

平成 30 年 5 月 16 日現在

機関番号：16201

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07021

研究課題名(和文)ハイパースペクトル画像のための反射率画像推定法の確立と画像復元への応用

研究課題名(英文)A study on reflectance estimation for hyperspectral imaging and its application to image restoration

研究代表者

松岡 諒 (Matsuoka, Ryo)

香川大学・工学部・助教

研究者番号：40780391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：照明光源に依存しないシーンの分光反射率情報を画像として保存すること(反射率画像の推定)は、デジタルアーカイブや医療技術の発展において重要な課題である。しかしスペクトル分解能の高いハイパースペクトル(HS)画像の反射率画像推定技術は未だ確立されていない。その主な要因として、HS画像を取得する際の光量不足に起因するセンサノイズや焦点ボケ、黒潰れによる画質劣化が挙げられる。本研究では、凸最適化問題およびスパースコーディングを駆使し多重画像から高品質画像を復元する多重画像統合手法を確立した。

研究成果の概要(英文)：Storing scene reflectance, which independent to environmental light sources, as an image (reflectance estimation) is an important issue for the development of digital archive and medical technology. However, a reflectance estimation technique still has not been established for hyperspectral imaging having high spectral resolution. A major factor is a lack of light intensity when taking an HS image, and it causes sensor noise, focus blur, under-exposure. To solve these problems, this research established novel multiple image blending methods based on convex optimization and sparse coding techniques.

研究分野：画像処理, 信号処理

キーワード：スパースコーディング 凸最適化 非凸最適化 画像復元

1. 研究開始当初の背景

物体の測色値は照明光源の特性に依存するため、照明光源に依存しない分光反射率データとして画像を保存すること(反射率画像の推定)は、デジタルアーカイブや医療技術の発展において重要な課題である。RGB画像を数理的に解析することで高精度な反射率画像推定を達成できることが近年の研究により明らかにされつつあるが、依然としてスペクトル分解能の高いハイパースペクトル(HS)画像の反射率画像推定問題が未解決であった。その主な要因として、HS画像を取得する際の光量不足に起因するセンサノイズや焦点ボケ、黒潰れによる画質劣化が挙げられる。

一般的に大口径レンズや高感度撮影により光量を補うことが可能であるが、前者では焦点距離が狭まるため画像のコントラストが著しく低下してしまい、一方後者ではセンサノイズが強調されるため著しく画質が劣化してしまう。

そこで物質表面の分光反射特性や凹凸、照明光源スペクトルや陰影といった撮影シーンの様々な情報をHS画像から高精度に抽出するためには、これらの問題を早急に解決する必要がある。

2. 研究の目的

凸最適化問題およびスパースコーディングを駆使し多重画像から高コントラストで鮮鋭度の高い画像を復元する多重画像統合手法の確立を目的とする。さらにトーンマッピングや映り込み除去、デジタルFIRフィルタ設計などの主要な画像・信号処理問題への応用を検討する。

3. 研究の方法

本研究では以下に示す三つの課題解決に取り組む。

- (1) 多重画像を用いた画像復元：センサノイズの除去、コントラスト復元を目的とし、補助照明を用いて撮影したガイド画像や焦点合焦位置を変えて撮影した多重露光画像などの多重画像を用いた高品質画像復元手法を開発する。
- (2) アーティファクトにロバストな画像復元：ランダム/インパルスノイズの除去、トーンマッピング、映り込み除去において、既存技術の多くは疑似エッジや擬色、ハローなどのアーティファクトが画像復元の過程で新たに生じてしまう。そこで凸最適化問題の定式化において、混合ノイズに適したHuber損失関数を再構成誤差項として新たに導入し、さらに勾配画像領域に観測画像に基づく範囲制約を導入することで、アーティファクトにロバストな画像復元手法を開発する。
- (3) 重複構造の非一様グループ性を考慮したスパースコーディング：滑らかな構造

を有する信号や画像データは、それらを分解して得られる基底群から適切に選んだ少ない基底の線形和で近似的に表現できることが知られている。一方、HS画像は狭帯域のスペクトル情報を画像として保存しているため、局所領域において隣接バンド間の相関が非常に強くなると予想される。この特性をスパースコーディングにより適切に取り扱うためには、重複構造の非一様グループ性を考慮する必要がある。そこで重複構造の非一様グループ性をL0ノルムにより定式化し、その最適化問題を効率良く解くためのアルゴリズムを開発する。

4. 研究成果

研究成果は以下の通り大別できる。

- (1) 多重画像を用いた画像復元に関する研究：HS画像の取得において非常に狭い帯域のスペクトルを観測する必要があるため、光量不足により生じるセンサノイズやコントラストの低下が問題となる。

まず補助画像を用いたノイズ除去に関する成果を述べる。劣化した入力画像に補助照明を用いて取得した色味は異なるが鮮鋭度の高い補助画像の特徴を転送する画像復元問題を凸最適化問題として定式化し、主双対近接分離法に適用することで、既存の復元手法に比べて高速かつ高品質な画像復元を達成した(図1)。



図1. 補助画像を用いたノイズ除去結果

次にコントラスト復元に関する成果を述べる。大口径レンズを用いた撮影では短時間で多くの光を取り込めるため、センサノイズを抑制することができる。しかし焦点距離が狭まるため奥行きのあるシーンでは焦点ボケによりコントラストが低下してしまう。そこで、焦点位置を変えて撮影した多重画像を統合することで、高コントラスト画像を生成する多重画像統合法を提案した。具体的には、各入力画像にエッジ保存型平滑化フィルタを適用することで構造成分と詳細成分に分離し、それぞれの成分に適した画像統合を施すことで、高コントラストで鮮明な画像復元を実現している(図2)。



