

冗長 DCT を用いたシャープニング-デモザイキング法の提案

Proposal of a Sharpening-Demosaicing Method with the Redundant DCT

小松 隆[†] 上田康隆[†] 齊藤 隆弘[†]
Takashi Komatsu Yasutaka Ueda Takahiro Saito

1. はじめに

単板固体カラー撮像素子で撮像系を構築する場合、標本化に伴う折り返しひずみを抑制するため、光学ローパスフィルタが用いられる。このため、観測された信号値自身がぼけている。観測値に単純なデモザイキングを適用してもぼけた復元画像しか得られない。ぼけの無い復元画像を得るためには、シャープニング機能を有したデモザイキング法が必要である。著者らは先に冗長 Haar-wavelet 変換と Soft-Color Shrinkage を用いたシャープニング-デモザイキング法を提案した[1]。本稿では、冗長 DCT 変換と Soft-Color Shrinkage とを用いてシャープニングとデモザイキングとを同時に行う手法を提案する。

2. 提案手法の概要

デジタルカメラ用の光学ローパスフィルタには複屈折素子が使われる。複屈折素子は 1 つの入力光を画素間隔だけ離れた 2 つの光に分割する機能を持つ。通常は水平・垂直各方向に入力光を分割する複屈折素子を 1 枚ずつ組み合わせて 2 次元のローパスフィルタを実現している。このフィルタの特性は、図 1 に示すように隣接する 4 画素の平均フィルタとなる。

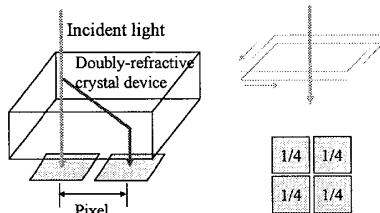


Fig.1 Optical low-pass filter and its function.

JPEGなどでブロックサイズ $N \times N$ の DCT 変換を行う場合、画像を $N \times N$ のオーバーラックしないブロックに分割し、ブロック毎に DCT 変換を適用する。これに対して、冗長 DCT 変換は、画像を水平・垂直方向各々に $0 \sim N-1$ 画素だけ巡回シフトし、この巡回シフトされた N^2 枚の画像毎に $N \times N$ の DCT 変換を行うものである。

ブロックサイズ 4×4 の DCT 変換の直流変換係数は、画像の 4×4 ブロック内の画素値の平均値の 4 倍に相当する。一方、OLPF 通過後に各画素で観測された画像は図 1 に示したように近傍 4 画素の平均値となっている。図 2 に Bayer カラーフィルタ配列を示す。Blue の色フィルタが掛かった隣接 4 画素の和 $b_1 + b_2 + b_3 + b_4$ を求めると、この値は、Blue 画像のブロックサイズ 4×4 DCT の直流変換係数と等しい。Red の色フィルタが掛かった隣接 4 画素の和 $a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ の場合は、左上方向に各 1 画素巡回シフトした Red 画像のブロックサイズ 4×4 DCT の直流変換係数と等しい。Green の色フィルタが掛かった画素に関しては、図 3 のように、Green の画素配列パターンを 2 つの画素配列パターンに分解する。個々の画素配置は Blue や Red の画素

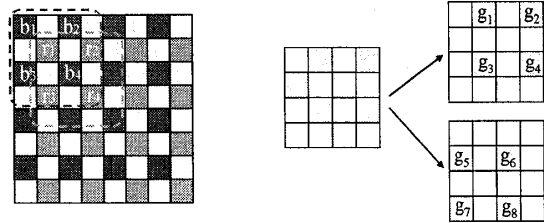


Fig.2 Bayer's color

Fig.3 Separation of the green color filter

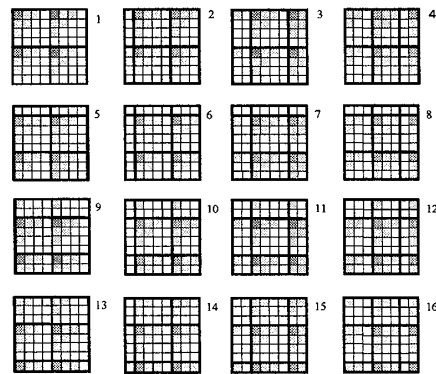


Fig.4 Correspondence between 16 cyclic shift patterns and

the sum of the four same color pixels neighboring

配置と同様の関係にあり、分解パターンの隣接 4 画素の和 $g_1 + g_2 + g_3 + g_4$ や $g_5 + g_6 + g_7 + g_8$ は各々左または上に 1 画素巡回シフトした Green 画像のブロックサイズ 4×4 DCT の直流変換係数と等しい。

