

連続織物画像の次元圧縮によるキャストシャドウ除去

小針 和也[†] 豊浦 正広[†] 寺田 貴雅[†] 茅 暁陽[†]

[†] 山梨大学 〒400-8510 山梨県甲府市武田 4-4-37

あらまし 単一の織物の撮影画像では、織物の質感を確認することが難しい。そこで、光源位置を変えた織物の撮影画像を連続的に再生することで、織物の質感を確認しやすくなるようにした。生成する連続画像を連続織物画像と呼ぶ。連続織物画像を生成しようとする、撮影機材のキャストシャドウが織物上に写り込んでしまうことが問題となった。本研究では、連続織物画像に写り込むキャストシャドウを除去する方法を提案する。非線形成分による影響を受けにくい Robust PCA による次元圧縮を連続画像列に適用し、拡散反射成分のみの画像を合成することで、キャストシャドウの影響を軽減した。原画像と次元圧縮後の画像を比較し、提案手法の有効性を検証する。

キーワード 次元圧縮, 主成分分析, キャストシャドウ除去

Removing cast shadow on fabric image sequence by dimension reduction

Kazuya Kohari[†] Masahiro Toyoura[†] Takamasa Terada[†] and Xiaoyang Mao[†]

[†] University of Yamanashi 4-4-37 Takeda, Kofu-shi, Yamanashi, 400-8510 Japan

Abstract In a single photograph of fabric, it is difficult to observe the fine texture and material properties of the fabric. We propose to reveal the detail texture of fabric by using a sequence of photographs captured by changing the direction of light source. One problem encountered in implementing such approach is how to remove the shadows of the photographic equipment cast on the sequence of fabric images. In this paper, we propose a method to remove shadows on the images by applying Robust PCA to the image sequence with only diffuse reflection components. We compare original images with dimensionally reduced images and verify the effectiveness of our method.

Keyword Dimension reduction, Principal Component Analysis, Removing cast shadow

1. はじめに

織物を撮影した画像を Web ページ等に掲載することによって、展示会に出展することなく織物の宣伝をすることができる。全世界に対して発信することができる。コストをかけずに幅広い顧客へのアピールをすることができる。しかし、単一の撮影画像ではデザインの凹凸や織物の質感を確認することが難しい。そこで、光源位置を変えた織物の撮影画像を連続的に再生することで、織物の質感を確認しやすくなるようにした。ここで生成する連続画像を連続織物画像と呼ぶ。連続織物画像の撮影環境を図 1 に示す。連続織物画像を生成しようとする、図 2 に示すような撮影機材のキャストシャドウが織物上に写り込んでしまうことが問題となる。キャストシャドウが写り込む織物画像は、サンプルの美しさを伝えるのに障害となる。本研究では、連続織物画像に写り込むキャストシャドウを除去する方法を提案する。

キャストシャドウを除去するために、連続織物画像

に対し主成分分析 (PCA: Principal Component Analysis) を利用する。PCA によって次元を圧縮し、連続織物画像の主成分として織物部分のみの画像を合成すれば、原理的には線形成分のみで記述される拡散反射光成分が残り、非線形成分から成るキャストシャドウが除去できると期待できる。しかし、一般的な PCA では非線形成分が低次線形成分への分離に悪影響を及ぼしてしまう。したがって、非線形成分の影響を受けにくいロバストな PCA を適用する必要がある。

物体表面で観測される反射光は光源方向によって変化し、拡散反射と鏡面反射の和で表現される¹⁾。拡散反射は視線方向に依らず、物体の表面に入射する光の角度によって変化する低次の線形成分である。一方で、鏡面反射は視線方向に依存して変化し、正反射方向付近で強く観測される非線形成分である。面光源によるキャストシャドウは半影の特徴を持ち、これは物体に遮られなかった光の畳み込みによって表される。よって、キャストシャドウもまた非線形な成分に含ま

