

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K21312

研究課題名（和文）グラフ信号処理とハイパースペクトル画像処理の融合と深化

研究課題名（英文）Integration of graph signal processing and hyperspectral image processing

研究代表者

武山 彩織（Takeyama, Saori）

東京工業大学・工学院・助教

研究者番号：30909370

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：ハイパースペクトルイメージングにグラフ信号処理の技術を効果的に応用するため、ハイパースペクトル画像の本質的特性の更なる分析を行った。これにより空間構造を効果的に取り入れた高精細な空間・波長情報を保持したハイパースペクトル画像の推定が可能となった。この知見から、空間構造がハイパースペクトル画像復元の性能改善に大きく寄与することが明らかになり、空間構造を効果的に表現するグラフの構築を試みた。また、実測条件を考慮した新しいハイパースペクトル画像復元問題の構築も行い、先験的情報を適切に評価することでこれらの問題を解決可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハイパースペクトル画像（HSI）が持つ物体固有の情報には、地球表面での異常検出に役立っており、医療や農業などのあらゆる分野が抱える課題解決に対しても重要な役割を果たすと注目されている。しかし、HSIは空間解像度が低いという問題がある。本課題では、撮影対象の空間的構造を適切に評価することで、観測の際に犠牲になっていた空間解像度を効果的に推定しており、波長情報の歪みの少ない高精細なハイパースペクトル画像の再構成を可能とした。これにより、今まで空間解像度の低さから適用を見送っていた諸分野に対してHSI利用が可能になり、様々な技術の発展に貢献すると期待される。

研究成果の概要（英文）：To adopt graph signal processing into hyperspectral (HS) imaging, we deeply analyzed the prior knowledge on HS images. Thanks to effective evaluation of spatial architecture, our proposed method can estimate an HS image with high spatial and spectral resolution. From the results, we can see the spatial architecture helps to improve the performance for HS image restoration, so we tried to construct the methodology of spatial architecture into the graph representation for HS image restoration.

Then, we proposed a new hyperspectral imaging framework near by real imaging systems. As a result, we showed the problem can be resolved by the suitable evaluation of apriori knowledge on HS images.

研究分野：画像処理

キーワード：ハイパースペクトル画像処理

1. 研究開始当初の背景

ハイパースペクトル (HS) 画像は高解像度な空間・波長情報を保持しており、物質固有の特性を可視化できる。これより、物質の検出や品質の判定などをリモートで行えるようになるため、地球科学、材料化学等の様々な分野で活用されている。この際、撮影対象が動物体またはドローンや自動車等に搭載しての撮影が必要となるため、ワンショットでの撮影が必要不可欠である。

HS イメージングでは豊富な空間・波長情報を取得する必要があるため、撮影に長時間を要する。そのため、動物体の撮影や動物体にカメラを搭載しての撮影は非常に困難であり、ドローンを用いた農地のモニタリングなどの本来は大きく効果をもたらす様々な分野に対して利用できないことが多くあった。近年は、CASSI という HS 画像の持つ 3 次元情報を開口部符号化フィルタと分散素子を用いて 2 次元に圧縮することで、ワンショットで撮影する技術が提案されている。ワンショット HS イメージングの達成には、このような圧縮された観測から高精細かつ高解像度な HS 画像を再構成する手法が必要不可欠である。

申請者はこれまで、2 割の観測情報からの HS 画像再構成を達成している。しかし、実際の観測は元データの 1% に満たない情報のみを持つため、差分や線形変換でモデル化可能な事前知識には限りがある。実際に、CASSI に基づくイメージングシステムでは十数バンドの波長情報を効果的に再構成可能であることが示されているが、HS 画像のような数百バンドの情報の再構成精度には限界がある。グラフ信号処理では、信号の構造をグラフとして扱うことで、信号の本質的な関係性を抽出できる。そのため、グラフを用いて HS 画像に内在する不均一な相関情報をモデル化し、より本質的なスパース性を引き出すことで、限られた観測情報から効果的な再構成手法の確立が期待される。

2. 研究の目的

1. HS 画像の空間・波長方向の構造を表すグラフの構築のために適切な数理モデルは何か。
 2. グラフを用いた HS イメージングは非常に少ない観測に対して有用か。
 3. 実際のイメージングシステムに対して有効か。
- という三つの問いに基づき、グラフ信号処理と HS 画像復元の高度な融合による空間・波長方向の構造を考慮したワンショット高解像度 HS イメージングの構築を本研究の目的とする。

3. 研究の方法

まず、撮影対象を撮影した輝度画像から効果的に空間構造を抽出し、それをグラフとして表現する方法の検討を行う。その後、生成された空間構造グラフを適切に利用することで、HS 画像に内在する構造情報を評価可能な関数を設計する。また、設計した関数を用いた新しい HS 画像復元手法を構築する。シミュレーション実験を通して、提案 HS 画像復元手法の性能を検証する。