図2. 多重画像を用いたコントラスト復元

- (2) アーティファクトにロバストな画像復元手法の開発:3-(2)で述べたように既存の画像復元手法ではアーティファクトの発生が問題とされている。

まず混合ノイズ除去に関する成果を述べる。混合ノイズ除去を目的としマルチスケール画像分解に基づく多重画像統合問題を凸最適化問題として定式化し、主双対近接分離法に適用することで計算効率の高い画像復元手法を確立した。ここではランダムノイズやインパルスノイズを適切に除去するために、再構成誤差項に Huber 損失関数を新たに導入している。これにより異なる性質のノイズが混在する多重画像から高品質で鮮明な画像の復元を実現した。

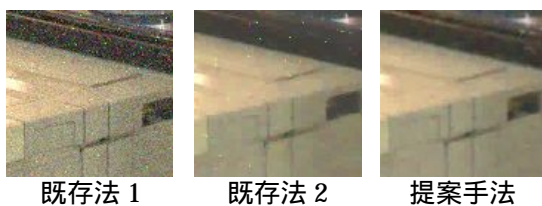


図 3. 混合ノイズ除去結果

次にトーンマッピングおよび映り込み除去に関する成果を述べる。画像平滑化は反射率画像を観測画像から抽出するために用いられるが、凸最適化問題に基づく既存法の多くは階段状のアーティファクトによる劣化が問題であった。そこで、アーティファクトの発生を抑圧するために画像勾配領域に新たな範囲成約を導入した。この制約により、観測画像に存在しない疑似エッジの発生を抑制できるため、画像の重要な構造を保ったまま微小な色変化を取り除くことができる。さらに画像平滑化の重要なアプリケーションであるトーンマッピング(図 4)やガラス越しの撮影で生じる映り込みの除去(図 5)に応用し、主要な画像成分分離問題においてその有効性を確認した。



既存法



提案手法

図 4. トーンマッピング結果



観測画像



既存法



提案手法

図 5. 映り込み除去結果

- (3) 重複構造の非一様グループ性を考慮したスパースコーディング:3-(3)で述べたようにデータの持つ重複構造の非一様グループ性を数学的性質として捉え最適化問題に適切に組み込むことで、より高品質な HS 画像処理が実現できると予想される。そこで重複構造をもつ非一様グループ L0 ノルム正則化を考案し、交互方向乗数法に基づく数値的に安定した解法アルゴリズムを提案した。さらにスパース FIR フィルタ設計に応用しその有効性を確認した。

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 3 件) 以下全て査読有

1. Ryo Matsuoka, Seisuke Kyochi, Shunsuke Ono, Masahiro Okuda, Joint Sparsity and Order Optimization Based on ADMM with Non-Uniform Group Hard Thresholding, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 65, no. 5, pp. 1602-1613, 2018.
2. 松岡諒, 石橋治樹, 馬場達也, 奥田正浩, 露光アンダー/オーバーと焦点ボケを同時にもつ多重露光画像の統合手法, 電子情報通信学会論文誌 D, vol. 99-D, no. 10, pp. 1080-1088, 2016.
3. Tatsuya Baba, Ryo Matsuoka, Keiichiro

Shirai, Masahiro Okuda, Misaligned Image Integration with Local Linear Model, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 25, no. 5, pp. 2035-2044, 2016.

〔学会発表〕(計 10 件)以下 1, 2, 8 は査読有

1. Toshihiro Shibata, Yuji Akai, Ryo Matsuoka, Reflection Removal Using RGB-D Images, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Oct. 2018.
2. Yuji Akai, Toshihiro Shibata, Ryo Matsuoka, Masahiro Okuda, L0 Smoothing Based on Gradient Constraints, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Oct. 2018.
3. 柴田峻敬, 赤井優志, 松岡諒, 深度マップを用いた映り込み除去に関する一検討, 電子情報通信学会 信号処理研究会, 2018 年.
4. 赤井優志, 柴田峻敬, 松岡諒, 奥田正浩, 勾配レンジ制約に基づくロバスト画像平滑化, 電子情報通信学会 信号処理研究会, 2018年.
5. Ryo Matsuoka, Seisuke Kyochi, Shunsuke Ono, Masahiro Okuda, Joint Sparsity and Order Optimization based on ADMM with Non-uniform Group Hard Thresholding, IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), May 2018.
6. 松岡諒, 京地清介, 小野峻介, 奥田正浩, フィルタ次数最小化を考慮したスパース FIRフィルタの設計, 電子情報通信学会 第32回信号処理シンポジウム, 第32回信号処理シンポジウム予稿集, 2016年.
7. 赤井優志, 松岡諒, L0勾配最小化を用いた詳細強調に関する検討, 電子情報通信学会 第32回信号処理シンポジウム, 第32回信号処理シンポジウム予稿集, 2016年.
8. Ryo Matsuoka, Reflection Removal Based on Gradient Constraints, IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 1-2, Oct. 2017.
9. 松岡諒, 全変動正則化を用いた映り込み分離に関する一検討, 電気学会 c部門大会, 電気学会 c部門大会予稿集, 2017年.
10. 松岡諒, 小野峻介, 奥田正浩, 混合ノイズにロバストな多重露光画像統合法, 電子情報通信学会技術研究報告 IE2017-27, vol. 117, no. 113, pp.13-18, 2017年.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

- <https://sites.google.com/site/phdma/tsuokadx/achievements>
- <http://www.ceda.kagawa-u.ac.jp/kudb/servlet/RefOutController?exeBO=WR4100RBO&monitorID=WR4100&workType=detail&primaryKey=1000029064&kyoinID=&gyosekiNendo=null&secondaryKey=&dumyKyoinID=¤tPage=1>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松岡 諒 (Ryo Matsuoka)
香川大学・工学部・助教
研究者番号 : 40780391