

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500182

研究課題名(和文) 高品質・高機能イメージングのための構造的非線形
画像分解型の新画像処理と画質制御研究課題名(英文) A New Structural Non-linear Image Decomposition Type
Image processing and its Quality Control for High-Quality
and High-Performance Imaging.

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

研究成果の概要(和文)：デジタルカメラで撮影された画像データは、デジタル化に伴う周波数折り返しひずみの影響や、画像の暗い部分に多く生じる信号依存性雑音、ベイヤーモザイク画像からの補間復元する際のひずみ、など種々な劣化を伴っている。雑音を含み、不完全な観測画像データから、観測により失われた高品質なカラー画像データを復元する手法は、デジタルカラーカメラで不可欠の技術である。本研究では上記の問題点解決のため、新たな画像処理手法を考案し、その有効性を評価した。

研究成果の概要(英文)：Color data observed with a digital color camera undergo spatial degradations caused by an optical low-pass filter (anti-alias filter), point degradations due to signal-dependent shot noise in its photoelectric conversion, color-mosaicking with the Bayer's primary color filter array, and so on. The restoration of lost information from the observed noisy blurry color data will make it possible to produce a high-quality color image, and thus the image restoration is a key problem in image-processing of a digital color camera. This research deals with how to restore a high-quality color image from the incompletely observed image data. We devised various image processing techniques, and evaluated its performance by computer simulations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボテックス

キーワード：画像情報処理

1. 研究開始当初の背景

イメージングデバイス技術の進展によって、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が実現されてきた。

多画素化に伴い、受光素子面積が縮小され、光電変換に伴うノイズの影響が無視できない水準に達している。また、ISO6400以上の高感度のイメージングや人間の視覚特性に匹敵する広ダイナミックレンジ化や秒600コ

マ以上の高フレームレート化も民生技術として実現されつつある。これらの高機能イメージングでは、観測時に重畳する各種の歪やノイズは、信号依存性や空間的パターンなどの複雑な性質を示す。また、イメージングデバイス製造時に種々の欠陥や斑が生じ、これらが最終的な画像品質に大きな影響を及ぼす。さらに、観測信号はそのまま画像として出力されるわけではなく、観測信号に欠陥補正・シェーディング補正・歪補正・ノイズ除去・カラー補間・階調変換・ホワイトバランス・色補正・鮮鋭化などの処理を適用して画像を復元するため、観測信号に混入した欠陥・斑・ノイズが、最終的に復元画像品質に及ぼす妨害は複雑なものとなる。よって、最新の研究成果を取り入れた、従来の方法とは異なるより高機能な「画像パイプライン」の必要性が高まっている。

2. 研究の目的

各種の高機能イメージングを対象とし、研究代表者らが開発中である新しい信号・画像処理パラダイムである「構造的非線形画像分解表現」のコンセプトに基づき、各種の高機能イメージングの観測劣化信号から画像出力を生成する「画像処理パイプライン」を、既存の「画像処理パイプライン」とは異なる新規な構成へと組み替えることで、観測信号に含まれている欠陥・斑・歪・ノイズなどの妨害因子を除去しながら高品質の出力画像を復元する「画像処理パイプライン」を最適化する手法を開発する。各種の高機能イメージングの観測劣化信号から欠陥・斑・歪・ノイズなどの妨害因子を分離識別し、イメージングシステムの性能を信号レベルで精確に評価する手法を開発すると共に、これらの妨害因子をモデル化し、このモデルを「画像処理パイプライン」の最適化に利用する。

3. 研究の方法

(1) 「非線形構造的信号／画像分析法の高度化」乗算型 BV-G-L2 構造的な非線形画像分解表現や BV-L1-L2 構造的な非線形画像分解表現をカラーチャンネル間の相互相関を考慮した画像分解表現が可能となるように高度化し、高機能イメージングの観測劣化信号から画像を復元する処理や出力画像の分析に特化した構造的な非線形画像分解表現法を構成する。