4. 研究成果

HS イメージングにグラフ信号処理の技術を効果的に応用するため、HS 画像の本質的特性の更なる分析を行った。具体的には、HS 画像の実測の際に生じる劣化を適切にモデル化し、空間・波長方向の区分的滑らかさを考慮することで高精細な HS 画像の推定が可能であることを検証した。その結果、より現実的な条件下であっても高精細な HS 画像推定が可能であり、考慮した先験情報は HS 画像復元に対して大きく寄与する重要な特性であることが示された。この研究結果に関して、信号処理シンポジウムで発表を行った[1,2]。その後、撮影対象の空間的構造を適切に評価可能な関数の構築を行った。この関数では、同位置で撮影された輝度画像から撮影対象の空間構造を抽出し、それを効果的に推定 HS 画像に引き継ぐ。これを用いた HS 画像の高解像度化問題を定式化し、効率的に求解

可能なアルゴリズムの構築を行い，シミュレーション実験より空間詳細成分を保持する高精細な HS 画像の推定が可能であることを確認した（図 1）．この結果から，空間構造が HS 画像復元の性能改善に大きく寄与することが明らかになり，限定的な観測情報からの HS 画像再構成に対して重要な役割を果たすことが期待される．これらの研究成果を IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing に掲載している[3]．

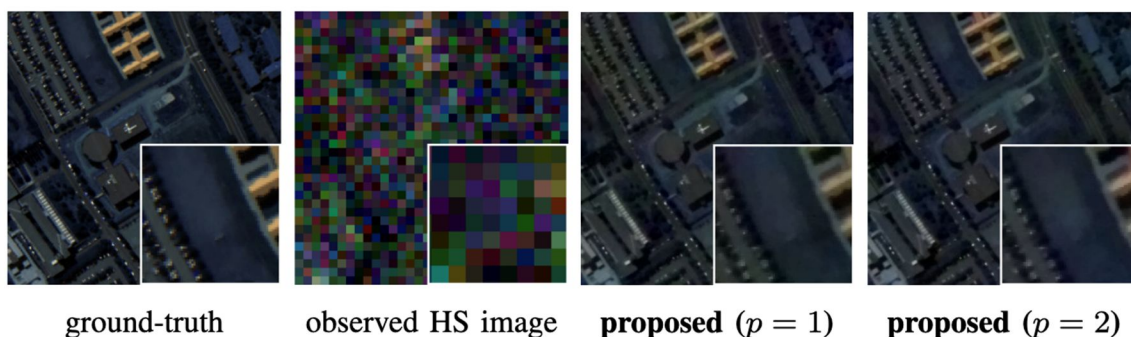


図 1. 提案 HS 画像高解像度化手法の結果

参考文献

- [1] 武山 彩織, 小野 峻佑, "空間-波長正規化に基づくハイパースペクトル画像のポアソン性ノイズ除去," 電子情報通信学会第 36 回信号処理シンポジウム論文集, 2 ページ, 2021 年 11 月.
- [2] 武山 彩織, 小野 峻佑, "ガウシアン-スパース混合ノイズを考慮したハイパースペクトルパンシャープニング," 電子情報通信学会第 36 回信号処理シンポジウム論文集, 2 ページ, 2022 年 12 月.
- [3] S. Takeyama and S. Ono, "Robust Hyperspectral Image Fusion with Simultaneous Guide Image Denoising via Constrained Convex Optimization," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 60, pp. 1-18, Nov. 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takeyama Saori, Ono Shunsuke	4. 巻 60
2. 論文標題 Robust Hyperspectral Image Fusion With Simultaneous Guide Image Denoising via Constrained Convex Optimization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1~18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TGRS.2022.3224480	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 武山 彩織, 小野 峻佑
2. 発表標題 空間-波長正則化に基づくハイパースペクトル画像のポアソン性ノイズ除去
3. 学会等名 電子情報通信学会第36回信号処理シンポジウム論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武山 彩織, 小野 峻佑
2. 発表標題 ガウシアン-スパース混合ノイズを考慮したハイパースペクトルパンシャープニング
3. 学会等名 電子情報通信学会第37回信号処理シンポジウム論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武山彩織, 山口雅浩
2. 発表標題 空間-波長正則化を用いたハイパースペクトル画像復元
3. 学会等名 新画像システム・情報フォトニクス研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武山彩織
2. 発表標題 凸最適化に基づくハイパースペクトル画像復元
3. 学会等名 電子情報通信学会 信号処理研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関