

分光輝度の低次元近似に基づくハイパースペクトル画像の再構成型超解像

林 真帆 岡部 孝弘
九州工業大学 情報工学部

1 はじめに

ハイパースペクトル (HyperSpectral: HS) 画像は、シーンの輝度を紫外領域から近赤外領域までの数十バンドの狭帯域で観測したものである。シーンの分光輝度を捉えた HS 画像は、3 バンドのカラー画像よりも波長分解能が遥かに高いため、リモートセンシングや医用画像処理だけでなく、コンピュータビジョンやコンピュータグラフィックスなどの分野においても注目されている。その一方で、HS 画像には、分光に伴う撮影時間の増大や光量の減少のために、空間分解能や SN 比が低いという欠点がある。

そこで本研究では、分光輝度の低次元近似に基づいて、HS 画像の画質を改善する手法を提案する。具体的には、特異値分解を用いて各画素の分光輝度を基底関数の線形結合で表現したのち、結合係数に対して再構成型超解像を行うことで、空間分解能の向上を図る。このとき、特異値に基づいて主要な結合係数に対してのみ超解像を行うことで、波長領域におけるノイズを除去して SN 比の向上も図る。つまり、提案手法では、空間領域 (2次元) と波長領域 (1次元) からなる 3次元データとして表現される HS 画像に対して、空間領域では超解像を波長領域ではノイズ除去を行うことで画質を改善する。実画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

2 関連研究

HS 画像の空間分解能を改善するために、HS カメラとカラーカメラを併用する手法が提案されている [3, 2]。具体的には、波長分解能は高いものの空間分解能の低い HS 画像と、波長分解能は低いものの空間分解能の高い RGB 画像を組合せることで、空間分解能も波長分解能も高い画像を生成している。しかしながら、これらの手法には、2種類のカメラで同一の場所から被写体を撮影する必要があり、また、カラーカメラの分光感度の較正が必要であるという問題がある。これに対して本研究では、HS カメラのみを用いて画質の改善を目指す。

3 提案手法

3.1 概要

最も単純には、数十バンドからなる HS 画像に対して、バンドごとに超解像を行うことが考えられる。と

ころが、HS 画像のバンド間には相関があることが知られており、バンドごとに独立に超解像を行う単純な手法では、バンド間の相関が失われてしまうことが予想される。

そこで提案手法では、分光輝度が少数の基底関数の線形結合で近似的に表現できる [1] ことに基づいて、HS 画像のバンド間の相関を失うことなく超解像を行う。具体的には、特異値分解を用いて各画素の分光輝度を少数の基底関数の線形結合で表現したのち、結合係数を画素値に持つ画像に対して再構成型超解像を行う。

3.2 分光輝度の低次元近似

HS 画像のバンド数を B とする。HS 画像の p 番目 ($p = 1, 2, 3, \dots, P$) の画素の分光輝度を、 B 次元の縦ベクトル \mathbf{r}_p で表現する。各画素の分光輝度を並べた行列 R を、

$$R = (\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_P) = \sum_{b=1}^B \sigma_b \mathbf{u}_b \mathbf{v}_b^T \quad (1)$$

のように特異値分解する。ここで、 σ_b は特異値、 \mathbf{u}_b は基底関数 (B 次元の縦ベクトル)、 \mathbf{v}_b は結合係数 (P 次元の縦ベクトル) である。

このとき、各画素の分光輝度を、

$$\mathbf{r}_p = \sum_{b=1}^B (\sigma_b v_{bp}) \mathbf{u}_b \simeq \sum_{b=1}^{B'} (\sigma_b v_{bp}) \mathbf{u}_b \quad (2)$$

のように近似的に表現することができる。ここで、 v_{bp} は \mathbf{v}_b の p 番目の要素、 B' は $B' < B$ を満たす定数である。

本稿では、 b 番目の基底関数に対応する結合係数 $\sigma_b v_{bp}$ を画素値に持つ画像を b 番目の結合係数画像と呼ぶ。提案手法では、 B 枚の濃淡画像からなる HS 画像を、 B' 枚の結合係数画像と B' 個の基底関数を用いて近似的に表現する。

3.3 結合係数の再構成型超解像

静止したシーンを異なる位置から撮影した複数の HS 画像を入力とする。これらの HS 画像を特異値分解して、各 HS 画像を B' 枚の結合係数画像と (複数の HS 画像に共通の) B' 個の基底関数を用いて近似的に表現する。

提案手法では、 b 番目の結合係数画像ごとに再構成型超解像を行う。その後、基底関数を用いて、得られ



図 1: 入力画像 (左), 単純な手法の結果画像 (中央), および, 提案手法の結果画像 (右).

