

ウェーブレット画像分解とハイブリッド型冗長 DCT を用いたカラー画像の雑音除去 Color-image denoising with wavelet image decomposition and Hybrid Redundant-DCT

上田 康隆[†]

Yasutaka Ueda

小松 隆[†]

Takashi Komatsu

齊藤 隆弘[†]

Takahiro Saito

1. はじめに

筆者らは先に、冗長 DCT とシフト不変 Haar ウェーブレット変換を階層的に組み合わせたハイブリッド型冗長 DCT を提案し、これに Hard Color-Shrinkage を適用すると効率的なカラー画像雑音除去が行えることを示した^[1]。しかし、このハイブリッド型冗長 DCT と Hard Color-Shrinkage を用いてカラー画像の雑音除去を行うと、その雑音除去画像には鋭い色エッジ付近に歪が生じるという問題点があった。

この問題点を改善するため、本研究では、まず雑音混入画像を 5 階層のシフト不変 Haar ウェーブレット変換と Hard Color-Shrinkage を用いたウェーブレット画像分解^[2]を行い、鋭い色エッジを含む骨格画像と、振動的な成分を含むテクスチャ画像とに分解する。分解されたテクスチャ画像に対してハイブリッド型冗長 DCT と Hard Color-Shrinkage を適用し、雑音除去を行うことにより、この歪の発生を抑制できることを実験的に明らかにしている。

2. ハイブリッド型冗長 DCT

図 1 に 8×8 の冗長 DCT と 2 階層のシフト不変 Haar ウェーブレット変換を階層的に組み合わせた変換であるハイブリッド型冗長 DCT の概略図を示した。ここで、冗長 DCT とは、画像をブロック分割する位置をずらすことで、ブロックの分割パターンを複数に増やし、各ブロックに対し DCT を適用することである。また、図 1 ではブロック分割する位置をずらす代わりに、画像を周期的拡張しシフトした画像（環状シフト画像）を複数作成し、これらに対し通常の冗長でない DCT を適用することで冗長 DCT を実現している。なお、 8×8 の冗長 DCT は、通常の冗長でない 8×8 の DCT に比べて 64 倍の冗長度を有している。この冗長 DCT を用いて雑音除去を行うと、ブロック分割パターンが 1 つである通常の冗長でない DCT を用いる雑音除去法とは異なり、雑音除去画像のブロック歪みが抑制できる

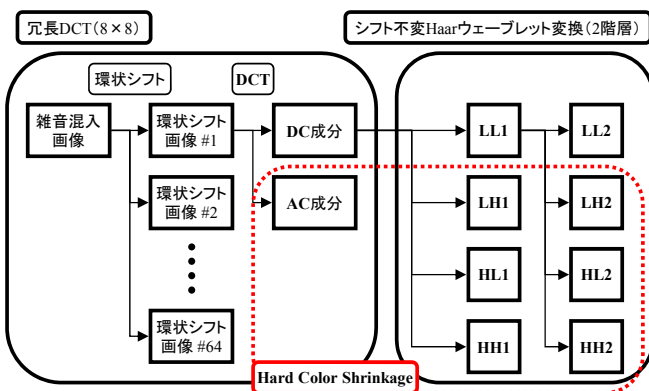


図 1 ハイブリッド型冗長 DCT

とともに、冗長にすることによって雑音除去画像の画質も格段に向上させることができる。

図 1 のハイブリッド型冗長 DCT では、冗長 DCT の DC 成分を画面全体で集めて走査順に書き並べた二次元配列に、さらにシフト不変 Haar ウェーブレット変換 (2 階層) が適用され、赤い点線で囲まれた全ての変換係数に Hard Color-Shrinkage を適用することでカラー画像雑音除去を実現している。また、ハイブリッド型冗長 DCT は、5 階層のシフト不変 Haar ウェーブレット変換の 1, 2, 3 階層目を 8×8 の冗長 DCT で置き換えた変換に相当する。

3. ウェーブレット画像分解とハイブリッド型冗長 DCT を用いたカラー画像の雑音除去

ハイブリッド型冗長 DCT と Hard Color-Shrinkage を用いると優れたカラー画像雑音除去が実現できる。しかし、その雑音除去画像には鋭いエッジ付近に歪が生じるという問題があった。この問題は、DCT はブロック全体に広がっているコサイン波の重ね合わせとして展開する変換であるため、局所的な特徴である鋭いエッジを記述するのに適さない変換であることに起因して生じる。

