

ラインスキャン型ハイパースペクトルカメラ画像の輝度補正

中嶋 倫太郎 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、シーンからの入射光を紫外領域から近赤外領域までの多数のバンドに分光したものである。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。

HS カメラの一種であるラインスキャン型 HS カメラでは、各水平ラインへの入射光を垂直方向に分光したものを 2 次元のイメージセンサで捉える。このとき、イメージセンサの各画素には、特定の波長の光のみが入射する。一般に、イメージセンサの各画素の感度は均一ではないために、ラインスキャン型 HS カメラで撮影された HS 画像には、縦縞状の乗算性ノイズが観察される。また、ラインスキャン型 HS カメラでは各水平ラインの撮影時刻が異なるために、被写体を照らす照明の明るさが時間的に変動するときには、横縞状の乗算性ノイズも観察される。

そこで本稿では、HS 画像の画質改善のために、画素値の横方向や縦方向の微分値に基づいて輝度を補正することで、乗算性ノイズを除去する手法を提案する。具体的には、分光輝度が区分的に一樣であることを仮定して、ロバストな損失関数に正則化項を加えた評価関数の最小化により、各波長における画像ごとに輝度を補正する。提案手法により事後的に輝度を補正することで、各画素の感度を事前に較正したり、明るさの変動しない照明を用いたりする必要がなくなるという利点がある。

加法性ノイズの除去については、カラー画像に関してはもちろん、HS 画像に関しても、これまでに多くの研究が行われている (例えば [2])。これまでほとんど扱われてこなかった乗算性のノイズを除去する点が、本研究の特色である。

2 提案手法

本稿では、各画素の感度の違いにより生じる縦縞状のノイズを考える。画像の縦方向を x 軸、横方向を y 軸として、ある波長の画像の x 行 y 列 ($x =$

$1, 2, 3, \dots, X, y = 1, 2, 3, \dots, Y$) の画素値を $I(x, y)$ とする。縦縞が観察されるとき、各列の画素値を定数倍することで縦縞を除去できると考えられることから、補正後の画素値 $\tilde{I}(x, y)$ を

$$\tilde{I}(x, y) = a(y)I(x, y) \quad (1)$$

と表す。ここで $a(y)$ は、乗算性ノイズを除去するための補正係数である。

提案手法では、一樣な照明に照らされた平面状の人工物を仮定する。このとき、画素値は区分的に一樣であると考えられることから、画素値の横方向の微分値に基づいて画素値を補正する。具体的には、 $\tilde{I}_y(x, y)$ を補正後の画素値の y 方向の偏微分として、ロバストな損失関数

$$\frac{\tilde{I}_y^2(x, y)}{c + \tilde{I}_y^2(x, y)} \quad (2)$$

の総和が小さくなるように補正係数 $a(y)$ を推定する。つまり、エッジなどの画素値が急激に変化する領域 ($c \ll \tilde{I}_y^2(x, y)$) の影響を抑えつつ、画素値が一樣な領域 ($c \gg \tilde{I}_y^2(x, y)$) において微分値の二乗和が小さくなるように補正係数を推定する。ここで c はエッジなどの影響を制御するためのパラメタである。

さらに、補正係数の非負値制約と補正係数の総和を一定に保つ制約、および、安定に推定を行うための正則化項を加えて、

$$\min_{a(y)} \sum_{x, y} \frac{\tilde{I}_y^2(x, y)}{c + \tilde{I}_y^2(x, y)} + w \sum_y [a(y) - 1]^2 \quad (3)$$

$$\text{subject to } a(y) > 0 \quad (y = 1, 2, 3, \dots, Y), \quad (4)$$

$$\frac{1}{Y} \sum_y a(y) = 1. \quad (5)$$

の最適化問題を解くことで、補正係数を推定する。ここで w は正則化項の重みを表すパラメタである。

式 (3)(4)(5) は非線形の最適化であるため、反復計算により最適化を行う。具体的には、第 1 項を重み $(1/[c + \tilde{I}_y^2(x, y)])$ 付きの誤差の二乗和とみなして、 $a(y) = 1$ の初期値から始めて、重みを最新の $a(y)$ を用いて計算される定数とみなすことで、線形制約付きの線形最小二乗問題を繰り返し解く。

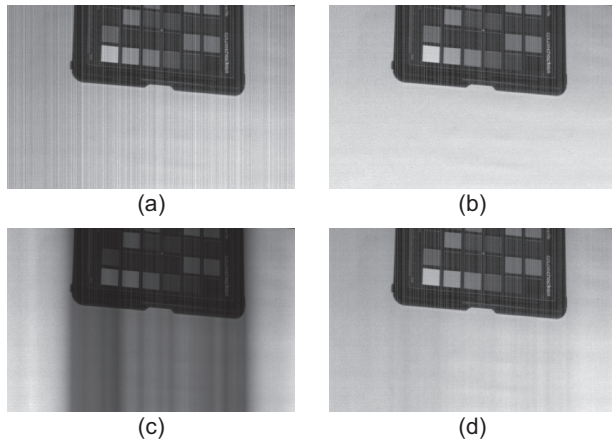


図 1: カラーチェッカーの画像. (a) 入力画像, (b) 入力画像の下半分の画素値が均一であることを仮定して補正した画像, (c) 最小二乗法の結果, および, (d) 提案手法の結果.

