

平成30年4月24日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K20899

研究課題名（和文）圧縮センシングによる低コストマルチスペクトルイメージングシステムの研究

研究課題名（英文）Low-cost multispectral imaging system based on compressive sensing

研究代表者

篠田 一馬（Shinoda, Kazuma）

宇都宮大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：50639200

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、単一ショット撮影によるマルチスペクトル画像撮影の品質向上のため、フィルタアレイおよび色補間アルゴリズムを圧縮センシングに基づき同時最適化する手法を検討した。撮影過程を線形モデルで表現し、その逆問題をL1ノルム最小化問題に帰着することで、フィルタアレイの配置と感度を設計し、病理画像において画像復元手法の有効性を検証した。結果、従来手法と比較して、提案法は復元誤差を最大4倍程度まで削減することが確認された。

研究成果の概要（英文）：This study proposed an optimization method for both multispectral filter array design and demosaicking based on compressive sensing. The demosaicking results in the inverse problem of a formulated proposed capturing system. We verified the proposed filter array design and demosaicking method by using a pathological image. As a result, the proposed method reduced the error of the demosaicked image to one fourth compared to the conventional method.

研究分野：画像工学

キーワード：マルチスペクトル フィルタアレイ デモザイク 圧縮センシング

1. 研究開始当初の背景

現行の画像データはそのほとんどが RGB の三色の混合を前提にしたデータであり、本来は無限にあるはずの色のスペクトルから RGB の三つのスペクトル情報にデータを削減している。遠隔医療などの忠実な色再現を必要とする分野では、RGB よりさらに多くの色を取り扱うマルチスペクトル画像の利用が検討されているが、光学系が複雑で撮影に時間もかかるため実用化はリモートセンシングなどの分野に限られている。近年では圧縮センシングを応用した撮影系も検討されているが、digital micromirror device (DMD)の切り替えによる複数回の露光が必要であることや、liquid crystal on silicon (LCOS)と干渉計を必要とするなど、普及には多くの課題が残っている。また、従来のマルチスペクトル画像符号化の研究は光の波長間の冗長性除去を効率的に行うことで符号量の改善が見られるものの、そのデータ量はバンド(色コンポーネント)数に比例して増加するため、実用性に欠けている。

申請者はこれまで、マルチスペクトル画像の符号化方式について検討し、スペクトル歪みを抑えつつ植生解析精度を国際標準方式 JPEG2000 の2倍以上に高める方式を実現している。また平成 25・26 年度の科学研究費若手研究 B では、MSFA を用いた画像システムで、従来の JPEG2000 を用いたマルチスペクトル画像システムより大幅にデータ量を削減できる可能性を確認している。特にフィルタ設計に関する検討では、既存研究で考慮されていなかった配置の最適化を実現した。しかし問題点として、MSFA・圧縮・色補間を個別に検討したため、画像システム全体として最適な近似解を得られないことが確認された。特に、フィルタ配置に依存したノイズが復元画像のエッジ上に生じ、コンテンツによっては大幅に画質が低下することが問題となっている。

そこで本研究では、単板カラーフィルタを用いたマルチスペクトル画像の撮影システム(以下、従来検証)をベースとし、MSFA・圧縮・色補間を一つの線形システムとしてモデル化し、圧縮センシングにおけるスパース解推定問題に対応づけることで、従来検討よりも精度の高い復元画像を得られるような MSFA・圧縮・色補間手法の開発を行う。提案システムの大きな利点として、MSFA を利用することを前提とするため、光学的に非常に単純な撮影システムを用いるという制約の上で近似最適解を得ることができる。また、未圧縮撮影データの時点で従来の RGB 撮影システムと同じかもしくはそれ以下のデータ量しか持たず、本質的にデータ量が少ないシステムを構築できる。

2. 研究の目的

本研究では、遠隔病理診断におけるスペクトルの定量評価を検証モデルとして想定し、

提案システムを計算機上に実装・シミュレーションする。本研究期間内における目標は、病理画像におけるスペクトル解析に致命的な影響を与えないことを前提とし、従来検証における復元画像誤差をさらに 30%削減することである。30 の数値の根拠としては、decorrelated vectorial total generalized variation を色補間に応用し手動で配置等のパラメータを調整したところ、誤差を約 20%削減できたため、全体を最適化することで達成可能な値であると考えられる。

