

ジャカード織物作製のための制約付き画像二値化

豊浦 正広¹⁾(正会員) 五十嵐 哲也²⁾(非会員) 庄司 麻由¹⁾(非会員) 茅 暁陽¹⁾(正会員)

1) 山梨大学 2) 山梨県富士工業技術センター

Constrained Image Binarization for Jacquard Fabric Pattern Generation

Masahiro Toyoura¹⁾ Tetsuya Igarashi²⁾ Mayu Shoji¹⁾ Xiaoyang Mao¹⁾

1) University of Yamanashi

2) Yamanashi Prefectural Fuji Industrial Technology Center

概要

任意の画像をジャカード織物にするための新しい二値化技術を提案する。印刷などで用いる画像二値化のためには、ディザ法に代表される数多くの手法が提案されているが、一定範囲以内の間隔で経糸と緯糸を上下させる制約条件を持つジャカード織物のためには、いずれの手法も適用できなかった。この制約条件を満たさないパターンで織られた織物は、糸が長い距離を組織されずに露出することで外力にさらされ、破損や切断を招くなど不都合を生じる。本研究では、ジャカード織物のための組織的ディザ法に基づいた制約付き画像二値化手法を提案する。さらに、従来の組織的ディザ法による二値化結果で見られるような過剰な規則性をなくす手法についても、併せて提案する。提案手法で生成された二値パターンから織り上げた複数の結果を検証することで、提案手法の有効性を示す。

Abstract

We propose a new method for converting a gray-scale image into a ready to weave jacquard weaving pattern image. A Jacquard weaving pattern can be represented as a binary image with black pixels and white pixels representing for warps and wefts, respectively. To avoid having long uncrossed threads in the resulting fabric, which are easy to be broken or torn, weaving patterns are subjected to the constraint that warps and wefts should cross each other at least once within a certain interval. Naïve application of conventional dither algorithms results in binary images breaking such constraint easily. We solve the problem by using a novel dither pattern providing the control over the positions where warps and wefts cross. Our method also allows the user to adjust the regularity of weaving patterns so as to remove the visual artifacts caused by the repetition of dither patterns. We validated the proposed method by experimentally weaving several images of varying properties.

1 はじめに

情報技術を取り入れた工芸はデジタルファブリケーションと呼ばれ、近年になって盛り上がりを見せている。国際会議 SIGGRAPH でも 2012 年からファブリケーションのセッションが設けられている。織物は文明の初期から続く工芸として、また産業革命から近代までは経済を牽引する主要産業として、現代に受け継がれてきた。

ジャカード織物では、多数並列化された経糸（たていと）に対して、緯糸（よこいと）を任意に上下させて織ることで、複雑な模様を織り出すことができる。経糸と緯糸の上下関係は、パンチカードやプログラムによって、格子点ごとの上下関係による二値データとして定義することができ、これを表現した画像を組織図と呼ぶ。また組織図のうち、ジャカード織物で用いられる複雑で大規模な組織図は、ジャカード組織図と呼ばれ、単純で規則的なものとは区別されて扱われる。ジャカード組織図は、その制作過程の多くがコンピュータ化した現代においても、最終的には熟練職人の手作業でデザインされることがほとんどである。このため、完成されたジャカード組織図のひとつひとつは、それぞれの織物業者の意匠資産として大切に扱われている。これらのジャカード組織図はこれまで設計者のスキルに頼って作られてきたが、写真やイラストなどのデジタル画像から新たなジャカード組織図を自動あるいは半自動で生成することができれば、状況や個人に応じた柔軟なジャカード組織図の生成が可能になる。そこで本研究では、ジャカード組織図の生成を画像処理技術により半自動化する手法を提案する。

なお、本研究の成果の一部は、NICOGRAPH2013 において報告された [1]。

2 ジャカード組織図の生成工程

図 1 に平織の構造図と組織図、図 2 に縷子織の構造図と組織図を示す。図中では黒色で経糸、白色で緯糸を表現し、構造図中のそれぞれの格子点上の重なりが、実際の織物上で再現される。これらと綾織を含めた三つの織り方が三原組織と呼ばれ、織物を考える上で最も基本的な構造となる。一般的な織物の上では、これらの組織図がタイル状に敷き詰められることになる。どの織り方を選ぶかによって、できる織物の風合いが変わる。

