

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500217

研究課題名(和文) 高品質・高機能イメージングのためのカラー画像疎表現理論に基づく新画像復元法の開発

研究課題名(英文) Development of new image restoration method based on color image sparse representation theory for high quality and high performance imaging

研究代表者

齋藤 隆弘 (SAITO, Takahiro)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：10150749

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者らがこれまでに開発した「各種のハイブリッドフレーム」と「各種のColor Shrinkage法」とを組み合わせることで、以下に述べる各研究課題に取り組んだ。1. まず、研究代表者らがこれまで開発してきた画像復元法と同一の数学的枠組みで定式化し、最適構成した。2. カメラ内処理によって生じる各種の妨害を個別に取り扱うのではなく、一括して取り扱って除去する画像復元課題を最適構成した。3. 暗闇での撮影によって得られた劣化観測データから高画質のカラー画像を復元する問題を、光電変換によって発生した光電子の計数過程のポアソン分布を用いたカラー画像疎表現問題として定式化し最適構成した。

研究成果の概要(英文)：The research representatives previously have developed "Various hybrid frame methods" and "Various Color Shrinkage methods" for the image restoration. In this research, based on a current result, we worked on the research topics described as follows. 1. The image restoration method that we had developed up to now was formulated with a mathematical frame. Moreover, we developed the technique for achieving the optimum construction. 2. We developed the best composition technique to remove various obstructions caused by processing in the camera collectively. 3. The problem of restoring the color image of the high-resolution from the deterioration observation data that had been obtained by taking a picture by the dark was formulated as a color image sparse representation problem. Moreover, we did a basic examination of the best composition method.

研究分野：総合領域

キーワード：画像復元 雑音除去 疎表現 冗長変換 Color-Shrinkage

1. 研究開始当初の背景

(1) イメージングデバイスの多画素化・高感度化・広ダイナミックレンジ化・高フレームレート化などが急速に実現されてきたが、カメラ内では、計算量やハードウェア量の制約から簡易な処理に限定せざるを得ず、イメージングデバイス技術の進展に見合った画像品質向上が必ずしも得られていない。

(2) 画像品質の飛躍的な向上のためには、カメラ外部において、統一的な数理的枠組みに基づくより高度な画像復元技術によって、カメラ内処理で生じた各種の画像妨害を統合的かつ選択的に取り除く技術が必要である。

2. 研究の目的

研究代表者らは、ここ数年間、“カラー自然画像固有の性質を考慮したカラー画像疎表現とこれに基づく実用的なカラー画像復元”に関して基礎的研究を系統的に行い、

冗長離散コサイン変換 (Redundant DCT) 及びこれとシフト不変ウェーブレット変換とのハイブリッドフレームや、ハイブリッド型グループレットフレームなどのカラー画像復元に適した新しいハイブリッドフレームの有用性の実証、三原色信号間の相互依存性を考慮した新しいベクトル的な Shrinkage 法である各種の “Color-Shrinkage 法” の開発、を行なった。また、これらを用いて劣化カラー画像から復元カラー画像の疎表現を求めることで、カラー画像雑音除去などの基本的な画像復元を効果的に実現でき、かつ世界最高水準の性能が達成されることを実証してきた。

本研究課題では、これらの研究成果に基づき、高品質・高機能イメージングの最終的なカラー画像品質を飛躍的に向上させるため、以下に列挙した「新たな実用的な画像復元技術」の開発を目的とした。

- (1) ショット雑音に汚された観測信号に、デモザイキングや色・諧調変換や画像圧縮符号化などの標準的カメラ内処理が適用された後に出力された「複雑な妨害を含んだカラー画像」から、これらのカメラ内処理に関する情報を前提として、より高品質なカラー画像を復元する技術を開発する。
- (2) 暗闇におけるカラーイメージングでは、観測信号の統計的性質の離散性(ポアソン分布としての性質など)を無視し得ないが、この場合にも適用可能な高画質化のためのカラー画像復元技術を開発する。

3. 研究の方法

研究代表者らがこれまでに開発した「各種のハイブリッドフレーム」と「各種の Color Shrinkage 法」とを組み合わせることで、以

下に述べる各研究課題に取り組んだ。

- (1) 本研究では、まず、研究代表者らがこれまで開発してきた画像復元法と同一の数学的枠組みで定式化し、最適構成する。
- (2) カメラ内処理によって生じる各種の妨害を個別に取り扱うのではなく、一括して取り扱って除去する画像復元課題を最適構成する。
- (3) 暗闇での撮影によって得られた劣化観測データから高画質のカラー画像を復元する問題を、光電変換によって発生した光電子の計数過程の離散的確率分布(ポアソン分布)を用いたカラー画像疎表現問題として定式化し最適構成する。