3 実験

実験では, 白熱灯に照らされた被写体を, エバ・ジャパン製のハイパースペクトルカメラを用いて撮影した. 被写体は, 白紙の上にカラーチェッカーを配置したものと情報処理学会学会誌の2つを試した. 図1(a)に示した前者の450nmにおける画像と, 図2(a)に示した後者の500nmにおける画像には, 縦縞状のノイズが生じていることが分かる.

ロバストな損失関数に正則化項を加えた評価関数を最小化する提案手法の有効性を確認するために, 単純な最小二乗法との比較を行った. 最小二乗法では, エッジなどの画素値が急激に変化する領域の影響を考慮せずに, 式(3)の代わりに

$$\min_{a(y)} \sum_{x,y} \tilde{I}_y^2(x,y) \quad (6)$$

を解くことで, 補正係数を推定した. なお, 提案手法と最小二乗法のいずれにおいても, 偏微分を離散化するために, 前進差分近似

$$\tilde{I}_y = a(y+1)I(x,y+1) - a(y)I(x,y) \quad (7)$$

を用いた. 提案手法の2つのパラメタは, 経験的に $\sigma = 0.001$, $w = 500$ とした.

カラーチェッカーの結果画像を図1に示す. (c)の最小二乗法による結果では, 画素値が急激に変化する中央の領域が暗くなっている. これは, 最小二乗法が画素値の微分値の総和が小さくなるように補正を行うためであると考えられる. 一方, (d)の提案手法の結果は, 提案手法が概ねうまく働いていることを示しており, エッジなどを考慮したロバストな損失関数を用い

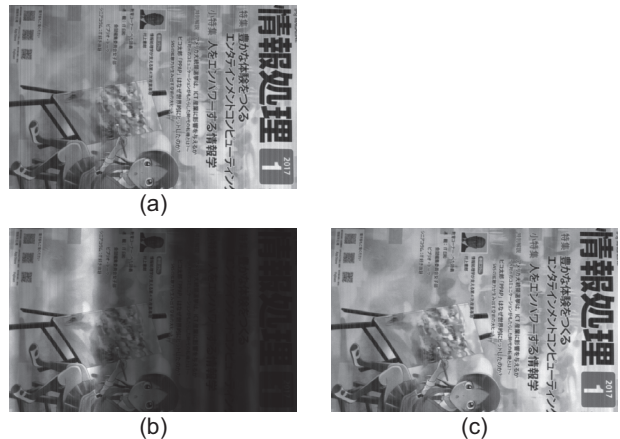


図 2: 情報処理学会学会誌の画像. (a) 入力画像, (b) 最小二乗法の結果, および, (c) 提案手法の結果.

ることが有効であることが分かる. (a)の入力画像の下半分の白紙の領域の画素値が均一であると仮定して画素値を補正した結果を(b)に示す. (b)を正解画像とみなしたときの最小二乗法と提案手法の結果画像のPSNRは, 10.29と25.88であり, 定量的にも提案手法の有効性が分かる.

情報処理学会学会誌の結果画像を図2に示す. 最小二乗法の結果画像は右半分が暗くなっているのに対して, 提案手法の結果画像は入力画像の縦縞状のノイズを概ね除去できていることが分かる. このことから定性的には, カラーチェッカーの場合と同様に, 最小二乗法よりも提案手法が有効であることが分かる.

4 むすび

本稿では, 画素値の横方向の微分値に基づいて, ラインスキャン型HSカメラで撮影された画像に含まれる縦縞状の乗算性ノイズを除去する手法を提案した. また, 実画像を用いた実験を行い, エッジなどにロバストな損失関数を用いた提案手法が, 最小二乗法よりも有効であることを示した.

平面以外の複雑な形状を持つ被写体, つまり, 画素値が緩やかに変化する場合の輝度補正は今後の課題である. また, 各波長における画像ごとに輝度を補正する提案手法では無視していた波長間の相関[1]を考慮した手法の開発にも取り組みたい.

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] Y.-Q. Zhao and J. Yang, "Hyperspectral image denoising via sparse representation and low-rank constraint", IEEE TGRS, 53(1), pp.296-308, 2015.