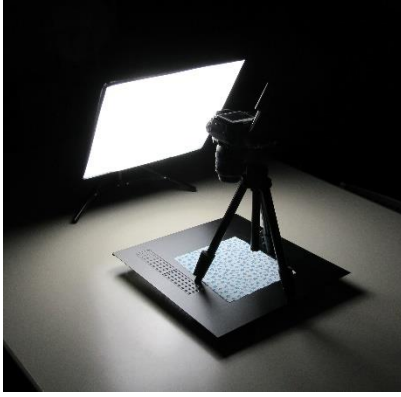


図 1: 撮影環境

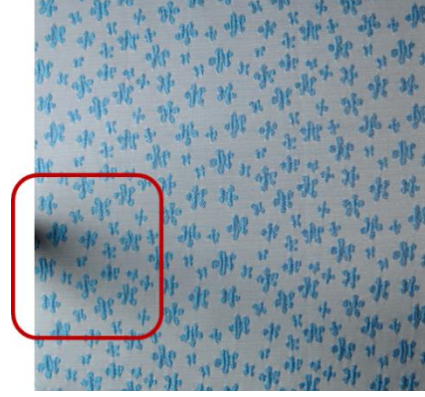


図 2: 織物画像とキャストシャドウ（枠内）

れる。

本研究では、PCA の精度を向上させるために、非線形成分を分離したうえで線形成分に対し PCA を適用する Robust PCA²⁾ を採用する。Candès ら²⁾は Robust PCA によって、光源位置を変えて撮影した 58 枚の顔写真から、顔に写り込むキャストシャドウを軽減することに成功している。

実験では連続織物画像に Robust PCA を適用し、キャストシャドウを除去する。その実験結果から提案手法の有効性を検証する。

2. 提案手法

2.1. 主成分分析と次元圧縮

主成分とはデータの特徴をよく表す要素のことである。主成分は低次元から高次元になるにつれて、データへの寄与率が小さくなる。連続織物画像においては、拡散反射成分で構成される要素は低次元に存在する寄与率の高い主成分である。主成分分析 (PCA) とそれによる次元圧縮では、データの主成分を求め、寄与率の小さい主成分を省略することで、次元を削減する。

連続織物画像に PCA を適用し次元を圧縮すれば、寄与率の高い主成分である織物部分のみを残すことができるため、キャストシャドウを除去できると考えられる。提案手法では、非線形成分を分離することでその影響を軽減することができる、Robust PCA を適用する。

Robust PCA は式(1)によって表現される。

$$M = L + S \quad (1)$$

M は原画像のモデル、 L は主成分に相当する線形成分から成る低次元モデル、 S は非線形成分から成るスパーースモデルである。Robust PCA では、線形成分の分離と、線形成分では表現できない非線形成分の分離とを同時に行うので、非線形成分の影響を抑えた次元圧縮が実現できる。連続織物画像に Robust PCA を実行すると、 M は入力画像列、 L はキャストシャドウが除去

された画像列、 S はキャストシャドウや鏡面反射光によって構成される画像列になる。

2.2. 連続織物画像の構成

連続織物画像は図 1 に示す環境で撮影する。光源は固定されているが、織物とカメラが乗った台座を回転させながら撮影することで、光源の位置を相対的に変化させる。各画像の画素数はすべて等しくなる。

Robust PCA を実行するために、連続織物画像を行列として扱う。この行列を図 3 に示す。この行列は各画像の RGB 成分を 1 列に再配置し、水平に連結したものである。したがって、高さ i 、幅 j 、画素数 $i \times j$ である、画像枚数 N の連続織物画像の場合、列方向の大きさが $i \times j$ 、行方向の大きさが $3 \times N$ の行列となる。