(2) 「歪・ノイズのモデルに基づく画像処理パイプラインの最適設計」撮像画像に対する復元手順は3段階に分割できる。カラー補間処理、雑音除去処理、ボケ復元処理の3つである。本研究ではこの処理過程に沿って、高

ISO 感度撮像された(多くの雑音を含む)画像の復元法を検討する。

(3) 「冗長 Wavelet 変換と Color Shrinkage を用いた雑音除去法の開発」冗長 Wavelet 変換領域で画像信号の色間相関を有効に活用した各種雑音除去法の開発を行う。Hard Color-Shrinkage 法、冗長色変換を用いた Color Shrinkage 法などである。

(4) 「JPEG 圧縮画像の復元法の開発」JPEG 圧縮を雑音付加作用素と考え、冗長 Cosine 変換領域での Shrinkage 処理と JPEG 圧縮一復元過程を組み入れた Back-Projection 法とにより構成される反復型画像復元法を開発する。

(5) 「冗長 DCT と Color Shrinkage を用いた画像復元型デモザイキング法の開発」光学ローパスフィルタ(OLPF)を用いたカラー撮像を想定し、OLPFによるぼけの復元機能を具備した超解像デモザイキング法を開発を行う。

4. 研究成果

(1) 「非線形構造的信号／画像分析法の高度化」BV-G 非線形画像分解モデルをカラー画像に適用する直接的な手法は、各 RGB 原色信号に BV-G 分解モデルを適用するものである。しかし、この手法で雑音に汚されたカラー画像を分解すると、BV 成分に低周波数の色付き雑音が残存し、望ましい結果が得られない。この妨害を抑制するため、BV-G 分解モデルを拡張し、色間の相互相関を活用した非線形画像分解法を考案した。具体的には色差と色の TV ノルムを BV-G 非線形画像分解モデルに導入し、Wavelet 変換領域で近似的に求解することで色付き雑音の影響を受けなくなること示した。この成果を雑誌論文⑦として発表した。

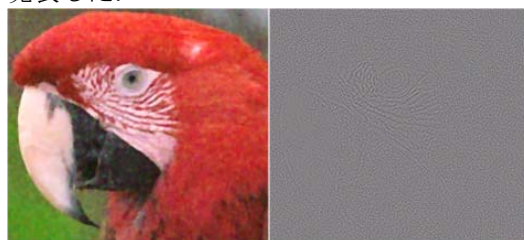


図1 従来の BV-G 非線形画像分解法によって分離した BV 成分(左)と G 成分(右)

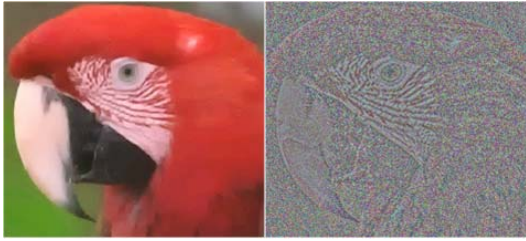


図2 本提案法によって分離した BV 成分 (左) と G 成分 (右)

(2) 「歪・ノイズのモデルに基づく画像処理パイプラインの最適設計」 R. H. Chan らにより冗長 Haar-Wavelet 変換領域で画像復元を行う手法が提案された。この手法はデジタルカラーカメラ内での画像復元に適した手法である。しかしながら、この手法を多くの雑音を含む撮像画像に対して適用すると、雑音由来のアーチファクトが発生する。撮像画像に対する復元手順は3段階に分割できる。カラー補間処理、雑音除去処理、ボケ復元処理の3つである。本研究ではこの処理過程に沿って、高 ISO 感度撮像された(多くの雑音を含む)画像の復元法を検討した。その結果、カラー補間処理には雑音に対して頑健な線形補間法が適していること。次に、雑音除去法としては冗長 Wavelet 変換と Color Shrinkage を用いた雑音除去法が有効であること。最後に R. H. Chan らの冗長 Haar-Wavelet 変換領域で画像復元に改良を加えた画像復元法を適用することが有効であることを示した。この成果を雑誌論文⑧および学会発表⑤⑨として発表した。