4. 研究成果

(1) 画像復元法の数学的定式化と最適構成
研究代表者らが先に提案した Hard Color Shrinkage に、雑音に汚された観測信号からの統計モデル推定に基づくパラメータ適応制御を導入することで、これを用いたウェーブレット雑音除去法の雑音除去能力が向上することを実験的に明らかにした(発表論文)。

劣化信号の混合ガウス分布モデルに基づき、劣化信号から真の信号を推定する問題の解として空間適応的 Shrinkage を構成し、これを Wavelet 雑音除去に適用すると、選択的に雑音が除去され、従来法よりも視覚的に自然なテクスチャが復元されることを示した(発表論文)。

カラー全変動セミノルムとカラー-Besov セミノルムを混合したセミノルムを用いたカラー画像雑音除去法を構成し、これにより staircase effect や wavelet outlier といったアーチファクトの発生が抑制されることを明らかにした(発表論文)。

全変動(TV)正則化手法特有の処理みだらである staircase effect の軽減を目的とし、マルチスケール型のこう配作用素と発散作用素の新定義を導入し、これを用いた新たなカラーTV雑音除去法を構成し、その効果を実験的に明らかにした(発表論文)。

空間適応型カラー全変動セミノルムとカラー-Besov セミノルムを混合したカラーセミノルムを正則化セミノルムとして用いたカラー画像雑音除去法を構成し、これにより各セミノルムに由来したアーティファクトの発生を抑制しつつ、画像テクスチャをより鮮明に復元できることを明らかにした(発表論文)。

冗長 DCT を用いた雑音除去では、DCT 係数間に相互相関がある。この相関を利用すると、雑音除去性能を改善することができる。発表論文では、順次型冗長 DCT を用いることで演算量を増加させることなく、雑音除去性能を改善できることを示した。

(2) カメラ内処理で生じる妨害を除去する
画像復元法の構成

デジタルカメラでは種々な制約により簡易なデモザイク法が用いられている。JPEG 圧縮後に記録された画像中には圧縮ひずみとともにデモザイクに伴うひずみが加わっている。発表論文において、デジタルカメラ用のデモザイクひずみを考慮した新たな JPEG 復元法を提案した。この復元法のブロック図を図 1 示す。

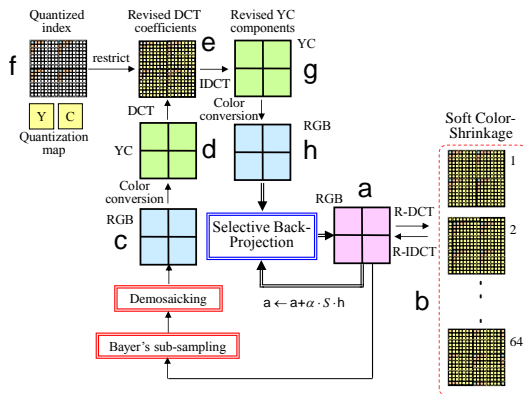


図 1 デジタルカメラ用 JPEG 復元法のブロック図

(3) 低照度観測データからの画像復元

ポアソンランダム画像の最高水準の復元法である PIDAL-FA 法に分散安定化変換と色間相関を考慮したカラー-Besov セミノルムを導入した方式を構成し、その有効性を実験的に明らかにした(発表論文)。

入光量が極めて少ない環境下で撮影された画像にはポアソン分布に従う信号依存性の雑音が重畳される。時空間的に隣接する画素に対してピクセルビンニング処理の後、分散安定化変換を行ない、冗長 3 次元離散コサイン変換と Hard color shrinkage を用いて雑音除去を行い、最後に分散安定化逆変換を行って超低照度ポアソンランダム動画画像を復元する方法を開発した(学会発表)。復元法概念図を図 2 に、復元結果を図 3 に示す。

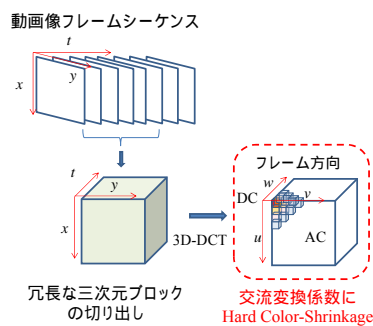


図 2 低照度観測データからの画像復元法



図 3 低照度画像(左)と復元画像(右)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

鹿野貴文, 小松隆, 齊藤隆弘, 距離データを用いた屋外景観画像のぼけ復元, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J97-D, No.9, 2014, 1459-1462.

http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

小松隆, 齊藤隆弘, 順次型冗長 DCT と Soft Color-Shrinkage を用いたカラー画像雑音除去法, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J96-D, No.9, 2013, 1981-1984.

http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

菅沼敏樹, 小松隆, 齊藤隆弘, 空間適応型混合カラーセミノルムを用いたカラー画像雑音除去, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J96-D, No.9, 2013, 1985-1988.

http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

小針 力, 小松 隆, 齊藤隆弘, 混合ガウス分布モデルに基づく適応的 Shrinkage を用いたカラー画像雑音除去, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J96-D, No.9, 2013, 1989-1992.

