

[招待講演] 織物製造及び設計における画像処理の役割について

五十嵐 哲也[†] 豊浦 正広[‡] 茅 暁陽[‡]

[†] 山梨県産業技術センター 〒403-0004 山梨県富士吉田市下吉田 6-16-2

[‡] 山梨大学 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11

あらまし 19世紀のジャカード織機の誕生は情報科学の黎明期に影響を与え、現在は画像処理技術がジャカード織物の高度化に貢献している。ジャカード織物設計は経糸と緯糸の交差を表す二値情報の編集であるため画像処理の手法を導入することで高度化が可能であり、両者の協業は相互の研究領域を深める可能性がある。本稿では織物の歴史を概観しながら近年の研究からその一例を示し、織物製造における画像処理の役割について述べる。

キーワード 織物, ディザ, パンチカード, 画像処理

Image Processing for Textile Production and Design

Tetsuya IGARASHI[†] Masahiro TOYOURA[‡] and Xiaoyang MAO[‡]

[†] Yamanashi Industrial Technology Center 6-16-2 Shimoyoshida, Fujiyoshida-shi, Yamanashi, 403-0004 Japan

[‡] University of Yamanashi 4-3-11 Takeda, Kofu-shi, Yamansahi, 400-8511 Japan

Abstract The invention of Jacquard loom in the early 19th century made a great influence for the birth of information science, and the image processing technology contributes to the development of jacquard textile in recent years. Since design process of jacquard weaving basically consists of editing binary data; over-under relationship of warp and weft yarns, image processing technology has a validity for upgrading them. This article describes an overview of the history of textile and information technology with examples of the study extending over both fields, and the possibility of image processing for future textile production and design.

Keyword Textile, Dither, Punched card, Image Processing

1. 織物製造及び設計について

1.1. 織物の歴史的発展

糸から形成される平面状の構造物には大別して編物、織物、不織布（フェルト）があり、それぞれ有史以前からの歴史を持つ。なかでも織物は世界の多くの文化で受け継がれる主要な技術であり、日本でも縄文時代には織物が製造されていたとされる^[1]。その発展過程において、織物製造に関する科学は染色化学、生物学、農学、工学など様々な学術分野にまたがり、織物は人類の科学技術とともに発展してきたといえる。

情報科学と織物との関わりについては、経糸を複雑に操作して柄を現出するジャカード織機の誕生に遡る。いまあるジャカード織物のルーツは、紀元前後の中国で生まれた花機または提花機（日本では空引機）^[2]が存在していたが、数百本以上の経糸一本ずつを同時に制御する本格的なジャカード織機はフランスのJ.M.ジャカルによって1801年に実用化された。ジャカルはそれまで人の手で行っていた経糸の制御を、パンチカードの読み取り機構によって自動化した。いわゆるジャカード織機の誕生は、媒体に記録された情報を読み取って機械を制御した人類初の事例と考えられる。

このパンチカードによる情報処理を応用してC.バベッジはプログラム可能な計算機を世界で初めて考案、1887年にはH.ホレリスがパンチカードシステムを実用化して以降、コンピュータ以前の情報処理の主流となった。

現在のジャカード機構は、電子制御により1万本以上の経（たて）糸を操作し、コンピュータ以前には不可能だった巨大な意匠を実現することができる。しかしパンチカード式の織機を使用している工場は現在でも少なくなく、山梨産地でもまだ数多くが稼働中である。

1.2. 紋データによる織物製造と設計

織物製造に必要な情報を記録するうえで紋紙（日本では織物用パンチカードを紋紙という）が有効なのは、織物構造が経糸と緯糸の交差における上下関係という、二値情報を最小基本単位としていることに由来する。経糸を上下だけでなく左右にも動かす紗織りのような特殊な例を除けば、織物の構造は次のように二値情報で表すことが可能である。図1に示すように、例えば織物組織図では経糸が上のときに「■」、紋紙上では穴をあけることで示され、緯糸が上の交差は「□」、紋紙

上では穴を開けないことで示される。ただし、実際には紋紙では織物構造を示す組織図だけでなく、織機の緯糸選択機構に用いる杼替えデータのように3か所の穴の有無を用いて3bitの情報記録される場合もある。