それぞれの構造図をデザインするのに適した形で記述した画像が、図 1(b) および図 2(b) に示す組織図である。それぞれの小ブロックを明暗の二値で記述することで、対応する各格子点で経糸と緯糸のどちらが表に出るかを表現することができる。

経糸と緯糸が図のように二色の異なる色で染められている場合には、経糸と緯糸のどちらが表に表れるかで色の違いを表現することができる。図 2 では暗い色の経糸が多く表に表れるので、全体的に暗い色となる。

ここで注意されたいのが、経糸と緯糸のいずれもが一定間隔以内ごとに表に表れなければいけないという制約を受けていることである。たとえば、図 2 において緯糸が一定間隔で表に出ているが、これには経糸がほつれないように押さえる目的がある。逆に経糸をできるだけ裏に隠す場合においても、一定間隔で緯糸を裏にして経糸を押さえる必要がある。この制約を満たすパターンを生成することが、本研究で最も重要な点である。

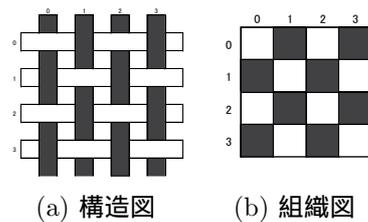


図 1: 平織

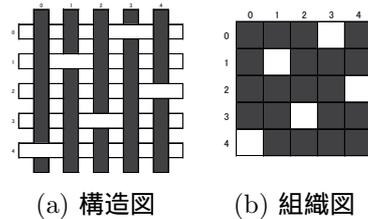


図 2: 縷子織 (5 枚縷子)

ジャカード織物では、組織図を設計者が自由に定義することができる。上述の組織では、それぞれの小さなパターンをタイル状に敷き詰めて織るが、ジャカード織物では、数百本から数千本の経糸と緯糸から定義される格子点のそれぞれについて、経糸と緯糸のどちらを表に出すかを定めることができる。ただしこのときにも、経糸と緯糸のいずれもが一定間隔以内ごとに表に表れなければいけないという制約を通常は受ける。

図 3 は、デジタル画像からジャカード織物のパターンを生成する工程を示している。 N 枚の縷子織のときには、まず、図に示すような $N - 1$ 個の規定のパターンを定義する。それぞれの規定パターンは、縦横の各列・各行にある N 個の格子点のうち、1 個から $N - 1$ 個の格子点で緯糸が上になるようなものである。 N 個の格子点で 0 個、または、 N 個の格子点で緯糸が上に来ると、経糸と緯糸が一度も交差しないことになり、織物パターンとして不適切なものになる。次に、入力パターンも明るさで $N - 1$ 階調となるようにし、それぞれの明るさの領域に、対応する規定のパターンを割り当てることでパターンを生成する。

単純にパターンを当てはめるだけでは図柄の境界付近ではみ出したり欠けたりするので、組織図を手作業で変更して完成する。たとえば、図 4(a) に示す画像に対しては、明るい部分に緯糸が多く現れる 8 枚縷子織のパターンを、暗い部分に経糸が多く現れる 8 枚縷子織のパターンをそれぞれ割り当てて、図 4(b) のジャカード組織図を得ることができる。このままでは、図柄の境界付近ではみ出したり欠けたりするので、図 4(c) に示すように、赤で示す部分を経糸に、青で示す部分を緯糸に手作業で変更して、ジャカード組織図を完成する。

しかしこの方法では領域ごとにしか明暗を表現できず、図に示すような簡単な画像しか表現できない。また、明るさも離散的にしか表現できないので、グラデーションを持つ図柄を表現するには、手作業でパターンを少しずつ変えながら敷き詰めていく必要があった。また、入力画像を $N - 1$ 階調化することによって、特にグラデーションが現れる領域で、明るさの境界が目立つことがある。図 3 では、肌の領域で $N - 1$ 階調化による境界が現れている。