3. 研究の方法

本研究では MSFA を用いたマルチスペクトル画像システムの有効性を示すために、A. MSFA の設計問題、B. モザイク画像の符号化手法、C. 色補間手法の 3 パートを、圧縮センシングにおける線形システムと想定してそれぞれ計算機上にアルゴリズムを実装して検討を進める。病理診断における有用性を示すため、赤外を含む 101 バンド病理画像をテスト画像として使用する。MSFA の実機開発は本研究期間中に行うことが難しいため、多板フィルタで撮影された病理画像を計算機上で間引くことにより単板撮影データを作成する。まず A. と B. を合わせて一つの観測基底とし、符号化利得を最大にするような観測基底を設計する。次にその基底を MSFA と圧縮の二つの基底に分離し、病理画像に適した MSFA の要件を明らかにする。最後に設計した A. と B. の元で凸最適化問題を解き、復元画像と元の 101 バンド画像を比較することでシステム全体の評価を行う。

4. 研究成果

(1) MSFA の設計問題

フィルタアレイの分光感度制約を緩和した上で、分光感度と復元関数の同時最適化を行うアルゴリズムを提案した。本手法によって各フィルタの感度特性が広帯域な分布になるため、得られるモザイク画像の周波数特性が低周波帯域に集中し、圧縮効率が高まることを期待される。実験の結果、同アルゴリズムにより生成されたフィルタは従来のフィルタと比較して大幅に画像復元誤差を低減することが確認された。特に、病理診断を想定し、病理標本をトレーニングデータとして最適化した図 1 の MSFA は、既存のフィルタと比較して peak signal-to-noise ratio において 10dB 以上の改善が見られ、提案手法の有効性が確認された。

さらに、フィルタアレイの感度設計時にトレーニングデータを使用できないケースも想定し、画素間の相関特性を利用した静的なフィルタアレイ設計手法も提案した。その結果、多くの画像においてフィルタの種類数は 10 前後が最適であることが確認され、フィルタ設計において空間解像度と波長解像度のトレードオフが存在することが確認された。

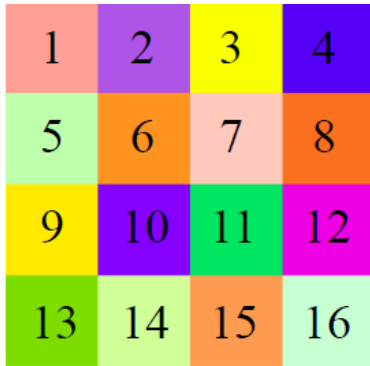


図1 病理標本用に最適化された MSFA

(2) モザイク画像の符号化手法

モザイク画像の符号化において、ウェーブレットベースのビットプレーン符号化を行うことを想定し、画素間の相関を効率良く削減する変換について提案した。提案法は、モザイク画像の画素間における空間次元の冗長性および波長次元の冗長性を1次マルコフ連鎖モデルに近似し、マルチスペクトル画像の複数のデータベースから近似パラメータを求めることで、一般化した空間-波長次元の基底変換を作成した。図2に示す通り、提案法を用いた圧縮 (Encoding before interpolation, EBI) は、従来のマルチスペクトル画像の圧縮 (Encoding after interpolation, EAI) と比較して大幅な PSNR の改善が確認された。

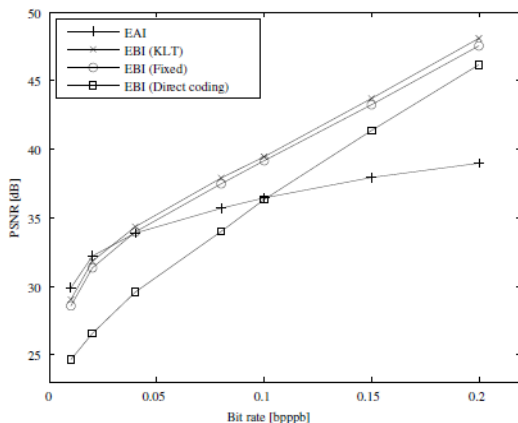


図2 PSNR vs. Bit rate

(3) 色補間手法

多くの MSFA はあるパターンを撮像素子全体に繰り返し配置して構成されるが、この周期構造によって、モザイク画像にはエイリアスが生じる。エイリアスは画像の空間構造を歪めるため、デモザイキングにおける問題の1つであった。本検討では、エイリアス抑制条件を付加したフィルタアレイである Fourier spectral filter array (FSFA) を定式化し、その条件を損なわずに凸最適化問題を解くことで、デモザイク画像の画質を改善する手法を開発した。

本手法は空間構造の復元とスペクトル復元の2段階で構成される。空間構造の復元では、離散ウェーブレット変換に基づいて推定対象 MSI を低周波成分と高周波成分に分離し、低周波成分を bilinear 補間、高周波成分を圧縮センシングによって復元する。スペクトルの復元では Wiener 推定を用いる。図3に示す通り、実験により、提案手法が空間構造を詳細に復元できることが確認された。

