

巡回型 Haar 変換を用いた Color Shrinkage 法の提案
 Proposal of a color-shrinkage method using the cyclic Haar transform

小松 隆[†] 齊藤 隆弘[†]
 Takashi Komatsu Takahiro Saito

1. はじめに

著者らは先に、RGB カラー画像の雑音除去法として、Color Shrinkage 法を提案した[1]。この方式は RGB 各々の L1 ノルムに加えて、 $R \pm G, G \pm B, B \pm R$ の L1 ノルムも最小化するもので、RGB 各々の相関を利用した雑音除去が可能である。Color Shrinkage 法は良好な雑音除去性能を示し、特に色付雑音の低減に効果を発揮する。一方、Color Shrinkage 法では Color Shrinkage 処理が通常の Soft Shrinkage 処理に比べて演算量が多く、実用化する上で問題点となっている。本稿では、RGB 各信号成分に対して巡回型 Haar 変換を施して Shrinkage を行うことで、近似的に Color Shrinkage を行う手法を提案する。また、シミュレーションにより、提案法の性能評価を行い、提案法の有効性を示す。

2. Color Shrinkage 法の問題点

文献[1]で提案した Color Shrinkage 法の概要を示す。提案法では、まず画像を冗長 Wavelet 変換し、LL 以外の wavelet 変換係数を対応する RGB ごとに Color Shrinkage するものである。Color Shrinkage 処理は通常の Soft Shrinkage 処理と異なり、図1に示すように、センターデッドゾーンのほかに、処理対象以外の色の信号値に依存した位置にステップ状のデッドゾーンを有している。図1の関数は 11 の直線区間よりなり区間ごとに出力 g が異なっている。Color Shrinkage を行うためには入力 g_0 がどの区間に属しているかの判定が必要であり、このため演算量が多くなってしまふ。さらに、処理対象以外の色は初期状態では雑音含むため、最適な Shrinkage 結果を得るためには上記の処理を数回繰り返す必要がある。

3. 巡回型 Haar 変換を用いた Color Shrinkage 法

一般に画像信号は隣接画素間の相関が高く、雑音の隣接信号間には相関はない。雑音を含む画像を直交変換すると、本来の画像信号は特定の基底成分のみに対して大きな変換係数値となるが、雑音成分はすべての変換係数に対して同程度の変換係数値となる。Wavelet Shrinkage による雑音除去法は、変換係数に Shrinkage を施すことで、本来の画像を記述するために有効な、より少ない直交基底のみの重みつき和の形式で画像を記述することで雑音除去を行うものである。雑音除去のこの概念は Sparse Representation と呼ばれる。

カラー画像の場合、RGB 色信号は互いに相関がある。このため、上記の考え方は画像の空間方向ばかりではなく、RGB 色座標方向に対しても適用できる。すなわち、RGB 色方向にも直交変換を施し Shrinkage を行うことで、RGB の相関を利用した Color Shrinkage が行えると考えられる。

本稿では冗長 Haar Wavelet 変換を用いる。冗長 Haar Wavelet 変換では図2に示すように入力画像を RGB 各々独立に横方向に 1次元の Haar 変換を施し L と H の 2つの帯域に分解する。次に L と H 各々を縦方向に Haar 変換し、LL, LH, HL, HH の 4つの帯域に分解する。冗長 Haar 変換では変換後のサブサンプルは行わない。このため、LL, LH, HL, HH の変換係数は互いに冗長性を持っている。提案方式ではさらに、LH, HL, HH 各々に対して RGB 方向に Haar 変換を施し、各々を 2つ帯域 (=色成分) に分解する。ここでは RGB 3つのうちの 2つを選択しながら Haar 変換を行う。選択方法は (RG), (GB), (BR) 3種類である。