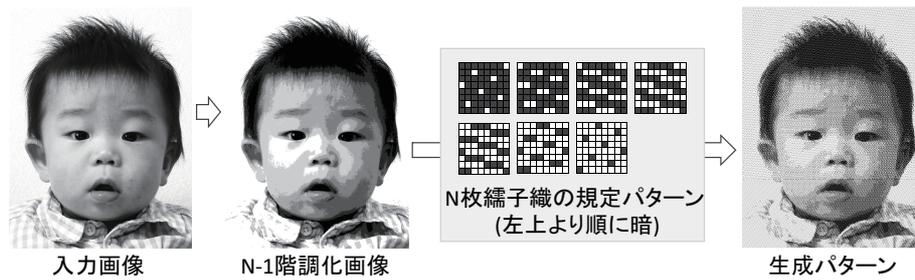


図 3: 従来の固定パターン割り当てによるパターン生成

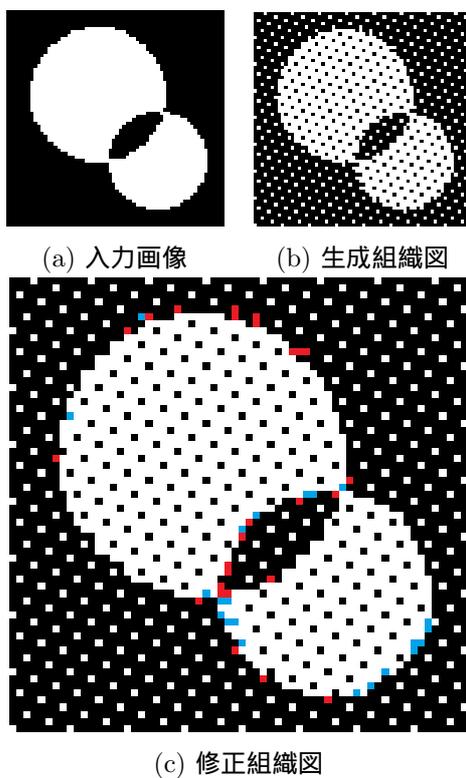


図 4: 画像への 8 枚織子パターン適用と修正

較して、入力画像の画素値が大きければ白、小さければ黒を割り当てる。入力画像全体が明るければ、生成パターンに現れる白の画素は確率的に増える。またディザマスクは近い閾値がなるべく遠い位置にあるように設計されているため、図 5(b) のような輝度が一般的な画像の場合、図 5(c) のような白と黒の画素が交互に現れるような二値パターンが生成される。しかし、図 5(d) のような輝度の変化がある画像に関しては、図 5(e) に示すような局所的に白と黒のかたまりがある 2 値パターンが生成されてしまう。組織的ディザ法はこのようなかたまりを極力減らすために開発された技術であり、その他の既存ディザ法ではこの問題がより顕著である。既存のディザ法では、織物における経糸と緯糸のいずれもが一定間隔以内ごとに表に表れなければならないという制約は考慮されておらず、そのまま用いることはできない。

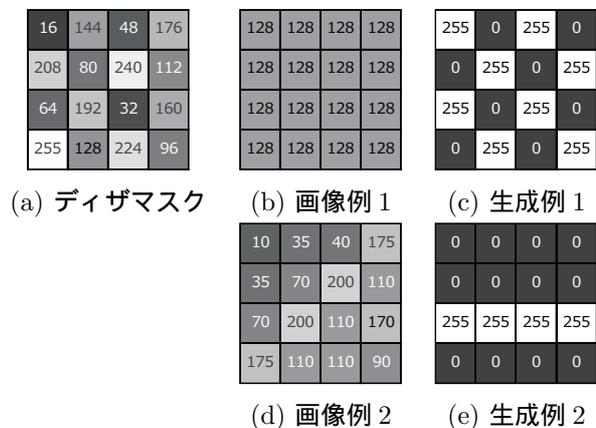


図 5: 画像へのディザマスクの適用

3 従来研究

グレースケール画像を白と黒の二値で表現する方法として、従来から印刷などで用いられるハーフトーニングがある [2]。ハーフトーニングとは、一定領域内の白と黒の画素の面積の割合を利用して階調を表現する方法である。画素ごとにランダムな閾値を設定するランダムディザ法 [3]、ディザマスクとよばれる閾値のパターンを用いる組織的ディザ法 [4]、明るさの厳密な反映を目指す誤差伝播法 [5] などがある。