1.3. 織物組織と制約

経糸と緯糸の上下関係を示す織物組織図における「■・□」の配置パターンの違いにより、織物組織は平織・綾織(斜文織)・縐子織(朱子織)という三原組織に大別される。これらは経糸及び緯糸の本数に対応して概ね数～十数マス四方程度のマトリクスで表される「完全組織」を最小単位とし、経糸・緯糸方向にタイリングして用いられ、糸が実際に織られたときには織物組織は糸の立体構造に変換される。

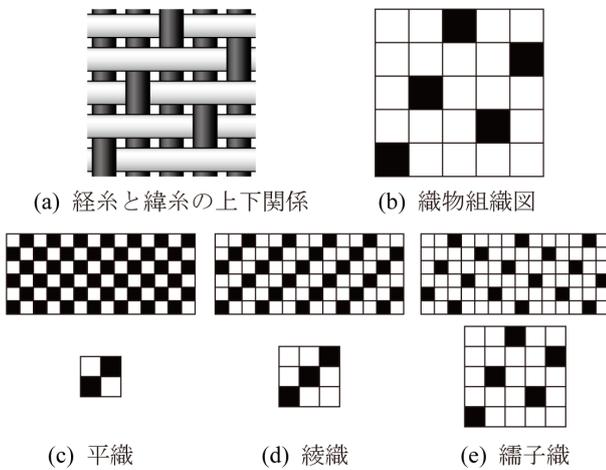


図1 織物組織図と三原組織

織物組織をもとに形成される生地 of 堅牢性や美的な外観を保持するために、織物組織には次のような条件が求められる。

- (1) 交差が起こらない個所が経糸・緯糸方向ともに一定の長さ以上続かないこと。
- (2) 交差の間隔の長短の差が経糸・緯糸方向ともに一定の範囲内であること。

これらのうち(1)が守られない場合には糸の浮きが長すぎることで糸が外力によって損傷したり引っ張り出されたりという弊害が起こり、(2)ではノイズ状の外観をもたらすことになる。ここでは、これらを織物制約と呼ぶ。

1.4. 画像処理による織物設計

ジャカード織物では、表現しようとする図案を領域分割し、領域毎に異なる織物組織タイリングすることで織物上に柄を現出する。ジャカード織物設計においては図案中の領域数、使用する糸の素材、番手、密度など製織条件を勘案しながら、織物制約のもとで適切な織物組織を選択することが求められるため、設計者には、複雑な作業と高度な技術が要求される。この設

計プロセスにおいて、図案と織物組織を関連付け、二値データに変換する作業を紋処理と呼ぶ。現在紋処理は紋処理用デザインシステムを用いて行われているが、ここで行われる画像処理は、デザイン画などの画像を減色し、領域分割することと、織物組織のタイリングを意匠図と呼ばれる表記法を用いて編集することの2つからなる。紋処理はコンピュータ技術により大幅に省力化されているが、基本的には200年前から行われていた手作業をデジタル化したものといって良い。

2. 織物によるグラデーション表現

2.1. 増点法

ジャカード織物は、前節で述べたように異なる組織を領域毎にタイリングして形作られるため、各領域の内部については平坦で様なパターンとなっている。一方、伝統的なジャカード織物技法の中には、図2に示すように段階的に階調が変化するグラデーションを表現する増点法と呼ばれる手法がある。増点法は織物制約を守りつつ{■:□}比が段階的に変化する織物組織を並置することで、連続的な階調を実現する。しかし従来の増点法では段階数の少なさは避けられず、緩やかなグラデーションを表現しようとする場合には、熟練者による手作業を要するという課題がある。

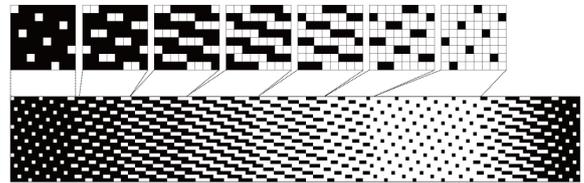


図2 増点法による階調表現

2.2. 従来技術とその課題

この課題を解決し発展させる手法として写真織と呼ばれる技術が増点法をもとに提案されてきた。例えばNgら^[3,4]は増点法の段階数を大きく増やし、データベース化したそのパリエーションを用いることで、カラー写真のように連続的に変化する階調と色彩を実現する手法を示した。しかしながら、筆者らはそれらの手法では緩やかな階調のグラデーションにおいて生じる意図しない繰り返しパターン(アーティファクト)の発生、また織物組織サイズ未満の微細構造が再現できないことなどの課題を見出した。