た高解像度の結合係数画像を高解像度の HS 画像に変換する. なお, 再構成型超解像のアルゴリズムについては, 通常の濃淡画像に対する任意のアルゴリズムを用いる.

4 実験

実画像を用いた実験を行い, バンドごとに超解像を行う単純な手法と提案手法の性能を比較した. 実験では, エバ・ジャパン社製の HS カメラを用いて撮影した 8 枚の HS 画像を入力とした. これらの HS 画像は, 400[nm] から 700[nm] を 5[nm] おきに観測したもので, バンド数は 61 である. また, 平面状の被写体とマークを用いて, ホモグラフィにより位置あわせを行った. なお, 再構成型超解像のアルゴリズムは, Pickup らのライブラリ [4] を用いた.

図 1 に, 入力画像 (左), 単純な手法の結果画像 (中

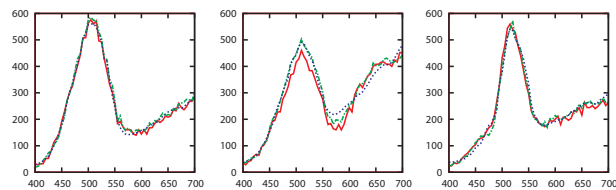


図 2: ロゴ上の異なる 3 点における分光輝度.

央), および, 提案手法の結果画像 (右) の一部を切り出したもの示す. 上から順に, 450[nm], 500[nm], 550[nm], 600[nm], 650[nm], および, 700[nm] における画像である. 基底関数の数は $B' = 10$ とした. このとき, 入力画像の固有値の累積寄与率は約 86% であった. 450[nm] や 600[nm] などの暗い波長において, 提案手法による画質改善の効果が顕著であることが分かる.

図 2 に, 図 1 のロゴの異なる 3 点における分光輝度を示す. 赤の実線が入力画像の分光輝度, 緑の一点鎖線が単純な手法, 青の破線が提案手法により推定された結果である. 提案手法では, 特異値分解の主要な成分のみを用いるため, 分光輝度が滑らかになっていることが分かる.

5 むすび

本稿では, 分光輝度の低次元近似に基づいて, HS 画像の画質を改善する手法を提案した. 具体的には, 各画素の分光輝度を少数の基底関数の線形結合で表現することで波長領域においてノイズ除去を行うとともに, 結合係数画像に対して再構成型超解像を行うことで空間分解能の向上を図った. 実画像を用いた実験を行い, バンドごとに超解像を行う単純な手法よりも, 提案手法が優れていることを確認した. 今後は, 分光輝度の低次元近似の精度を上げるための画像分割や, 空間領域と波長領域の相関 [1] を考慮した画質改善などにも取り組みたい.

参考文献

- [1] A. Chakrabarti and T. Zickler, “Statistics of real-world hyperspectral images”, In Proc. IEEE CVPR2011, pp.193–200, 2011.
- [2] B. Huang, H. Song, H. Cui, J. Peng, and Z. Xu, “Spatial and spectral image fusion using sparse matrix factorization”, IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 52(3), pp.1693–1704, 2014
- [3] R. Kawakami, J. Wright, Y.-W. Tai, Y. Matsushita, M. Ben-Ezra, and K. Ikeuchi, “High-resolution hyperspectral imaging via matrix factorization,” In Proc. IEEE CVPR2011, pp.2329–2336, 2011.
- [4] L. Pickup, S. Roberts, and A. Zisserman, “A sampled texture prior for image super-resolution,” In Proc. NIPS2003, pp.1587–1594, 2003.