これらの関係を図 4 に示した。図 4 は 16 種類の巡回シフト後に 4×4 の DCT 変換し、シフト前の位置に戻したときの様子を示している。 4×4 ブロックの左上のものは DCT 直流変換係数である。例えば 6 番目の巡回シフト画像の DCT 直流変換係数はすべて Red の隣接 4 画素値の和と対応付けられていることを示している。

画像を冗長 DCT し、直流を除いた変換係数に Soft-Shrinkage を掛け、冗長 DCT 逆変換を施すと、近似的に画像に TV 正則化をおこなったことと同様の効果が得られる[2]。本稿では、冗長 DCT 変換と Soft-Color Shrinkage とを用いてシャープニングとデモザイキングとを同時に行う手法を提案する。提案手法のアルゴリズムを以下に示す。Soft-Color Shrinkage には RGB の DCT 係数に対して冗長色変換し、この変換係数に Soft Shrinkage を適用する方式を用いた。冗長色変換は式(1)で定義される変換である。

$$\begin{bmatrix} o_1 \\ o_2 \\ o_3 \\ o_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (1)$$

[†] 神奈川大学 Kanagawa University

O_1 に対する Soft Shrinkage のしきい値を T_y , O_2 , O_3 , O_4 に対する Soft Shrinkage のしきい値を T_m とする.
提案法のデモザイクアルゴリズムを以下に示す.

デモザイクアルゴリズム

- 0) 初期設定: デモザイク画像の画素値を全て0とする.
反復回数の最大値 t_{max} を定める. Soft-Color Shrinkage のためのパラメータ $T_y^{(0)}, T_m^{(0)}$ を定める. 反復回数カウンター $t=1$ とする.
- 1) デモザイク画像をブロックサイズ 4×4 の冗長 DCT 変換する.
- 2) 冗長 DCT の各直流変換係数を, モザイク観測画像の対応する同色近傍4画素の和で置き換える.
- 3) 式(2)にて t 回目の Shrinkage のためのしきい値を計算する.

$$T_y^{(t)} = T_y^{(0)} \frac{t_{max} - t}{t_{max}}, \quad T_m^{(t)} = T_m^{(0)} \frac{t_{max} - t}{t_{max}} \quad (2)$$
- 4) 冗長 DCT の直流を除く変換係数に Soft-Color Shrinkage を適用する.
- 5) 冗長 DCT 逆変換を施し, デモザイク画像を求める.
- 6) $t < t_{max}$ であれば, $t \leftarrow t+1$ とし, 1)へ戻る.
 $t = t_{max}$ であれば, デモザイク画像を出力する.

アルゴリズム終り

式(2)のしきい値制御法は, 山田の強収束定理[3]に基づくものである.

3. シミュレーション

Kodak の標準カラー画像を用いて, デモザイクのシミュレーションを行なった. まずテスト画像に Fig.1 に示した 2×2 の平均値フィルタを掛け, Bayer 色配列の順序従ってサブサンプルしてテストモザイク画像を作成した. テストモザイク画像に2. で述べたアルゴリズムを適用し, デモザイク画像を作成した. Shrinkage のしきい値は $T_y^{(0)}=0.05, T_m^{(0)}=0.2$ とした. また, 最大反復回数は $t_{max}=3000$ とした. 図5は標準カラー画像とデモザイク画像との PSNR を求めたものである. 図5には比較のため, 冗長 Haar-wavelet 変換と Color-Shrinkage を用いたデモザイク法[1]を用いてデモザイクされた画像の PSNR も示した. また, 図6は Kodim#04 の原画像とデモザイク画像との絶対値誤差を示したものである. (a)は本提案法による誤差画像, (b)は冗長 Haar-wavelet 変換を用いた文献[1]の手法による誤差画像である. 図5の結果より, 冗長 DCT 変換を用いたデモザイク法は冗長 Haar 変換を用いたデモザイク法よりも, PSNR の点では $1 \sim 2$ dB 低い結果となった. 一方, 両者の誤差画像を比較すると, 誤差の様子は異なっている. 提案法の誤差画像では白色の画素が多く, 文献[1]の手法による誤差は局所的に色付けされた画素が目立つ. 提案法はデモザイクにより生じる偽色の抑制に効果があるものと考えられる.