図 5 に組織的ディザ法の適用例を示す。図 5(a) に示すディザマスクを用いて図 5(b) と図 5(d) に示す入力画像に対して閾値処理を行うと、図 5(c) と図 5(e) の二値パターンが得られる。入力画像の画素と、対応するディザマスクの画素を比

一方、竹編みによって 4 値までの画像の表現を試みた研究がある [6, 7]。竹編みでも織物と同様に一定間隔以内ごとに縦・横の竹材の交差が必要となり、繰り返し計算によってこの制約を満たすパターンを生成している。織物は竹編みよりも一般に縦・横の格子点の数が多く、織物の方が細かな図柄の表現が可能である。本研究では、ディザ法の考え方を応用することで、これまでに竹編みで提案されてきたパターンよりも、より細かく、より階調数の多いパターンの生成を実現する。

4 ジャカード織物のためのディザ法

4.1 ジャカード織物用ディザマスクの生成

従来の縞子織に対して、3. で述べた組織的ディザ法 [2] の考え方を導入して、ジャカード組織図を生成する手法を提案する。

提案手法の説明のために、まず縞子織の構造について詳細に見ていく。図 6(a) は 8 枚縞子織の一例を示す。縦に行番号 i 、横に列番号 j を振ると、 i 行 j 列の要素は、式 (1) を満たすときに黒で表され、これを満たさないときに白で表される。

0	0	1	2	3	4	5	6	7
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

(a) 8 枚縞子織組織図

0	1	2	3	4	5	6	7	
0	235	130	55	0	25	100	165	255
1	85	185	255	215	150	50	0	35
2	70	0	15	105	195	255	210	160
3	255	230	140	80	0	10	115	175
4	30	95	170	255	240	125	60	0
5	145	45	0	40	90	190	255	220
6	200	255	205	155	65	0	20	110
7	0	5	120	180	255	225	135	75

(b) 織物ディザマスクとしての 8×8 閾値マトリクス

図 6: 縞子織組織図と対応する織物ディザマスク

$$\text{黒} : (5 \cdot i + j) \bmod 8 = 7 \quad (1)$$

この条件は、 8×8 のパターンだけでなく、これをタイル状に敷き詰めた画像においても、満たされる。これをさらに一般化して、 n 枚縞子織のパターンでは、 n より小さく、かつ、1 または n と互いに素な m を用いて、以下の条件を満たすときに黒を割り当てることができる。

$$\text{黒} : (m \cdot i + j) \bmod n = n - 1 \quad (2)$$

ただし、 $[x]$ は x を超えない最大の整数を表す。 n と m が互いに素でなければ、黒が現れない列が生じ、織物パターンとして不適切なものとなる。 $n = 8$ のときには、 $m = 1, 3, 5, 7$ のいずれかを取ることができ、それぞれ異なる縞子織パターンとなる。たとえばこのとき、 $n = 8$ 、 $m = 2$ としてしまうと、偶数列目に黒が現れず、偶数列目では経糸と緯糸の交差がないことになる。同様に、一定間隔以内に白の要素も現れる必要があるため、式 (3) を白である条件として与える。

$$\text{白} : (m \cdot i + j) \bmod n = \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor \quad (3)$$

式 (2) および式 (3) で示す画素が必ず黒および白となるようにするためには、ディザマスク上で対応する画素の閾値を 255 および 0 とすればよい。このようになるディザマスクの例を図 6(b) に示す。