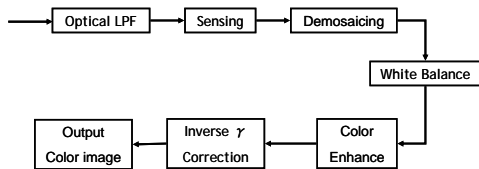


図3 標準的な画像処理パイプライン構成

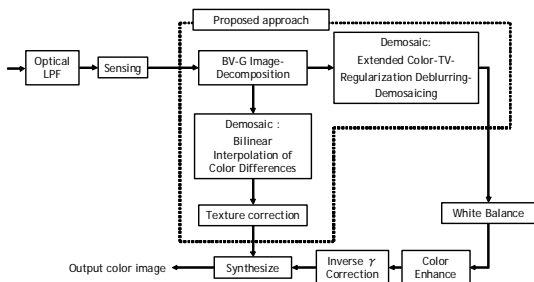


図4 新しい画像処理パイプライン構成



図5 標準的な画像処理パイプラインで生成したカラー画像



図6 提案する画像処理パイプラインで生成したカラー画像

(3) 「冗長 Wavelet 変換と Color Shrinkage を用いた雑音除去法の開発」 冗長 Wavelet 変換領域で画像信号の色間相関を有効に活用した各種雑音除去法の開発を行った。Hard Shrinkage 法を、RGB の色間相互相関を考慮した手法へと拡張し、カラー画像疎表現を得るための基本ツールとして Hard Color-Shrinkage 法を考案した。従来の Shrinkage 法と比較し、変換領域におけるカラー雑音除去の性能が向上することを実験的に明らかにした。また、rgb 各色成分に対して冗長色変換を施し、各変換要素に Soft-Shrinkage や Hard-Shrinkage を施すことで、近似的に Color-Shrinkage を実現する手法を提案し、その有効性を示した。これらの成果を雑誌論文④⑥として発表した。

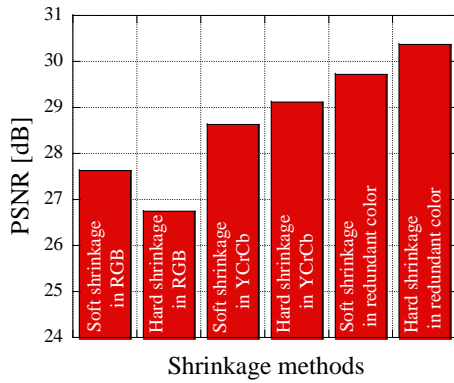


図7 様々な Shrinkage 法の雑音除去性能比較

(4) 「JPEG 圧縮画像の復元法の開発」 低符号化レートで JPEG 符号/復号された画像では、ブロックノイズ、モスキートノイズ、色ムラなどを生じる。本研究では冗長 DCT と Shrinkage とを用いてこれらの符号化歪を抑圧するための新しい JPEG 復元法を提案した。JPEG 圧縮を雑音付加作用素と考え、冗長 Cosine 変換領域での Shrinkage 処理と JPEG 圧縮 - 復元過程を組み入れた Back-projection 法とにより構成される反復型画像復元法を開発した。シミュレーションの結果、提案法により、通常の JPEG 復号法よりも PSNR が改善され、ブロックノイズが目立たない復元画像が得られることが確認された。この成果を学会発表④で発表した。

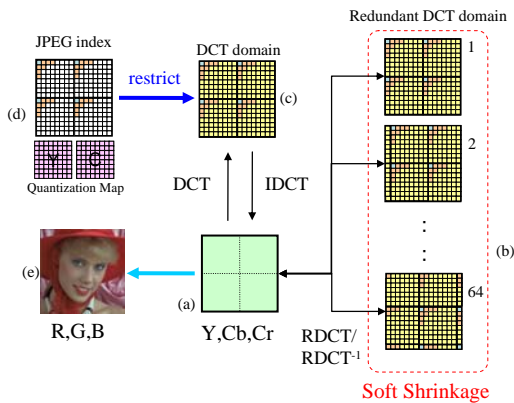


図8 JPEG 復元法のブロック図



図9 通常の JPEG 復号法 (左) と提案する JPEG 復元法 (右)

