

PCAと部分空間法を用いた布の汚れの鮮明化画像処理 Sharpening Image Enhancement of cloth stain by using PCA and subspace method

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本研究の目的としている。

桶谷ら [1,2]は、PCAを用いた無相関化により、汚れの鮮明化を行い、さらに、ネグントロピーの最大化に基づくICAを用いた独立成分分解により、汚れ部分の強調を行っている。しかしICAを用いた汚れ部分の強調には、かなりの計算量が必要である。

本研究では、汚れが付着した布に白色光とブラックライトそれぞれを光源として撮影した二種類の画像を対象とし、まず、それぞれの画像に対しPCAによる固有部分空間への射影を用いたテクスチャ構造の低減処理を行う。つぎに、テクスチャ低減画像のそれぞれのRGB成分とRGB成分同士の差分の k 乗の合計9成分に対し無相関化を行う。

2.PCA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光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 は縦方向下向きの座標、 n は横方向右向きの座標、 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。同様にブラックライト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.テクスチャ構造の低減処理

まず、布のテクスチャ成分の低減を行う。昼白色蛍光灯とブラックライトを光源として撮影したそれぞれの画像に対し、テクスチャ構造の低減処理を行う。まず、図1に示すように、昼白色蛍光灯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し、 $\frac{M}{K} \times \frac{N}{L}$ 次元のブロック画像ベクトル $y^{wh}[k, l]$ を構成する。また、 $y^{wh}[k, l]$ の自己共分散行列 R_y^{wh} および平均

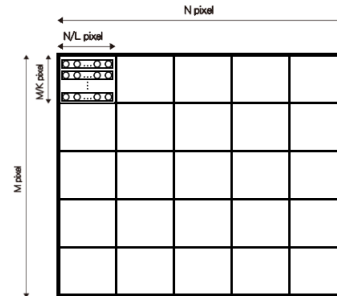


図1: 画像 x^{wh} の分割

ベクトル μ_y^{wh} を、式(4),(5)により定義する。

$$\mu_y^{wh} \equiv \frac{1}{KL} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} y^{wh}[k, l] \quad (4)$$

$$R_y^{wh} \equiv \frac{1}{KL} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} (y^{wh}[k, l] - \mu_y^{wh})(y^{wh}[k, l] - \mu_y^{wh})^T \quad (5)$$

つぎに、自己共分散行列 R_y^{wh} の固有値問題を解き、固有値 λ_i^{wh} と固有ベクトル u_i^{wh} を求める。

$$R_y^{wh} u_i^{wh} = \lambda_i^{wh} u_i^{wh} \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \quad (6)$$

ブロック画像ベクトル $y^{wh}[k, l]$ を式(7),(8)を用いて、 P 次元の部分空間に射影し、近似ベクトル $\hat{y}^{wh}[k, l]$ を得る。

$$\hat{y}^{wh}[k, l] \equiv \mu_y^{wh} + \sum_{p=0}^{P-1} c_p u_p^{wh} \quad (7)$$

$$c_p = (y^{wh}[k, l] - \mu_y^{wh})^T u_p^{wh} \quad (8)$$

ここで、値の大きな固有値に対応する固有ベクトル u_p^{wh} は、画像 $\{x^{wh}[m, n]\}$ における平均的なテクスチャを表していると考えられる。したがって、式(9)で定義する近似誤差ベクトル $e^{wh}[k, l]$ は、テクスチャ構造が低減された画像となる。

$$e^{wh}[k, l] \equiv y^{wh}[k, l] - \hat{y}^{wh}[k, l] \quad (9)$$

同様に、ブラックライトを光源として撮影した画像に対しても、式(4)-(9)を用いた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画像 $e^{bl}[k, l]$ 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。RGB成分はそれぞれ通常強い相関を有するので、自己共分散行列の固有値