また、連続織物画像における Robust PCA による次元圧縮は図 4 に示すモデルで表される。低次元モデル L の次元数は、主成分の次元数 r に等しい。

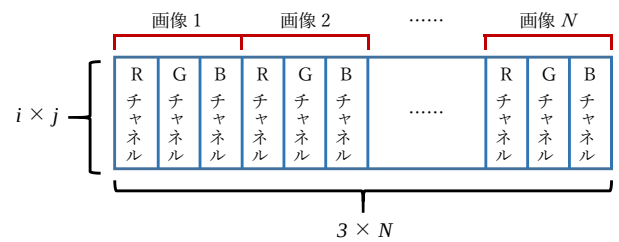


図 3: 連続織物画像の行列化（式(1)の M ）

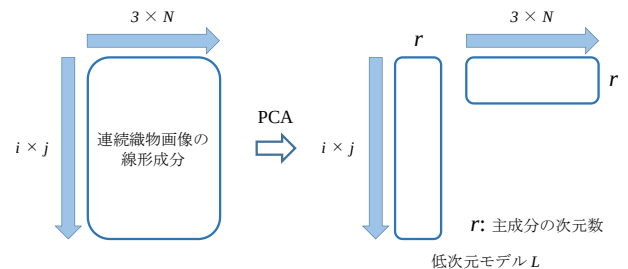


図 4: 次元圧縮のモデル

3. 実験と評価

連続織物画像に Robust PCA を適用する．連続織物画像は 12 及び 24 枚の画像によって構成し，2 種類の織物を実験の対象とした．実験に用いるプログラムは MATLAB R2016b で実装した．

図 5，図 6 に各織物における Robust PCA の適用結果を示す．図 5，図 6 は共に，(a) が画像枚数 12 枚，(b) が画像枚数 24 枚における結果であり，特定の画像を抜粋したものである．図 4 の r に相当する低次元モデル L の次元数は，画像を構成する行列のランクの値とする．実験では L が 9 次元となるように Robust PCA を実行する．この次元数は実験を通して得られた最適な値である．スパースエラーを表す画像は負の画素値を有する場合があるため，全ての画素値に 128 を加算した．

図 5 中の織物は緑無地のデザインであり，図 6 中の織物は白地に青い凸状の花柄模様様が施されている．図 5 及び図 6 は(a),(b)共に，原画像では左側にキャストシャドウが存在するが，低次元成分のみの画像ではキャストシャドウの影響が軽減され，(b)の方がより影響を軽減できていることが確認できる．スパースエラーを表す画像には除去されたキャストシャドウと鏡面反射成分が見られる．図 5 ではスパースエラーに含まれる織物の鏡面反射成分は少ないが，図 6 では花柄模様部分の鏡面反射成分が多く含まれていることがわかる．

連続織物画像の画像枚数を増やすと，キャストシャドウの除去効率が向上することが分かった．この結果について考察する．

原画像列となる連続織物画像の画像枚数を増やすと，Robust PCA を適用するサンプル数が増えることとなる．よって，織物の拡散反射成分のサンプル点が増加することになり，拡散反射成分をより強く残した次元圧縮が可能になる．これが，連続織物画像の画像枚数を増やすことでキャストシャドウの除去効率を向上できた要因であると考えられる．一方で，画像枚数の増加を重ねても，拡散反射成分を表現する次元は変わらない．したがって，画像枚数の増加と拡散反射を表現する主成分の関係はある真値に収束するとも考えられる．

実験結果より，提案手法によって連続織物画像のキャストシャドウを除去できることがわかった．さらに，連続織物画像の画像枚数を増やせば除去効率が向上することもわかった．しかし，図 6 が示す結果ではスパースエラーに織物の模様部分の色を表現する成分が多く含まれ，低次元成分のみの画像において色の損失が発生した．宣伝用途に使用するためには画像の劣化は問題である．図 5 のような無地の織物であれば提案手法は有効であるが，図 6 のような模様のある織物では異なる手法を適用しなければならず，後者は本研究

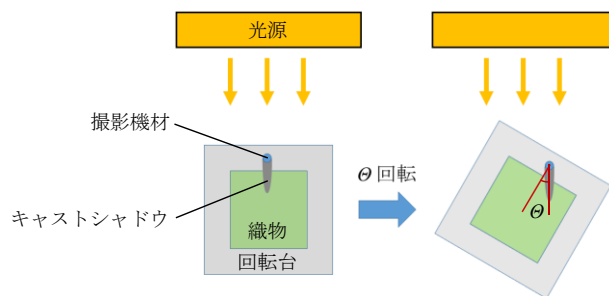


図 7: 台座の回転角とキャストシャドウの位置関係

の課題となる．

この課題を解決するために，現在は織物を乗せた台座の回転角とキャストシャドウの位置関係に着目している．図 7 に示すように，連続画像の撮影時に台座を θ 回転すると，キャストシャドウの位置も θ 回転する．回転角 θ が同じであれば，同じ範囲にキャストシャドウが観測されることを利用し，推定されるキャストシャドウの観測範囲のみを対象に画像修復を実行すれば，鮮明な織物画像を復元できると期待できる．

