ノルムを全て Besov ノルムに置き換えることで、式(1)の近似解が、シフト不変 Wavelet 変換領域における 2 種類の雑音除去を交互に反復適用することで求まる。

$$\inf_{u_r, u_g, u_b \in X, v_r, v_g, v_b \in G} \left\{ J(u_r) + J(u_g) + J(u_b) + \alpha \cdot J(u_r - u_g) + \beta \cdot J(u_r + u_g) + \alpha \cdot J(u_b - u_g) + \beta \cdot J(u_b + u_g) + \frac{\lambda}{2} \|f_r - u_r - v_r\|_X^2 + \frac{\lambda}{2} \|f_g - u_g - v_g\|_X^2 + \frac{\lambda}{2} \|f_b - u_b - v_b\|_X^2 \right\}, \quad (1)$$

$$\lambda > 0, \alpha > 0, \beta > 0$$

f_r, f_g, f_b : RGB 3 原色カラー信号

u_r, u_g, u_b : RGB の BV 成分, v_r, v_g, v_b : RGB の G 成分

4. 色間相関を考慮した超解像度 TV 補間法 [5]

BV成分は不連続跳躍を含んだ有界変動関数であり、線形補間法を適用するとエッジがぼけたり、リングングが発生したりする。BV成分には、超解像度 TV 補間法が適している。これは、有界変動関数の補間問題を“ぼけ復元と補間を同時に行う TV 画像復元問題”として定式化し、エッジの立ち上がりを鮮鋭化しつつ、エッジ周辺でリングングが発生しないように、ナイキスト周波数よりも高い周波数成分を復元し、有界変動関数を補間拡大するものである。超解像度 TV 補間法の画像復元問題は、復元画像 U_R, U_G, U_B の TV ノルム $J(U_R), J(U_G), J(U_B)$ 、色差の TV ノルム $J(U_G - U_R), J(U_G - U_B)$ 、色和の TV ノルム $J(U_G + U_R), J(U_G + U_B)$ を用いた次式のエネルギー汎関数を最小化する TV 変分問題として定式化される。

$$\inf_{U_R, U_G, U_B \in X} \left\{ J(U_R) + J(U_G) + J(U_B) + \alpha \cdot (U_G - U_R) + \beta \cdot J(U_G - U_B) + \alpha \cdot J(U_G + U_R) + \beta \cdot J(U_G - U_B) + \lambda \cdot \|\rho * U_R - U_R'\|_X^2 + \lambda \cdot \|\rho * U_G - U_G'\|_X^2 + \lambda \cdot \|\rho * U_B - U_B'\|_X^2 \right\} \quad (2)$$

U_R, U_G, U_B : 復元画像, $\lambda > 0$

U_R', U_G', U_B' : 入力画像, $\alpha > \beta > 0$

ここで、線形作用素 ρ は、復元画像 U_R, U_G, U_B に対するホールドぼけ作用素である。

5. 補間拡大画像の比較検討

筆者らが先に提案した“色間相関を考慮しない画像分解に基づく拡大法[3]”と本提案手法である“色間相関を考慮した画像分解に基づく拡大法”の客観的評価を行った。この評価では、具体的には、まず原画像をぼかし、信号依存性雑音を加えた後、4画素毎にサブ標本化して作製した縮小画像をテスト画像として用いた。テスト画像に対して筆者らの従来法[3]と本提案手法とを用いて4倍拡大を行い、無雑音の原画像との比較を行った。また本研究では、G成分の雑音低減処理には l^2 - l^2 Color Shrinkage[6]を用いた。

分解されたBV成分に対して色間相関を考慮した超解像度TV補間法を適用する際、拡大した画像が、色間相関を考慮したBV-G非線形画像分解によって原画像から分離したBV成分と出来るだけ近くなるように、パラメータ最適化を行った。

分離されたG成分については、 l^2 - l^2 Color Shrinkageを適用した後に3-lobed Lanczos sinc補間法により拡大したG成分が、色間相関を考慮したBV-G非線形画像分解によって原画像から分離したG成分と出来るだけ近くなるように、 l^2 - l^2 Color Shrinkageのパラメータ最適化を行った。

図2に、ぼけテスト画像、ぼけに加えてISO400, ISO800, ISO1600相当の信号依存性雑音を加えたテスト画像に対して、筆者らの従来法[3]と本提案手法を適用して得られた4倍拡大BV成分の、原画像から分解したBV成分に対するPSNRを示した。また、図3には、色間相関を考慮した超解像度TV補間法により補間拡大したBV成分と、 l^2 - l^2 Color Shrinkageを行った後3-lobed Lanczos sinc補間法により補間拡大したG成分を合成して最終的に得られた4倍拡大画像の、原画像に対するPSNRを示した。