4. むすび

本稿では冗長 DCT と Soft Color-Shrinkage を用いたデモザイク法を提案した. 提案手法は, 筆者らが先に提案した冗長 Haar-wavelet 変換を用いたデモザイク法と同様に, 光学ローパスフィルタによるぼけの復元とデモザイクを同時に行う手法である. シミュレーションによりデモザイク

性能の評価を行ったところ, 冗長 Haar-wavelet 変換を用いた手法よりも PSNR では $1 \sim 2$ dB 低い結果となった. しかし, 提案法は偽色の抑制されたデモザイク画像が得られる特長を有していることが明らかとなった.

<参考文献>

- [1] 小松隆, 齊藤隆弘, 「冗長 Haar Wavelet 変換を用いたシャープニングデモザイク法の実現」, 2009年映像情報メディア学会年次大会, 17-7, 2009年8月.
- [2] 上田康隆, 小松隆, 齊藤隆弘, 「Color Shrinkage と冗長 DCT を用いたカラー画像の雑音除去法」, 電子情報通信学会 2009年総合大会, D-11-49, 2009年3月.
- [3] I. Yamada, "The hybrid steepest descent method for the variational inequality problem over the intersection of fixed points sets of nonexpansive mappings," *Inherently Parallel Algorithm in Feasibility and Optimization and their Applications*, pp.473-504, Elsevier, New York, 2001.

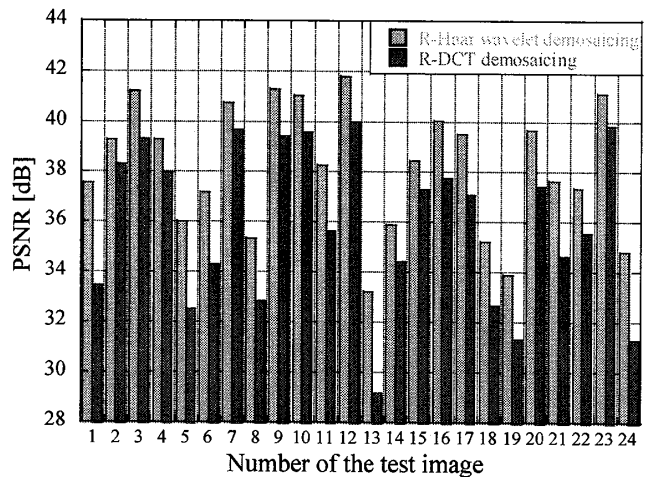
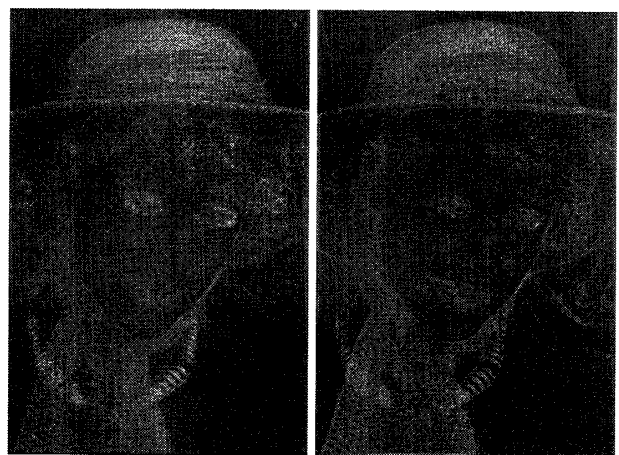


Fig.5 PSNR comparison of the Redundant DCT demosaicing and the redundant Haar-wavelet demosaicing.



(a) The redundant DCT demosaicing (b) The Haar-wavelet demosaicing

Fig.6 Absolute error images of the demosaiced images.