ここで、雑音混入画像を鋭いエッジを含まない画像に変換することができたら、この鋭いエッジに起因する歪を軽減できることが考えられる。本研究では、雑音混入画像を鋭いエッジを含まない雑音混入画像に変換する方法として、シフト不変 Haar ウェーブレット変換と Hard Color-Shrinkage を用いたウェーブレット画像分解^[2]を採用した。図 2 にウェーブレット画像分解とハイブリッド型冗長 DCT を用いたカラー画像の雑音除去の概略図を示した。

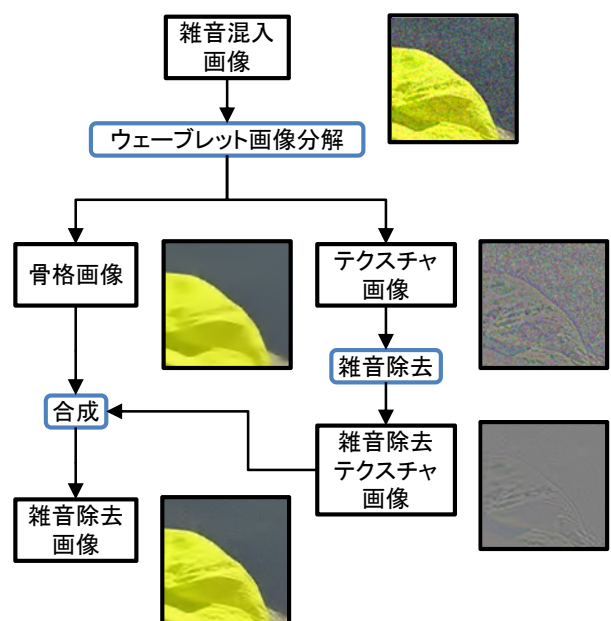


図 2 ウェーブレット画像分解とハイブリッド型冗長 DCT を用いたカラー画像の雑音除去の概略図

[†] 神奈川大学, Kanagawa University

まず、雑音混入画像をウェーブレット画像分解し、鋭いエッジを含む骨格画像と、振動的な成分を含むテクスチャ画像に分解する。なお、雑音はすべてテクスチャ画像に含まれる。このテクスチャ画像に対し、ハイブリッド型冗長 DCT を用いて雑音除去を行う。そして、雑音除去テクスチャ画像と骨格画像を合成することによって雑音除去画像を生成する。上記の処理を行うことにより鋭いエッジに起因する歪を抑制できると考えられる。

4. Hard Color-Shrinkage

入力カラー画像の3原色の変換係数をまとめた3次元カラーベクトルを $\mathbf{p}_o=(r_o, g_o, b_o)^T$ とし、出力カラーベクトルを $\mathbf{p}=(r, g, b)^T$ とすると、Hard Color-Shrinkage は、 \mathbf{p} に関する次式のエネルギー関数 $E(\mathbf{p})$ を最小化する問題の解として得られる^[3]。

$$E(\mathbf{p}) = |r|^0 + |g|^0 + |b|^0 + \alpha|r-g|^0 + \beta|r+g|^0 \\ + \alpha|b-g|^0 + \beta|b+g|^0 + \alpha|r-b|^0 + \beta|r+b|^0 \\ + \lambda_r(r-r_o)^2/2 + \lambda_g(g-g_o)^2/2 + \lambda_b(b-b_o)^2/2 \\ (\alpha \geq 0, \beta \geq 0, \lambda_r > 0, \lambda_g > 0, \lambda_b > 0) \quad (1)$$

なお、式(1)の最適化問題の可能解（最適解の候補）は24個存在する。 $E(\mathbf{p})$ を最小とする最適解 \mathbf{p}^* として、24個の可能解の中から最小の $E(\mathbf{p})$ を与える一つの可能解が選択され、出力される。

5. 実験結果

Kodakの標準カラー画像に標準偏差20のガウス性雑音を加え、雑音付加カラー画像を作成した。図3, 7, 11に原カラー画像、図4, 8, 12に雑音付加カラー画像、図5, 9, 13にハイブリッド型冗長 DCT による雑音除去カラー画像（従来法）、図6, 10, 14にウェーブレット画像分解とハイブリッド型冗長 DCT を用いた方法による雑音除去画像（本手法）の一部分を切り出したものを示した。図5, 6, 9, 10, 13, 14を比較すると、ハイブリッド型冗長 DCT のみを用いた従来法よりも、ウェーブレット画像分解とハイブリッド型冗長 DCT を用いた方法である本手法の方が、鋭いエッジに沿うように発生する歪が軽減されていることがわかる。