3. 課題解決のための技術開発

筆者らは前節で述べた課題を解決し、緩やかなグラデーションをはじめ、従来手法では表現できなかった高精細な連続階調を織物上で再現するために、新たに織物組織生成に特化したディザマスクであるステップ

ングディザマスクを用いた組織的ディザ法^[5]による画像処理技術を開発した^[6,7]。図3にステッピングディザマスクによる二値化処理の概要を示す。

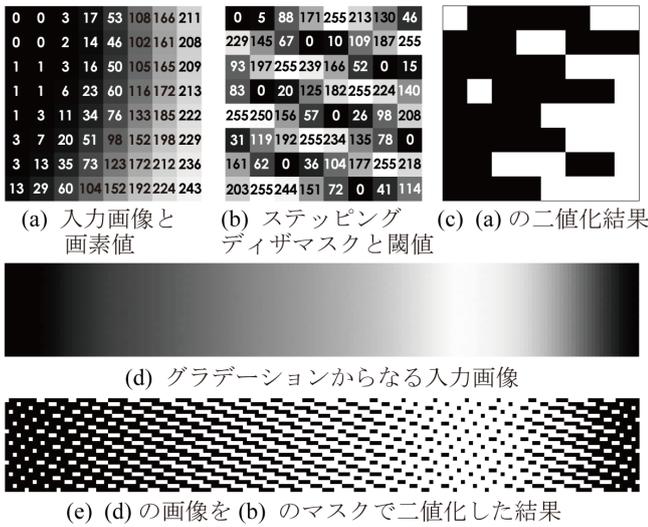


図3 ステッピングディザマスクと二値化結果

3.1. ステッピングディザマスクとその最適化

ステッピングディザマスクは増点法の段階数を最大化した場合と同等の二値画像を出力するよう設計されたディザマスクである。ステッピングディザマスクは織物制約を満たす二値化結果を得るために、各行・列に一度の交差が起るよう0と255の閾値が各行・列に一つずつ含まれ、またその間の閾値についてはその名が示すように階段状に配置する。0と255以外の閾値は、各行・列に均等に分散していないと緩やかなグラデーションなど低周波領域においてアーティファクトを発生するため、筆者らは閾値の配置を厳密に記述する数列をオーダーユニットとして定義し、閾値の偏りを数値化したコスト関数が最小となるオーダーユニットを求めることでステッピングディザマスクの最適化を行った^[8]。これによる二値化技術を、ここではOSD(Ordered Stepping Dithering)法と呼称する。

3.2. 微細構造の再現手法

OSD法などの組織的ディザ法は、一つのディザマスクのブロック全体としてその領域の輝度を統計的に再現するが、マスクサイズよりも小さな視覚的構造はディザパターンの構造に埋没し、そのため入力画像の高周波成分が再現されにくいという課題があった。そこで、ステッピングディザマスクを使った組織的ディザ法のプロセスに、織物制約を尊重しながらローカルな明暗情報を優先する二値化プロセスを組み込み、微細構造をよりよく再現する手法を開発した。具体的には、ある限定された領域において、画素単位で閾値を定めた通常の組織的ディザ法の代わりに、マスクサイズ全体として輝度を保存するよう配慮しながら入力画素の