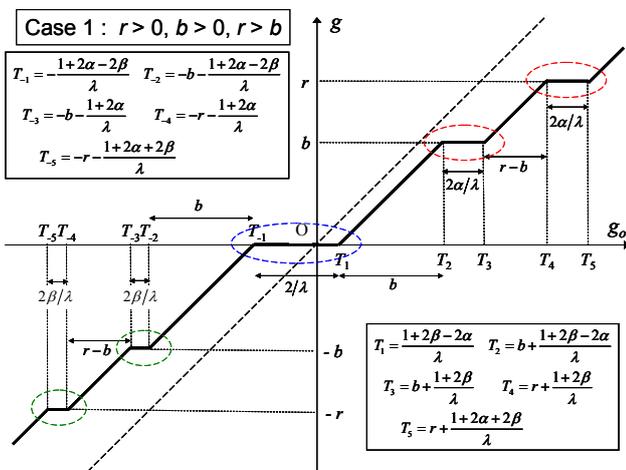


図1 Green のための Color Shrinkage 関数

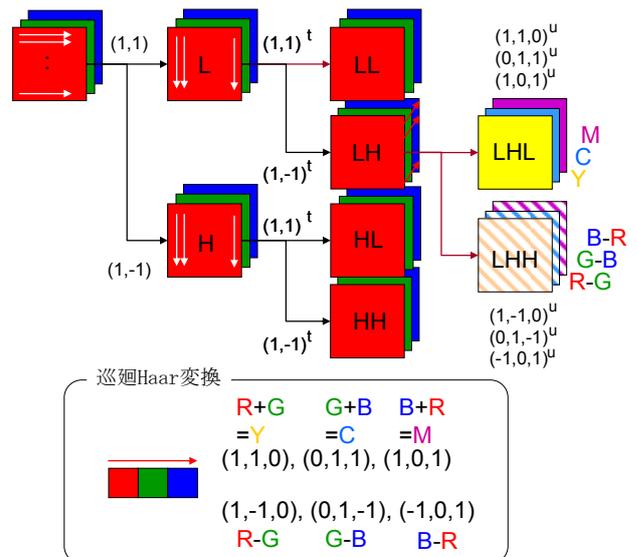


図2 空間方向の Haar 変換と色方向の巡回型 Haar 変換

Haar 変換の基底は(1,1,0), (0,1,1), (1,0,1), (1,-1,0), (0,1,-1), (-1,0,1)の6種類である。前の3つは R+G, G+B, B+R の色和に、後ろ3つは R-G, G-B, B-R の色差に相当する変換係数となっている。本稿ではこの部分の Haar 変換を巡回型 Haar 変換と呼ぶことにする。LL に対しては上記と同様に、横、縦の冗長 Haar 変換を施し、LLLH, LLHL, LLHH の各々に巡回 Haar 変換を施す。LLLL 以降も同様である。上記の説明では煩雑となることを避けるため Haar 基底を(1,1), (1,-1)としたが、実際には $(1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$, $(1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2})$ を用いている。このため、上位の Haar 変換係数は1つ下位の Haar 変換係数に対して振幅で2倍、電力で4倍の値となっている。一方、周波数領域で考えると上位の各帯域は下位の帯域の1/4に相当している。よって Haar 変換係数に含まれる雑音の電力はどの階層でも等しいとみなすことができる。

巡回 Haar 変換された各変換係数に対する Shrinkage 処理としては、Soft Shrinkage または Hard Shrinkage を行う。

4. シミュレーション

Kodak のカラー標準画像に ISO 感度 1600 相当の信号依存性雑音を加えた画像をテスト画像として雑音除去性能の評価を行った。提案方式では Soft Shrinkage または Hard Shrinkage を用いた。Shrinkage のパラメータは色和 R+G, G+B, B+R に対して1つ、色差 R-G, G-B, B-R に対して1つ、最適な値を各々の画像ごとに求めて使用した。比較を行った雑音除去方式は冗長 Haar Wavelet 変換を用いた Color Shrinkage 法である。Color Shrinkage 法では Shrinkage パラメータ α , β , λ の値を画像ごとに1つの最適値に設定するものとした。比較方式と提案法とでは、LH, HL, HH の R, G, B 信号各々を Color Shrinkage するか、巡回 Haar 変換して Soft(または Hard) Shrinkage するかという Shrinkage 処理の部分のみが異なる。いずれの方式も Haar 変換の階層数は5とした。