さらにこのとき、縞子織ではできるだけ生地を表裏を糸が行き来する回数を少なくすることでなめらかな質感を表現するので、これを保存するために、式 (4) および式 (5) を追加の制約として与える。

右隣より大きい要素：

$$0 \leq (m \cdot i + j) \bmod n \leq \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor - 1 \quad (4)$$

右隣より小さい要素：

$$\left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor + 1 \leq (m \cdot i + j) \bmod n \leq n - 2 \quad (5)$$

式 (4) および (5) を満たすパターンを生成するためには、閾値が 0 または 255 に指定されていない $n(n-2)$ 個の要素を具体的に指定する必要がある。このためにはまず、1 から 254 の中から $n(n-2)$ 個の値をできるだけ均等になるように取る。 $n(n-2)$ が大きくなる場合には、取る値が重複することも許す。図 6(b) の例では、5, 10, ..., 240 の 48 個を閾値として選んでいる。この値を昇順に n 個ずつの $n-2$ グループに分け、 $v_{1,1}, v_{1,2}, \dots, v_{1,n}, v_{2,1}, \dots, v_{n-2,n}$ とする。

$$1 \leq v_{1,1} \leq v_{1,2} \leq \dots \leq v_{1,n} \leq \dots \leq v_{n-2,n} \leq 254 \quad (6)$$

これらの閾値を式 (4) および (5) を満たすように閾値マトリクスに配置するためには、まず、図 7 に示すように、0 の位置をスロット s_0 、255 の位置をスロット s_{n-1} とし、水平方向に見たときに s_0 に近いほうからインデクスの小さなスロットを割り当て、次に、準備した閾値のうち値の小さいものから順にインデクスの小さいスロットに割り当てる。 i 行 j 列の要素にスロット s_t を割り当てるものとすると、 t は以下の式 (7) により求めることができる。

0	1	2	3	4	5	6	7	
0	s_5	s_5	s_t	0	s_0	s_5	s_4	255
1	s_5	s_4	255	s_5	s_3	s_1	0	s_0
2	s_1	0	s_0	s_2	s_4	255	s_5	s_1
3	255	s_5	s_3	s_1	0	s_0	s_2	s_4
4	s_0	s_2	s_4	255	s_5	s_3	s_1	0
5	s_3	s_1	0	s_0	s_2	s_1	255	s_5
6	s_4	255	s_5	s_3	s_1	0	s_0	s_2
7	0	s_0	s_2	s_4	255	s_5	s_3	s_1

図 7: 織物ディザマスクの閾値スロットの配置 (8×8 による例)

$$k = (m \cdot i + j) \bmod n$$

$$u = k - \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor$$

$$\begin{cases} t = -2u & (u \leq 0) \\ t = 2u - 1 & (0 < u \leq \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor) \\ t = n - 1 & (u > \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor) \end{cases} \quad (7)$$

スロット s_t には、 $v_{t,1}, \dots, v_{t,n}$ を割り当てる。もし仮に、同じ行でそれぞれのスロットで最小の値が入るようなことがあれば、この行では他の行よりも常に黒の数が多いことになり、不適切である。よって、スロット s_t の中では順番が偏らないように閾値 $v_{t,1}, \dots, v_{t,n}$ を設定することとする。 $\forall p \forall q v_{t,p} \leq v_{t+1,q}$ であるので、スロットごとに任意の順番で値を設定しても、式 (4) および (5) は満たされる。式 (2) から式 (5) を満たすパ

ターンの例が図 6(b) に示す閾値マトリクスである¹⁾。図 6(b) に示す閾値マトリクスでは、最大値・最小値となる 0 と 255 が各行各列に 1 つずつ配置され、5 から 240 までの 5 ごとに大きくなる値がマトリクス内で 1 回ずつ現れる。この閾値マトリクスをディザマスクとして利用することで、従来のディザ法と同様に、領域の明るさに応じた数の白と黒を持つパターンが生成される。