輝度の明暗に応じて出力画素を0と255へ振り分ける二値化を行う。その領域を定義するために、まず図4(a)に示すような、境界スロットという概念を用いる。

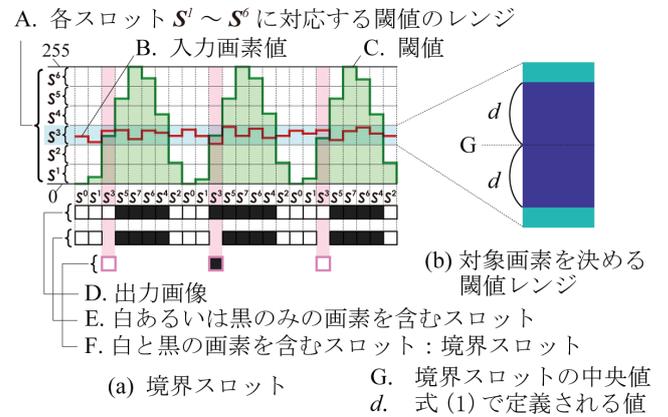


図4 境界スロット

境界スロットは、入力画像のうち、二値化の結果として交互に現れる0と255の境界にあたり、かつ階段状の閾値の各行における同じ段数のステップ、ここでいう同一のスロットに相当する領域である。そして境界スロットにおける各スロットのうち、次の式で定められた範囲内にある画素値を持つ画素、すなわち対象画素に対して、入力画素の輝度の明暗に応じた二値化処理を行う。

$$d = R' \times S / (n - 2) \quad (1)$$

数式(1)において R' は、デザイナーが階調差の強調度を制御可能とするための係数である。 S は入力画像のディザマスクサイズ内にある画素の標準偏差を表し、入力画像に含まれる微細構造の複雑さに応じて対象画素を増やす作用をもたらす。値 n はディザマスクサイズにあたる。対象画素は、図4(b)に示すように各スロットの閾値レンジの中央値から上下に d の幅の範囲に画素値を持つ画素とする。この手法を、閾値をレンジとして扱う二値化手法であることからTVR(Threshold Value Range)法と呼称する。

3.3. スムースな階調と微細構造の両立

より広いレンジの空間周波数に対応した織物ディザを行うことを目的とし、前節までに述べた2つの手法を併用する手法を開発した。併用にあたって、ある画素において入力画像の変化の度合いを基準として画素単位での閾値処理を行うことでOSD法とTVR法のどちらの結果を採用するかを決定する。入力画像の変化の度合いは数式(2)の A^p を用い、閾値を T^p として $A^p \geq T^p$ となったときTVR法が用いられる。ここで、 $p(x, y)$ は座標 (x, y) の画素値とし、 T^p は実験結果をもとに6として試織を行った。

$$A^p(x, y) = \frac{1}{24} \sum_{i=-2}^2 \sum_{j=-2}^2 |p(x, y) - p(x+i, y+j)| \quad (2)$$

本手法による試織結果を図 5 に示す. 図 5(a)はオーダユニットによる最適化を行っていないステッピンググディザマスクによる結果, 図 5(b), (c)は OSD 法と TVR 法の併用し, 係数 R^l による枝の細部の再現性の違いを示すとともに, 低周波領域でのアーティファクト除去の効果も示している. 図 5 (d)~(f)はいずれも OSD 法と TVR 法を併用し, 係数 R^l による山腹の雪渓細部の再現性の違いを示したもので, コントラストの低い入力画像にも微細構造の再現に効果があることを示した. これらの結果から, 織物上で入力画像を再現するうえで低および高周波領域での課題を解決し, より広いレンジの空間周波数に対応した織物表現が可能となった.

4. 結言

ジャカード織物は, 互いに直交する経糸・緯糸の色と互いの交差構造により視覚効果を布上に表現する. ここで述べたような, 織物制約を考慮しながら視覚情報の再現を高度化するための研究は, 視覚情報と媒体構造, 両方の設計を同時に行い最適化しようとする試みであるといえる. 媒体そのものの構造が視覚的な情報を表現する役目も担うという意味で, 紙やモニタスクリーンを媒体として表現される印刷やデジタル画像などと大きく異なっている. ジャカード織物の誕生時に画像処理という言葉はなかったが, 織物構造を考慮

しつつ手描きの図案を方眼紙上の二値情報に変換する作業は, 人の手によるデジタルな画像処理であった. 本稿でジャカード織物の歴史とともに概観し, また近年の研究の一例で示した織物における画像処理の役割は, 今後新たな視点からの探求により様々な可能性を持つものと思われる.