図3. に24枚の画像と雑音除去画像の PSNR の関係を示した。PSNR は式(1)により求めた。

$$PSNR[dB] = \log_{10} \left(\frac{RMSE}{255} \right) \quad (1)$$

$$RMSE = \left\{ \frac{E[(r_{ori} - r_{rec})^2] + E[(g_{ori} - g_{rec})^2] + E[(b_{ori} - b_{rec})^2]}{3} \right\}^{1/2}$$

赤が Soft Shrinkage を用いた提案法、青が Hard Shrinkage を用いた提案法、緑が既存の Color Shrinkage 法である。なお、雑音を付加したテスト画像の PSNR は 21.0~24.3dB であった。図4~図6に雑音除去画像を示す。図4の PSNR が最も高く、浮輪やロープの色が濃くなっている。

提案法は Shrinkage 部分に Hard Shrinkage または Soft Shrinkage を用いるため、既存の Color Shrinkage 法と比べて演算量が大幅に削減できる。Intel Core 2 の CP を用いたときに 768 画素 512 ラインのカラー画像1枚の処理にかかる時間は、提案法では 0.8 秒、既存の Color Shrinkage 法では 4.9 秒であった。およそ6倍の高速化が実現した。

一方、提案法では、巡回 Haar 変換→Shrinkage→巡回逆 Haar 変換の処理が1画素(RGB 3 信号値)単位で実行できる。1画素ごとに処理結果を RGB の Wavelet 係数配列に書き込むように処理を構成すれば、実際の処理では図2の LHL,

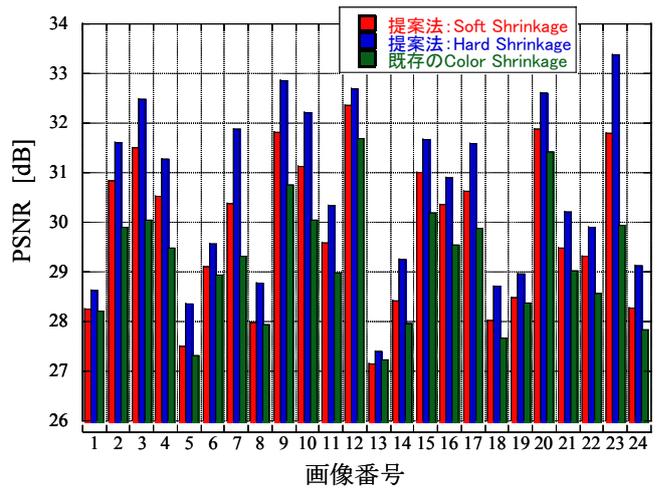


図3 雑音除去画像の PSNR の比較



図4. 提案法 Hard Shrinkage PSNR=29.0dB
 図5. 提案法 Soft Shrinkage PSNR=28.5dB
 図6. Color Shrinkage 法 PSNR=28.4dB

LHH に相当する画像配列を確保する必要はなく、必要なメモリ量は既存の Color Shrinkage 法とおおむね変わらない。

5. むすび

本稿では、Color Shrinkage 法の演算量を削減するため、冗長 Haar 変換により帯域分割された LH, HL, HH の RGB 色座標方向に巡回 Haar 変換を適用し、その変換係数に対して Soft Shrinkage または Hard Shrinkage を行うことで近似的に Color Shrinkage を行う方式を提案した。シミュレーションにより雑音除去性能と演算量の評価を行い、その有効性を確認した。提案法では Hard Shrinkage と Soft Shrinkage とについて比較を行ったが、Hard Shrinkage を用いたほうが実験に用いた全ての画像で高い PSNR を示した。また、Hard Shrinkage を用いると、Soft Shrinkage や Color Shrinkage で見られる色差成分の減少も生じにくいことがわかった。

参考文献

[1] 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, 2008年8月.

† 神奈川大学 Kanagawa University