

ICAを用いた布の汚れの鮮明化画像処理 Sparpening Image Enhancement of cloth stain by using ICA

伊藤 良太[†]
Ryota Ito

桶谷 新也[‡]
Shinya Oketani

藤田和弘[†]
Kazuhiro Fujita

1.はじめに

着物などの布製品に付着した汚れやシミが小さくかつ淡色な場合、人間の目視では検出することが困難である。汚れやシミは布製品の商品価値を下げたり、寿命を短くしてしまう。そこで、布に付着した淡く小さな汚れを画像処理により鮮明化し、汚れの検出の補助や検出時間を短縮させることを目的とした研究がされている[1][2][3]。

筆者ら[3]は、これまでに、布画像に対し、部分空間法を用いたテクスチャ構造の低減処理を行い、さらに、PCAを用いた無相関化を行うことで、汚れ部分を鮮明化した画像を得ている。しかしながら、テクスチャ構造を十分に低減できない場合があった。

本研究では、白色LEDと近紫外LEDそれぞれを光源として撮影した二種類の布画像を用意し、各画像のRGB各成分に対し、スパースコーディングを用いたテクスチャ構造の低減処理を行い、さらに、RGB成分に対して独立成分に分解する。

2.ICAを用いた画像鮮明化処理

2.1.画素値ベクトル

汚れの付着した布に白色LEDを光源として撮影したカラー画像のRGB成分それぞれを、以下で定義する。

$$\{x_R^{wh}[m, n]; m = 0, 1, \dots, M-1, n = 0, 1, \dots, N-1\} \quad (1)$$

$$\{x_G^{wh}[m, n]; m = 0, 1, \dots, M-1, n = 0, 1, \dots, N-1\} \quad (2)$$

$$\{x_B^{wh}[m, n]; m = 0, 1, \dots, M-1, n = 0, 1, \dots, N-1\} \quad (3)$$

ここで、 m は縦方向下向き座標、 n は横方向右向き座標、 M を縦方向の画素数、 N を横方向の画素数とする。また、各成分の画素値のとりうる範囲は、 $0 \sim 255$ とする。同様に近紫外LEDを光源として撮影したカラー画像のRGB成分それぞれを $\{x_R^{bl}[m, n]\}$ 、 $\{x_G^{bl}[m, n]\}$ 、 $\{x_B^{bl}[m, n]\}$ と定義する。

2.2.スパースコーディング

白色LEDと近紫外LEDを光源として撮影したそれぞれの画像に対し、スパースコーディングを用いたテクスチャ構造の低減処理を行う。まず、白色LEDを光源として撮影した画像 $x^{wh}[m, n]$ を $\frac{M}{K} \times \frac{N}{L}$ 画素ごとに $K \times L$ 個のブロックに分割する。この際、 k, l 番目のブロックの各画素を $x_{k,l}^{wh}[i, j]$ と表す。スパースコーディングでは、 P 個のスパース(疎)な係数 $a_p[k, l]$ と画像の局所的な特徴を表す基底 $\phi_p[i, j]$ を用いて各画素 $x_{k,l}^{wh}[i, j]$ を次式で近似する。

$$\hat{x}_{k,l}^{wh}[i, j] = \sum_{p=0}^{P-1} a_p[k, l] \phi_p[i, j] \quad (4)$$

本手法では、係数 $a_p[k, l]$ と基底 $\phi_p[i, j]$ を、次式に示す

評価関数 J の極小値を最急勾配法により求める。

$$\begin{aligned} J & (\phi_p[i, j], a_p[k, l]) \\ &= \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} \left[\sum_{i=0}^{M/K-1} \sum_{j=0}^{N/L-1} \{x_{k,l}^{wh}[i, j]\} \right. \\ & \quad \left. - \sum_{p=0}^{P-1} a_p[k, l] \phi_p[i, j] \right]^2 + \lambda \frac{1}{P} \sum_{p=0}^{P-1} |a_p[k, l]| \end{aligned} \quad (5)$$

このとき、 λ は、近似二乗誤差を表している第1項に対して、係数 $a_p[k, l]$ のスパース性の条件を表している第2項の重みを決定するパラメータである。

係数 $a_p[k, l]$ と基底 $\phi_p[i, j]$ は、以下のアルゴリズムにより反復的に求める。

1. $\phi_p[i, j]$ の初期値を乱数により決定する。
2. $a_p[k, l]$ の初期値を、 $\sum_{i,j} x_{k,l}^{wh}[i, j] \phi_p[i, j]$ により決定する。
3. $a_p[k, l]$ について勾配 $\frac{\partial J}{\partial a_p[k, l]}$ を算出する。
4. $a_p[k, l]$ についての更新係数 ϵ_1 を求める