文 献

- [1] 福井貞子: “ものと人間の文化史 123・染織”, 法政大学出版局, 東京, pp.1-3(2004)
- [2] 阿久津光子: ”ジャカードという表現”, 総合文化研究所年報, 第 20 号, pp.35-58(2012)
- [3] F. Ng and J. Zhou: “Innovative jacquard textile design using digital technologies”, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp.27-48(2013)
- [4] F. Ng and J. Zhou: “Digital jacquard textile design in a colorless mode”, Res. J. Text. Apparel Research, 10, pp.36-42(2006)
- [5] B. E. Bayer: “An optimum method for two-level rendition of continuous-tone pictures”, IEEE ICC , pp.11-15(1973)
- [6] 豊浦正広, 五十嵐哲也, 庄司麻由, 茅暁陽, “ジャカード織物作製のための制約付き画像二値化”, 芸術科学会論文誌, Vol.13, No.3, pp.124-133(Sep. 2014)
- [7] 豊浦正広, 五十嵐哲也, 庄司麻由, 茅暁陽, “ジャカード織物作製のための領域内パターン生成と領域間パターン最適化”, Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム, (Jun. 2014)
- [8] T. Igarashi, M. Toyoura, and X. Mao: “Optimizing Dither Mask for Rendering Smooth Tone on Fabric”, NICOGRAPH Int.2016, pp.75-82(Jul. 2016)

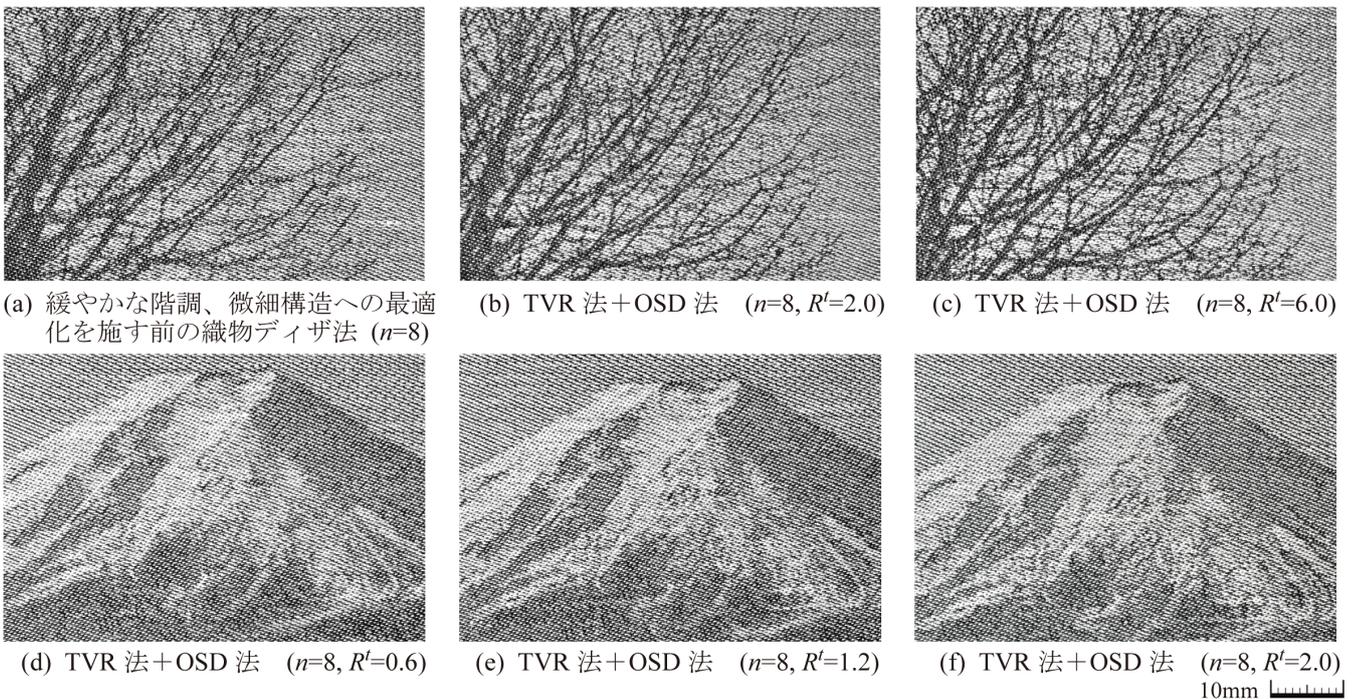


図 5 製織結果