http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

小林良多, 小松 隆, 齊藤隆弘, 統計モデルに基づくポアソンランダム画像の復元, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J96-D, No.9, 2013, 1983-1997.

http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

高垣陽介, 菅沼敏樹, 小松 隆, 齊藤隆弘, マルチスケール型の勾配・発散作用素を用いたカラー全変動画像雑音除去, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J95-D, No.9, 2012, 1711-1715.

http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

小針 力, 小松 隆, 齊藤隆弘, Hard Color Shrinkage の統計的パラメータ適応制御とその画像雑音除去への応用, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J95-D, No.9, 2012, 1707-1710.

http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

菅沼敏樹, 高垣陽介, 小松 隆, 齊藤隆弘, カラー全変動セミノルムとカラーベゾフセミノルムを混合して用いたカラー画像雑音除去, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J95-D, No.9, 2012, 1703-1706. http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

小松 隆, 上田康隆, 齊藤隆弘, デジタルカラーカメラ用の JPEG 復元法の提案, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J95-D, No.9, 2012, 1690-1693. http://www.ieice.org/jpn/trans_online/

[学会発表](計14件)

近藤崇吾, 小松隆, 齊藤隆弘, ポアソン-ガウシアン動画像復元のための静動判定, 電子情報通信学会総合大会, D-11-51, 2015年3月13日, 立命館大学・びわこくさつキャンパス (滋賀県・草津市)

近藤崇吾, 小松隆, 齊藤隆弘, 低照度ポアソンランダム動画像復元法の検討, 画像符号化・映像メディア処理シンポジウム, I-3-11, 2014年11月14日, ラフォーレ修善寺 (静岡県・伊豆市)

小松隆, 近藤崇吾, 齊藤隆弘, 低照度ポアソンランダム画像の分散安定化に関する検討, I-3-10, 2014年11月14日, ラフォーレ修善寺 (静岡県・伊豆市)

近藤崇吾, 小松隆, 齊藤隆弘, 3次元冗長DCTを用いたポアソンランダム動画像の復元, 映像情報メディア学会年次大会, 18-8, 2014年9月2日, 大阪大学・吹田キャンパス (大阪府・吹田市)

小松隆, 近藤崇吾, 齊藤隆弘, 冗長DCTを用いた雑音除去の演算量削減法, 映像情報メディア学会年次大会, 18-8, 2014年9月2日, 大阪大学・吹田キャンパス (大阪府・吹田市)

近藤崇吾, 小松隆, 齊藤隆弘, 冗長3次元DCTを用いた動画像雑音除去法の検討, 電子情報通信学会総合大会, D-11-53, 2014年3月20日, 新潟大学・五十嵐キャンパス (新潟県・新潟市)

小松 隆, 齊藤隆弘, 冗長 Haar 変換を順次構成として用いたカラー画像雑音除去法, 画像符号化・映像メディア処理シンポジウム, I-2-06, 2013年11月7日, ニューウェルシティ湯河原 (静岡県・熱海市)

小松 隆, 齊藤隆弘, 順次型構成の冗長 Haar 変換を用いた雑音除去法の検討, 電

子情報通信学会ソサイエティ大会 A-4-7, 2013年9月18日, 福岡工業大学 (福岡県・福岡市)

小松 隆, 齊藤隆弘, 冗長DCTを用いた雑音除去法の性能改善, 映像情報メディア学会年次大会, 17-9, 2013年8月30日, 工学院大学 (東京都・新宿区)

小松 隆, 齊藤隆弘, 順次型冗長DCTを用いた超解像デモザイク法の一検討, 電子情報通信学会 2013年総合大会, D-11-72, 2013年3月22日, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市)

小針 力, 小松 隆, 齊藤隆弘, 空間適応的色変換を用いたカラー画像雑音除去, 電子情報通信学会 2013年総合大会, D-11-73, 2013年3月22日, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市)

菅沼敏樹, 小松 隆, 齊藤隆弘, 空間適応型カラーTV セミノルムを用いたカラー画像雑音除去, 電子情報通信学会 2013年総合大会, D-11-74, 2013年3月22日, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市)

小林良多, 小松 隆, 齊藤隆弘, 統計モデルに基づくポアソンランダム画像の復元法, 映像メディア処理シンポジウム, I-1-02, 2012年10月25日, ニューウェルシティ湯河原 (静岡県・熱海市)

小松 隆, 齊藤隆弘, 順次処理による冗長DCTを用いた雑音除去法の性能改善, 映像メディア処理シンポジウム, I-2-12, 2012年10月25日, ニューウェルシティ湯河原 (静岡県・熱海市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤 隆弘 (SAITO, Takahiro)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号: 10150749

(2) 研究分担者

小松 隆 (KOMATSU, Takashi)
神奈川大学・工学部・助手
研究者番号: 80241115