以上、(1)、(2)、(3)の成果から、本研究によって設計されたフィルタアレイ、符号化およびデモザイク手法によって、従来研究よりもマルチスペクトル画像の復元誤差を1/4以上抑えることが確認された。本成果は低コストかつ小型なマルチスペクトルカメラの開発に貢献できる内容であり、特に医療や産業用途において、RGB カメラでは得られない知見による自動解析や診断補助に活用できる可能性がある。

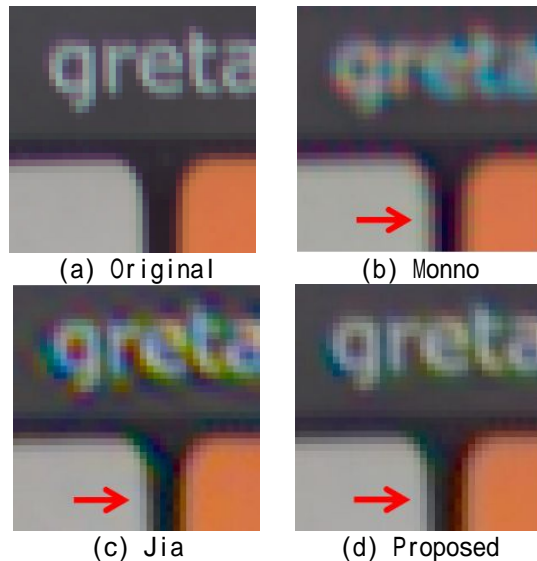


図3 デモザイク画像の比較

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) Kazuma Shinoda, Yudai Yanagi, Yoshio Hayasaki, Madoka Hasegawa, "Multispectral filter array design without training images," *Optical Review*, vol. 24, no. 4, pp. 554-571, Jul. 2017. (査読有) DOI: 10.1007/s10043-017-0349-4
- (2) Kazuma Shinoda, Taisuke Hamasaki, Maru Kawase, Madoka Hasegawa, and Shigeo Kato, "Demosaicking for multispectral images based on vectorial total variation," *Optical Review*, vol. 23, no. 4, pp. 559-570, Jul. 2016. (査読有) DOI: 10.1007/s10043-016-0221-y
- (3) Kazuma Shinoda, Aya Watanabe, Madoka

Hasegawa, and Shigeo Kato, "Multispectral information hiding in RGB image using bit-plane-based watermarking and its application", Optical Review, vol. 22, issue 3, pp. 469-476, Jun. 2015. (査読有) DOI: 10.1007/s10043-015-0082-9

- (4) Kazuma Shinoda, Naoki Kobayashi, Ayako Katoh, Hideki Komagata, Masahiro Ishikawa, Yuri Murakami, Masahiro Yamaguchi, Tokiya Abe, Akinori Hashiguchi, and Michiie Sakamoto, "An efficient wavelet-based ROI coding for multiple regions," IEICE Trans. on Fundamentals, Vol. E98-A, No. 4, pp. 1006-1020, Apr. 2015. (査読有) DOI: 10.1587/transfun.E98.A.1006
(他 5 件)

〔学会発表〕(計 33 件)

- (1) Kazuma Shinoda, "Single-shot multi spectral imaging for medical application," International Young Researchers' Workshop on Multimodal Medical Engineering, Jan. 2018 (Invited talk).
- (2) Kazuma Shinoda, Maru Kawase, Madoka Hasegawa, Masahiro Ishikawa, Hideki Komagata, and Naoki Kobayashi, "Optimal spectral sensitivity of multispectral filter array for pathological images," Image Electronics and Visual Computing Workshop, Mar. 2017.
- (3) Kazuma Shinoda, Shu Ogawa, Yudai Yanagi, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, Masahiro Ishikawa, Hideki Komagata, and Naoki Kobayashi, "Multispectral filter array and demosaicking for pathological images," APSIPA ASC, pp. 697-703, Dec. 2015.
- (4) Kazuma Shinoda, Aya Watanabe, Madoka Hasegawa, and Shigeo Kato, "Multispectral image estimation from RGB image based on digital watermarking," Association Internationale de la Couleur (AIC), pp. 1278 - 1282, Tokyo, 2015.
(他 29 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

名称：フィルタ、画像撮影装置および画像撮影システム
発明者：篠田一馬，大寺康夫
権利者：宇都宮大学

種類：特許
番号：2016-175460
出願年月日：2016年9月8日
国内外の別：国内

名称：画像データ処理装置及びプログラム
発明者：篠田一馬，番沢和茂，長谷川まどか
権利者：宇都宮大学
種類：特許
番号：2016-073754
出願年月日：2016年3月31日
国内外の別：国内

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
(1) <http://www.is.utsunomiya-u.ac.jp/ic/1/index.php?Member%2FKazumaShinoda>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
篠田一馬 (Kazuma Shinoda)
宇都宮大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：50639200