4. むすび

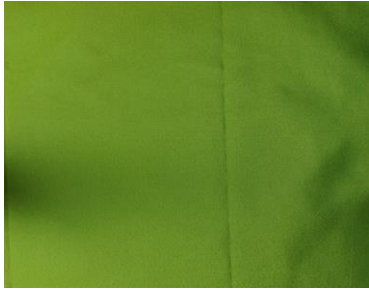
本研究では，連続織物画像に写り込むキャストシャドウを除去する手法を提案した．提案手法では，連続織物画像に非線形成分の影響を受けにくい Robust PCA を適用することで，拡散反射成分を強く表現する次元に圧縮し，キャストシャドウを含む高次元成分を除去する．実験により，提案手法によってキャストシャドウを除去できることが確認され，無地の織物であれば提案手法は有効であることがわかった．しかし，模様のある織物では鏡面反射成分と共に，模様の色を表現する成分も除去されてしまい，この問題は本研究の課題となった．この課題を解決するアプローチとして，現在は織物を乗せた台座の回転角からキャストシャドウの範囲を推定し，画像修復によって織物画像を復元することを考えている．

謝辞

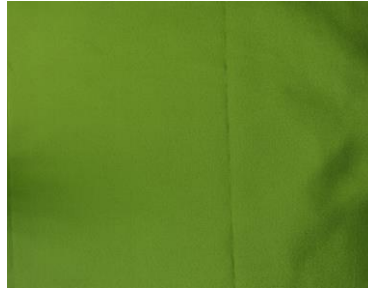
本研究は JSPS 科研費 JP16H05867 の助成を受けたものである．

文 献

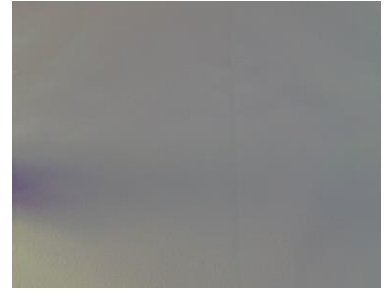
- [1] 森隆浩，日浦慎作，佐藤宏介，”主成分分析と光学現象の分類に基づく画像の線形化”，画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2011)，vol. 2011，pp. 907-914，2011．
- [2] Candès, E. J., Li, X., Ma, Y., Wright, J., “Robust Principal Component Analysis?”, Journal of the ACM (JACM), vol. 58, no. 3, article 11, 2011.



原画像

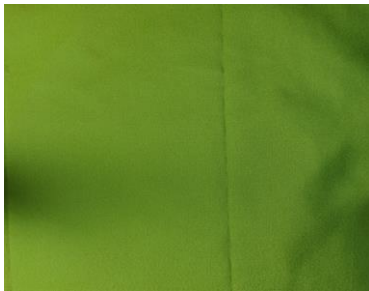


低次元成分のみの画像
(次元数 9)

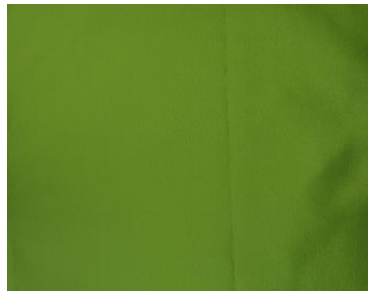


スパースエラー

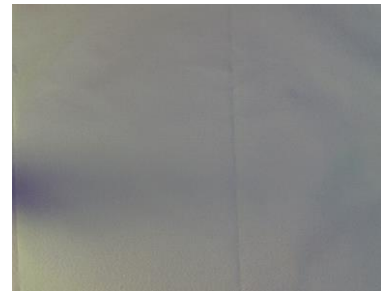
(a) 画像枚数 12 枚



原画像



低次元成分のみの画像
(次元数 9)



スパースエラー

(b) 画像枚数 24 枚

図 5: キャストシャドウ除去結果 (織物 1)



原画像



低次元成分のみの画像
(次元数 9)



スパースエラー

(a) 画像枚数 12 枚



原画像



低次元成分のみの画像
(次元数 9)



スパースエラー

(b) 画像枚数 24 枚

図 6: キャストシャドウ除去結果 (織物 2)