$$\epsilon_1 = \arg \min J \left(\{ \phi_p[i, j] \}, \left\{ a_p[k, l] - \epsilon_1 \frac{\partial J}{\partial a_p[k, l]} \right\} \right)$$
5. $a_p[k, l] \leftarrow a_p[k, l] - \epsilon_1 \frac{\partial J}{\partial a_p[k, l]}$
6. $\phi_p[i, j]$ について勾配 $\frac{\partial J}{\partial \phi_p[i, j]}$ を算出する。
7. $\phi_p[i, j]$ についての更新係数 ϵ_2 を求める

$$\epsilon_2 = \arg \min J \left(\left\{ \phi_p[i, j] - \epsilon_2 \frac{\partial J}{\partial \phi_p[i, j]} \right\}, \{ a_p[k, l] \} \right)$$
8. $\phi_p[i, j] \leftarrow \phi_p[i, j] - \epsilon_2 \frac{\partial J}{\partial \phi_p[i, j]}$
9. hard threshold

$$a_p[k, l] = \begin{cases} 0 & (a_p[k, l] < \frac{\lambda}{2}) \\ a_p[k, l] & (\text{otherwise}) \end{cases}$$
10. J が収束していなければ、3.に戻る。

つぎに、求めた係数 $a_p[k, l]$ と基底 $\phi_p[i, j]$ を用いて式(4)により $\hat{x}_{k,l}^{wh}[i, j]$ を求め、次式により近似誤差 $\tilde{x}_{k,l}^{wh}[i, j]$ を得る。

$$\tilde{x}_{k,l}^{wh}[i, j] = x_{k,l}^{wh}[i, j] - \hat{x}_{k,l}^{wh}[i, j] \quad (6)$$

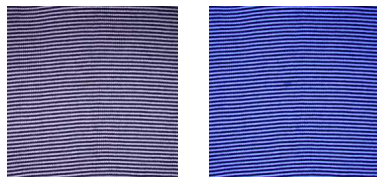
同様に近紫外LEDを光源として撮影した画像に対しても、スパースコーディングを用いてテクスチャ構造の低減化を行い、テクスチャ構造が低減された近似誤差 $\tilde{x}_{k,l}^{bl}[i, j]$ を得る。

2.3.無相関化

布の汚れ部分が画像の色差情報としての特徴を有すると考え、RGB成分の無相関化を行う。ここで、白色LEDを光源として撮影した画像のテクスチャ低減画像のRGB成分を $\{\tilde{x}_R^{wh}[m, n]\}$ 、 $\{\tilde{x}_G^{wh}[m, n]\}$ 、 $\{\tilde{x}_B^{wh}[m, n]\}$ 、近紫外LEDを光源として撮影した画像のテクスチャ低減画像のRGB成分を $\{\tilde{x}_R^{bl}[m, n]\}$ 、 $\{\tilde{x}_G^{bl}[m, n]\}$ 、 $\{\tilde{x}_B^{bl}[m, n]\}$ とし、それぞれのRGB成分の差の3乗をとった成分、計3成分に対して無相関化を行う。画素値ベクトル $\mathbf{y}[m, n]$ を

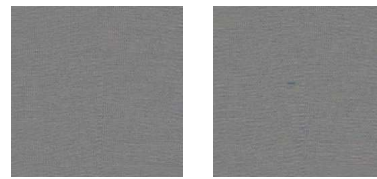
[†]龍谷大学大学院理工学研究科

[‡]京都府計量検定所



(a)白色LED (b)近紫外LED

図1: 対象画像



(a)白色LED (b)近紫外LED

図2: テクスチャ低減画像

次式で定義する.

$$\mathbf{y}[m, n] \equiv \begin{pmatrix} (\hat{x}_R^w[m, n] - \hat{x}_R^b[m, n])^3 \\ (\hat{x}_G^w[m, n] - \hat{x}_G^b[m, n])^3 \\ (\hat{x}_B^w[m, n] - \hat{x}_B^b[m, n])^3 \end{pmatrix} \quad (7)$$

画素値ベクトル $\mathbf{y}[m, n]$ の平均ベクトルを $\boldsymbol{\mu}_y$, 自己共分散行列を \mathbf{R}_y とし, 自己共分散行列 \mathbf{R}_y の固有値問題を解き, 固有値 λ_j と固有ベクトル \mathbf{u}_j を求める. 求めた固有値 λ_j と固有ベクトル \mathbf{u}_j から, 式(8)により, 平均0, 分散1になるように無相関化した画素値ベクトル $\mathbf{Y}[m, n]$ を得る.

$$\mathbf{Y}[m, n] \equiv \Lambda^{-\frac{1}{2}} \mathbf{U}^T (\mathbf{y}[m, n] - \boldsymbol{\mu}_y) \quad (8)$$

$$\Lambda \equiv \text{diagonal}(\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2) \quad (9)$$

$$\mathbf{U} \equiv (\mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2) \quad (10)$$