ただしこのとき、入力画像に 0 や 255 の値があると、二値化パターンに 0 や 1 が現れず、式 (2) や式 (3) を満たさないパターンが生成されることがある。入力画像の値を 1 から 254 に制約するために、0 と 255 の値を持つ画素をそれぞれ 1 と 254 に変更するものとする。これにより、入力画像の見た目をほとんど変化させることなく、提案するディザパターンが織物として有効な二値化パターンを生成できるようにできる。

4.2 過剰な規則性の削減

図 6 の閾値マトリクスによって二値化されたパターンでは、入力画像が単調であるときに問題が起こることがある。図 8(b) は、図 8(a) に示すグラデーションパターンを入力としたときの生成パターンである。閾値マトリクスが規則的に繰り返して配置されているために、ある一定の輝度を持つ範囲において、縦横で白または黒の出現の繰り返しが目立つようになる。繰り返しのパターンは人工的な感じを与えるために、織物パターンとしては不適切である場合がある。

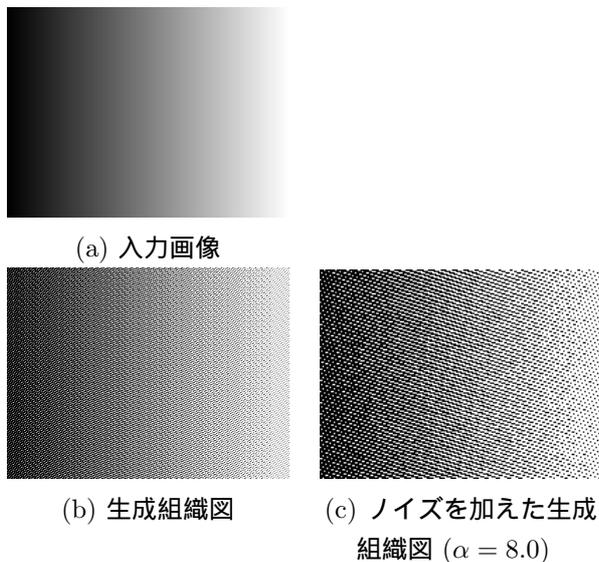


図 8: グラデーションパターンに対する二値化結果

この問題に対して、白・黒以外の各画素に平均 0、分散 σ^2 のガウス分布 $G(0, \sigma^2)$ に従うランダムな値 v を付加することで解決する。

$$v = \alpha G(0, \sigma^2) \quad (8)$$

¹⁾山梨県による発明「ジャカード織物の製造方法 (特許第 2013-5311092 号)」として特許登録されている。

ただし、 α は全体のノイズレベルを上下する定数係数である。ランダムな値を与えた結果、輝度値が式 (4) および式 (5) の規則に従わなければ、左右の画素値を入れ替える。 $\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor$ 回以内の画素値の入れ替えによって、式 (4) および式 (5) の規則に従うパターンを得ることができる。

図 10 の右下に示すような対話的システムにおいて、 α を利用者が生成される組織図を見ながらスライダーで設定することができるようにし、設計者の意図を反映したパターン生成ができるようにする。また、以降の実験結果は $\sigma = 1.0$ として生成した。 $\alpha = 8.0$ としたときに生成される画像は図 8(c) に示す通りである。生成される画像では、規則的に白や黒が並ぶ頻度を抑えることができている。

4.3 エッジ強度に応じた規則性の自動調整

式 (8) によってノイズを加えた閾値マトリクスで二値化した画像を図 9(a) に示す。グラデーションパターンに対して周期的な白・黒の画素が現れる頻度は抑えられているが、エッジ付近で白黒の順序が崩れることによって、エッジがぼやけたようなパターンが生成されてしまう。