(5) [冗長 DCT と Color Shrinkage を用いた画像復元型デモザイキング法の開発] これまで Bayer 色フィルタ配列 (Bayer CFA) を用いたカラー撮像のためのデモザイキング法が多数考案されてきた。これらのデモザイキング法の性能評価は、フィルムスキャンされた RGB カラー画像データを Bayer CFA でサブ標本化し、これをテストモザイク画像として用いて行われてきた。また、RGB 画像を真値とし、デモザイキングにより復元された画像の PSNR が求められ、客観評価指標として用いられてきた。この評価法は、カメラ付き携帯電話等の光学ローパスフィルタ (OLPF) を用いないカラー撮像のためのデモザイキング法の性能評価に該当している。一方、1 眼レフデジタルカメラ等ではアンチエイリアシングのために OLPF が用いられており、OLPF により観測画素にも画像ぼけが生じている。このため、デモザイキング法には補間機能と共にぼけ復元機能が必要とされる。本研究では、冗長 DCT を用い、より高性能な超解像デモザイキング可能な手法を提案した。また、OLPF を考慮した模擬撮像データに本提案法を適用することで、OLPF を考慮しない模擬撮像データに既存の最高水準のデモザイキング法を適用するよりも、画像ひずみがより目立たないカラー画像が復元されることを示した。光学ローパスフィルタ (OLPF) を用いたカラー撮像を想定し、OLPF によるぼけの復元機能を具備した超解像デモザイキング法の開発を行った。OLPF の使用を前提としない既存のデモザイキング法と比較し、ひずみが目立たない画像を復元する手法を開発した。この成果を雑誌論文②として発表した。