6. むすび

雑音混入画像を、ウェーブレット画像分解により、鋭いエッジを含む骨格画像と振動的な成分を含むテクスチャ画像に分解し、鋭いエッジを含まない雑音混入画像、すなわちテクスチャ画像に変換し、これにハイブリッド型冗長 DCT を適用することによって、鋭いエッジ付近に生ずる歪を軽減することができた。

参考文献

- [1] 上田康隆, 小松隆, 齊藤隆弘, “冗長 DCT とシフト不変 Haar ウェーブレット変換を用いたハイブリッド画像雑音除去法,” 2010年映像情報メディア学会年次大会, 7-3, 2010年9月。
- [2] 坂東優介, 小松隆, 齊藤隆弘, “Hard Color-Shrinkage を用いた非線形カラー画像分解,” 2010年電子情報通信学会総合大会, D-11-69, 2010年3月。
- [3] 齊藤隆弘, 上田康隆, 藤井信宏, 小松隆, “カラー画像疎表現のための Hard Color-Shrinkage と雑音除去への応用,” 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J93-D, no. 9, pp. 1685-1689, Oct. 2010.



図3 原カラー画像#18



図4 雑音付加カラー画像

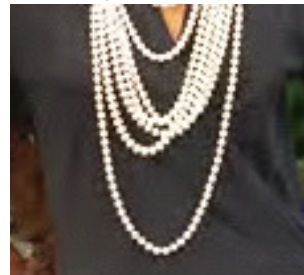


図5 従来法

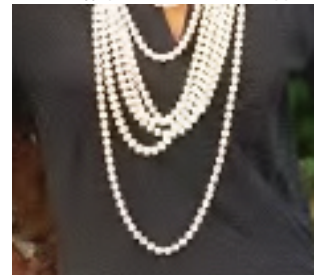


図6 本手法

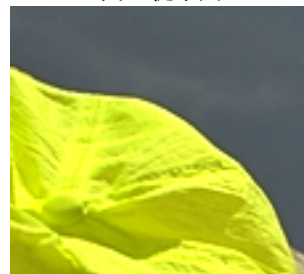


図7 原カラー画像#3

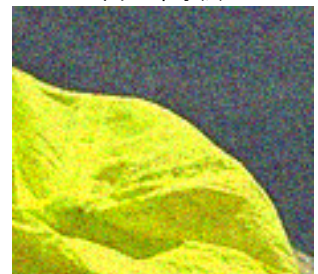


図8 雑音付加カラー画像

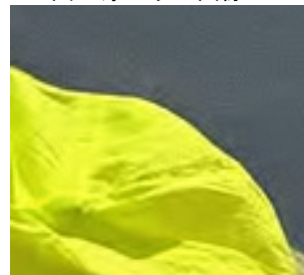


図9 従来法

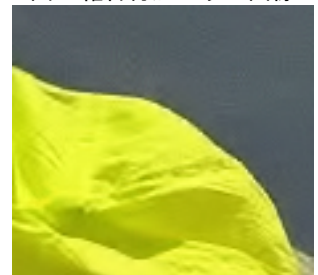


図10 本手法

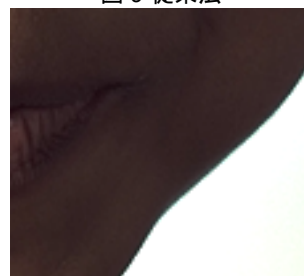


図11 原カラー画像#15



図12 雑音付加カラー画像

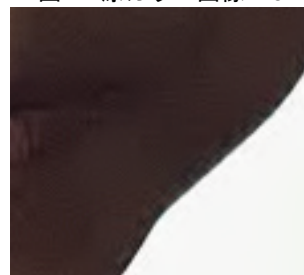


図13 従来法

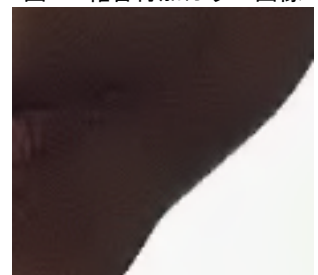


図14 本手法