2.4. 独立成分の抽出

無相関化画像に対し, ICAを用いることで独立な成分に分解し, 汚れ部分をさらに強調させる. 無相関化したベクトル $\mathbf{Y}[m, n]$ に対し, 次式の線形変換を用いることで独立な成分 $\mathbf{Z}[m, n]$ を抽出する.

$$\mathbf{Z}[m, n] = \mathbf{W}^T \mathbf{Y}[m, n] \quad (11)$$

ここで, 独立成分 $\mathbf{Z}[m, n]$ および線形係数行列 \mathbf{W} を次式で表す.

$$\mathbf{Z}[m, n] \equiv (Z_1[m, n], Z_2[m, n], Z_3[m, n])^T \quad (12)$$

$$\mathbf{W} \equiv (\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \mathbf{w}_3) \quad (13)$$

抽出する独立成分 $\mathbf{Z}[m, n]$ の独立性の基準として, 4次元モーメントである尖度を用いて非ガウス性の評価を行う. 線形係数行列 \mathbf{W} を, 次に示す評価関数 G が最大となるように決定する.

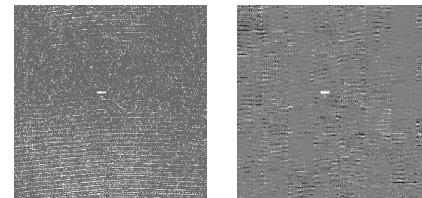
$$G = (\mathbf{w}_i^T \mathbf{Z}[m, n])^4 \quad (14)$$

本手法では, 評価関数 G の最大値を最急勾配法により探索し, 以下のアルゴリズムにより線形係数行列 \mathbf{W} を求める.

1. \mathbf{w}_i の初期値を乱数により決定する.
2. \mathbf{w}_i についての勾配 $\frac{\partial G}{\partial \mathbf{w}_i}$ を算出する.
3. $\mathbf{w}_i \leftarrow \mathbf{w}_i + \epsilon \frac{\partial G}{\partial \mathbf{w}_i}$
4. \mathbf{W} の直交化を行う. $\mathbf{W} \leftarrow (\mathbf{W}\mathbf{W}^T)^{-\frac{1}{2}}/\mathbf{W}$
5. G が収束していなければ, 2. に戻る.

3. 計算機実験

実験で用いた, 汚れの付着した布に白色LEDと近紫外LEDそれぞれを光源として撮影した対象画像(縦256×横256画素)を図1に示す. 図1に示す二枚の対象画像それぞれをテクスチャ構造の周期に合わせた34画素×34画素のブロックに分割し, $P = 20$ として, 2.2節のスパースコー



(a)既存手法[1] (b)提案手法

図3: 比較

ディングを用いてテクスチャ低減処理を行った結果画像を図2に示す. つぎに, テクスチャ構造の低減化を行った二枚の画像それぞれのRGB成分同士の差分の3乗の計3成分で無相関化を行い, 無相関化画像のRGB成分に対し, 独立成分に分解した $\mathbf{Z}[m, n]$ の第一成分を図3(b)に示す. また, 桶谷ら[1]が汚れの鮮明化を行った結果画像を図3(a)に示す. 図3より, 提案手法のテクスチャ構造が, より低減化されており, 汚れが検出しやすくなる.

4. おわりに

本論文は, 布の汚れ部分の鮮明化に関し, ICAを用いた手法を提案した. 提案手法は2段階の処理ステップから構成され, 第一段階として白色LEDを光源として撮影した画像と近紫外LEDを光源として撮影した画像の2種類の画像を用意し, それぞれの画像に対し, スパースコーディングを用いることで, 画像のテクスチャ構造が低減できることを示した. 第二段階としてテクスチャ構造の低減化を行った二枚の画像それぞれのRGB成分同士の差分の3乗の計3成分を無相関化し, 無相関化画像のRGB成分に対し, 独立成分に分解することで布の汚れ部分を鮮明化できることを示した.

本研究は科研費(25330211)の助成を受けたものである.

参考文献

- [1] 桶谷新也, 藤田和弘, 中森伸行, 森本成一: “主成分分析を用いた繊維汚れの画像鮮明化処理”, Journal of Texture Engineering, Vol.56, No.4, pp.107-115(2010)
- [2] 桶谷新也, 藤田和弘, 中森伸行, 森本成一: “近紫外LED光源を用いた独立成分分析による繊維汚れの画像鮮明化”, 映像情報メディア学会誌, Vol.64, No.11, pp.1655~1662(2010)
- [3] 伊藤良太, 桶谷新也, 藤田和弘: “PCAと部分空間法を用いた布の汚れの鮮明化画像処理, FIT2014”, 2014年9月