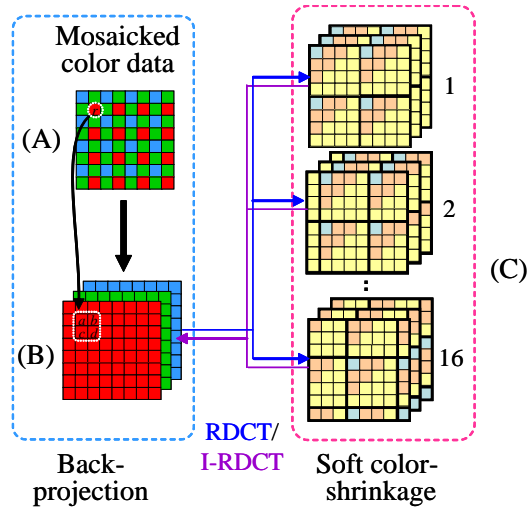


図10 冗長 DCT と Color-Shrinkage を用いた超解像デモザイキング法のブロック図

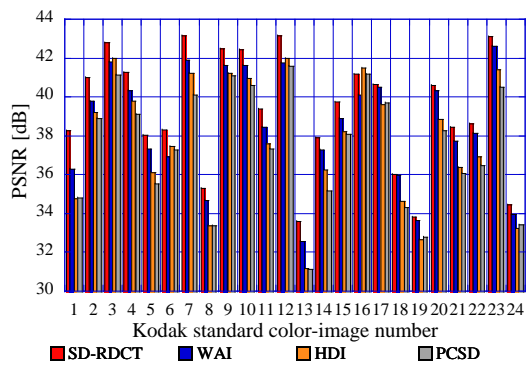


図 1.1 各種デモザイク法の性能比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① 石川健一, 小松隆, 齊藤隆弘, 擬ぼけ仮説に基づくカラー画像の疎表現超解像度拡大, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, J94-D, No.12, 2011, pp.1952-1955.
- ② 小松隆, 上田康隆, 齊藤隆弘, 冗長DCTを用いた超解像デモザイキング, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, J94-D, No.12, 2011, pp.1956-1960.
- ③ 齊藤隆弘, 高垣陽介, 小松隆, カラー全変動セミノルムの新定義とカラー画像雑音除去への応用, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, J94-D, No.12, 2011, pp.1966-1970.
- ④ 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, 査読有, Vol.J93-D, No.9, 2010, pp.1685-1689.
- ⑤ 小松隆, 齊藤隆弘, 冗長Haarウェーブレット変換とColor Shrinkageを用いたシャープニングデモザイキング, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, Vol.J93-D, No.9, 2010, pp.1690-1692.
- ⑥ 小松隆, 上田康隆, 齊藤隆弘, 冗長色変換を用いたColor Shrinkage法, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, Vol.J93-D, No.9, 2010, pp.1693-1696.
- ⑦ 齊藤隆弘, 相澤陽哉, 小松隆, 色間相関を考慮した非線形画像分解法, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, J92-D, No.10, 2009, pp.1733-1736.
- ⑧ 山田大介, 小松隆, 齊藤隆弘, 非線形画像分解に基づくデジタルカラーカメラ用画像処理パイプライン, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, J92-D, No.10, 2009, pp.1750-1753.
- ⑨ 小松隆, 齊藤隆弘, 多重解像度離散化を用いたBV-G分解法, 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, J92-D, No.10, 2009, pp.1729-1732.

[学会発表] (計 9 件)

- ① T. Saito, Y. Takagaki, T. Komatsu, Three kinds of color total-variation semi-norms and its application to color-image denoising, Proc. of 2011 IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP 2011), 2011年9月13日, Square Brussels Meeting Center, ブリュッセル, ベルギー.
- ② T. Saito, K. Ishikawa, T. Komatsu, Super-Resolution interpolation with a quasi blur-hypothesis, Proc. of 2011 IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP 2011), 2011年9月12日, Square Brussels Meeting Center, ブリュッセル, ベルギー.
- ③ 上田康隆, 小松隆, 齊藤隆弘, 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, 第10回情報科学技術フォーラム(FIT2011), 2011年9月9日, 函館大学・函館短期大学, 北海道.
- ④ T. Komatsu, Y. Ueda, T. Saito, Super-Resolution Decoding of JPEG-Compressed Image Data with the Shrinkage in the Redundant DCT Domain, 28th Picture Coding Symposium, 2010年12月8日, 愛知県産業労働センター, 名古屋.
- ⑤ T. Saito, D. Yamada, T. Komatsu, Restoration of high ISO-sensitivity color images, 2010 International Conference on Image Processing, WA.PB.8a,1232, 2010年9月29日, The Hong Kong Convention and Exhibition Center, Hong Kong.
- ⑥ T. Saito, Y. Ueda, T. Komatsu, Color shrinkage for sparse coding of color images, EUSIPCO2010, L-IVP-3, 2010年8月26日, Congress and Culture Centre in the city of Aalborg, Denmark.
- ⑦ T. Komatsu, T. Saito, Universal sharpening-demosaicing for various types of color-filter array, EUSIPCO2010, TP-IVP-5, 2010年8月24日, Congress and Culture Centre in the city of Aalborg, Denmark.
- ⑧ T. Komatsu, T. Saito, Sharpening-demosaicing with the shift-invariant Haar wavelet transform, Proc. of 2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2009), 2009年12月8日, 金沢エクセルホテル東急, 石川県金沢市.
- ⑨ T. Saito, D. Yamada, T. Komatsu, Digital Camera IP-Pipeline on BV-G Color-Image Decomposition, Proc. of 2009 IEEE Int. Conf. on Image Processing, 2009年9月10日, Grand Hyatt Cairo, Cairo, Egypt.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 画像処理装置, 画像処理方法, 画像処

理プログラム, および電子機器
発明者: 新垣英哉, 齊藤隆弘, 小松 隆
権利者: 同上
種類: 特許出願,
番号: 2009-190207
出願年月日: 2009年8月19日
国内外の別: 国内

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