また、図4～図7には、図2と図3のISO1600相当の信号依存性雑音を加えた際の、筆者らの従来法[3]と本提案手法とにより最終的に得られた4倍拡大画像の一部、拡大BV成分の一部を示した。

高ISO感度になるほど、従来法に比較し、本提案手法の方が色斑が生じず、理想的な拡大BV成分が生成され、主観的にも、客観的にも本手法に優位性がある。しかし、拡大BV成分と拡大G成分を合成すると、PSNRの観点からは両者間には優位な差は見られない。これは、振動的な信号成分と雑音の区別が難しく、G成分の雑音低減処理や補間処理にやや問題があることに由来している。一方、最終的な合成拡大画像を見ると、本提案手法では従来法に比較して、平坦部における色むらが大幅に低減されており、本提案法がより優れている。

6. むすび

G成分の補間拡大や雑音低減処理について、検討を進める予定である。

参考文献

- [1] J.-F. Aujol, G. Aubert, L. Blanc-Feraud, and A. Chambolle, “Image decomposition into a bounded variation component and an oscillating component,” *J. Mathematical Imaging & Vision*, vol.22, no.1, pp.71-88, 2005.
- [2] 石井, 中川, 小松, 齊藤, “乗算型骨格/テクスチャ分解の画像処理への応用,” *信学論*, J90-D, 7, pp.1682-1685, Sept. 2007.
- [3] 石井, 小松, 齊藤, “乗算型骨格/テクスチャ分離に基づく画像拡大,” 2006映像メディア処理シンポジウム, I6-09.

[4] 齊藤, 相澤, 小松, “色間相関を考慮した非線形画像分解法,” *信学論*, J92-D, 10, Oct. 2009. (印刷中)

[5] 小松, 齊藤, “Total-Variation 正則化を用いたシャープニング-デモザイキング法,” *映像情報メディア学会誌*, 61, 11, pp.1621-1632, Nov. 2007.

[6] 藤井, 小松, 齊藤, “Color Shrinkageを用いたWavelet雑音除去の性能評価,” 2008映像メディア処理シンポジウム, I2-01.

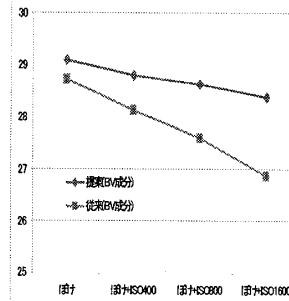


図2. BV成分の最適化結果

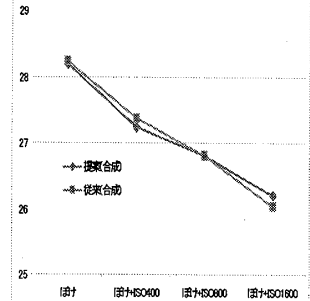


図3. 合成画像の最適化結果

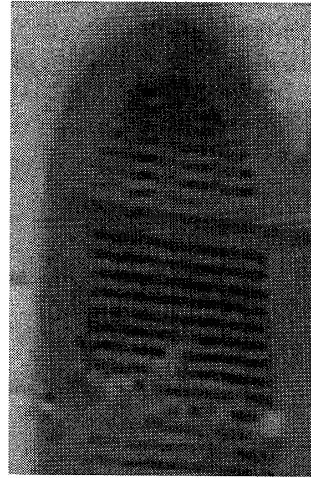


図4. 本手法(BV成分)

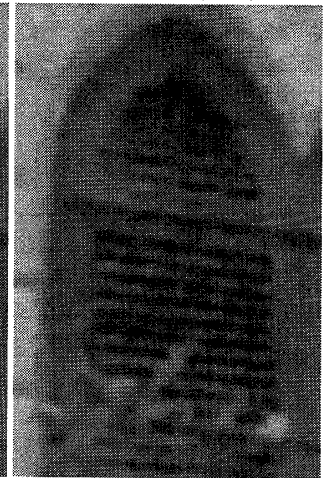


図5. 従来手法(BV成分)



図6. 本手法(合成画像)



図7. 従来手法(合成画像)

† 神奈川大学 工学研究科 電気電子情報工学専攻
〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1
TEL.045-481-5661, E-mail: daisukyug8@gmail.com