[†] 龍谷大学大学院理工学研究科

[‡] 京都府中小企業技術センター

問題を考え、RGB成分の無相関化を行う。ここで、昼白色蛍光灯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 $e_R^{wh}[m, n], e_G^{wh}[m, n], e_B^{wh}[m, n]$ 、ブラックライト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 $e_R^{bl}[m, n], e_G^{bl}[m, n], e_B^{bl}[m, n]$ とし、それぞれのRGB成分、またそれぞれのRGB成分の差分のk乗をとった成分、計9成分に対して無相関化を行う。画素値ベクトル $z[m, n]$ を次式で定義する。

$$z[m, n] \equiv \begin{pmatrix} e_R^{wh}[m, n] \\ e_G^{wh}[m, n] \\ e_B^{wh}[m, n] \\ e_R^{bl}[m, n] \\ e_G^{bl}[m, n] \\ e_B^{bl}[m, n] \\ (e_R^{wh}[m, n] - e_R^{bl}[m, n])^k \\ (e_G^{wh}[m, n] - e_G^{bl}[m, n])^k \\ (e_B^{wh}[m, n] - e_B^{bl}[m, n])^k \end{pmatrix} \quad (10)$$

ここで二種類の画像のRGB成分に加えてそれぞれのRGB成分の差分のk乗を用いる理由は、汚れにブラックライトを当てると汚れ部分が弱く蛍光し、白色光を当てた画素値との差分のk乗をとることにより汚れ部分を強調することができること、見かけの情報量を増やすためである。

まず、画素値ベクトル $z[m, n]$ の平均 μ_z および自己共分散行列 R_z を以下のように定義する。

$$\mu_z \equiv \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} z[m, n] \quad (11)$$

$$R_z \equiv \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (z[m, n] - \mu_z)(z[m, n] - \mu_z)^T \quad (12)$$

この自己共分散行列 R_z の固有値問題を解き、固有値 λ_j と固有ベクトル u_j を求める。

$$R_z u_j = \lambda_j u_j \quad (j = 0, 1, 2, \dots, 8) \quad (13)$$

求めた固有値 λ_j と固有ベクトル u_j から、式(14)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 $Z[m, n]$ を得る。

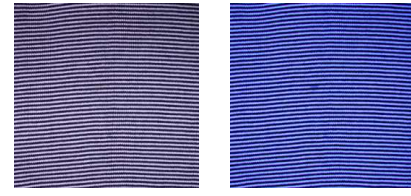
$$Z[m, n] \equiv \Lambda^{-\frac{1}{2}} U^T (z[m, n] - \mu_z) \quad (14)$$

$$\Lambda \equiv \text{diagonal}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_8) \quad (15)$$

$$U \equiv (u_1, u_2, u_3, \dots, u_8) \quad (16)$$

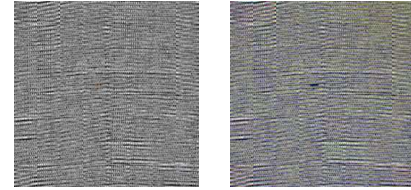
2.4. 計算機実験

実験で用いた、汚れの付着した布に昼白色蛍光灯とブラックライトを当てたそれぞれの対象画像を図2に示す。図2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あわせた 23×23 画素のブロックに分割し、式(7)-(9)を用いてテクスチャ低減処理を行った。部分空間次元数 $P=5$ でテクスチャ構造の低減を行った結果を図3に示す。つぎに、テクスチャ構造の低減を行った二枚の画像それぞれのRGB成分とRGB成分同士の差分の3乗の計9成分で無相関化した $Z[m, n]$ の第二成分画像を図4(b)に示す。また、桶谷ら [2] が、汚れの鮮明化を行った結果を図4(a)に示す。図4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、汚れが検出しやすいことがわかる。



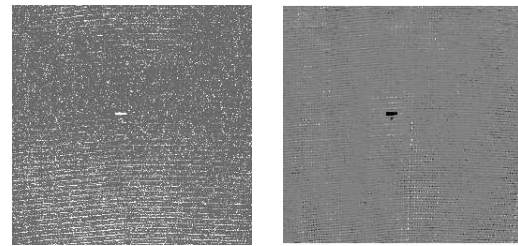
(a) 昼白色蛍光灯 (b) ブラックライト

図 2: 対象画像



(a) 昼白色蛍光灯 (b) ブラックライト

図 3: テクスチャ低減画像



(a) 既存手法[2] (b) 提案手法

図 4: 汚れの鮮明化画像

3. おわりに

本論文は、布の汚れ部分の鮮明化に関し、PCA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、第一段階としてブラックライトを光源として撮影した画像と白色光を光源として撮影した画像の2種類の画像を用意し、それぞれの画像を固有部分空間に射影し差分処理を行うことで、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成分とRGB成分同士の差分の3乗の計9成分を無相関化し、布の汚れ部分を鮮明化できることを示した。

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)