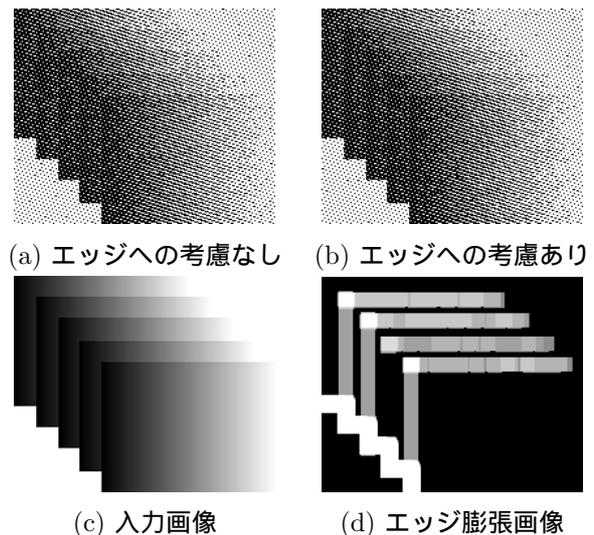


図 9: エッジ強度に応じた規則性の調整結果

我々は、入力画像のエッジ画像をまず求め、エッジ強度に適応してノイズレベルを自動的に調整し、エッジ強度が大きい領域では閾値マトリクスに与えるノイズレベルを下げることで、この問題を解決する。

入力画像のノイズに対して頑健にエッジを抽出するために、前処理としてガウシアンフィルタによる平滑化を行う。エッジ画像生成には、ラプラシアンフィルタを用いた。エッジ画像に基づいてノイズレベルを調整することで、エッジの上の画素についてはノイズレベルが調整されるが、そのすぐ隣に位置する画素に大きなノイズが与えられることがあり、この場合には隣接画素の白黒の順序が崩れてしまう。これを解決するために、エッジとその周辺で大きな値を持つエッジ膨張画像を生成し、これに基づいてノイズレベルを調整することとする。

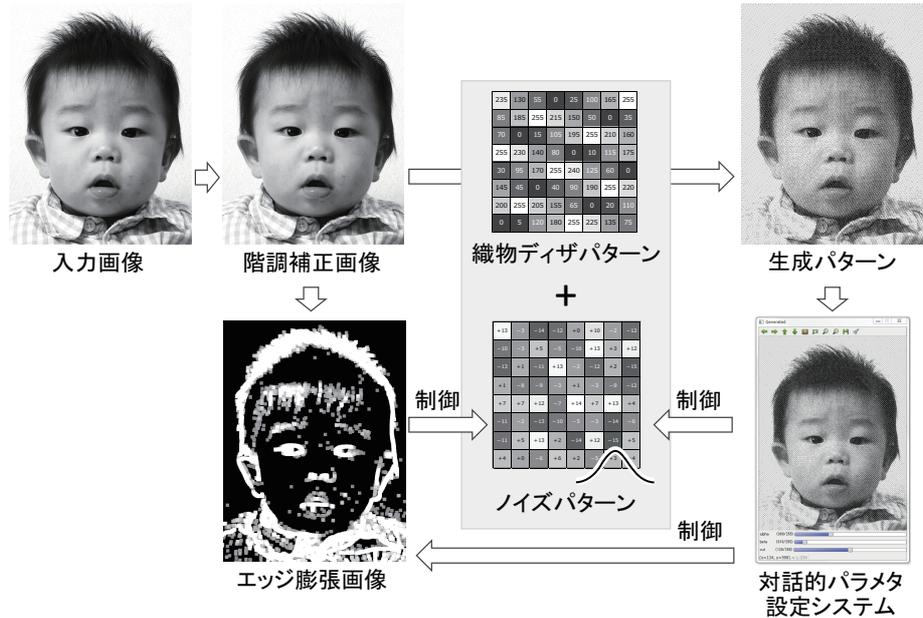


図 10: 提案する対話的パラメタ設定による織物デザパターン適用によるパターン生成

ラプラシアンフィルタによって得られるエッジ画像 $E(x, y)$ に対して, エッジ膨張画像 $E_e(x, y)$ を以下の式により求める.

$$E_e(x, y) = \max_{(s,t) \in N(x,y)} E(s, t) \quad (9)$$

ただし, $N(x, y)$ は画素 (x, y) の近傍画素の集合を表す. 以降の実験結果は, L^∞ ノルムが 7 までである画素を近傍画素として処理を行った. さらに, ある一定以上の強度を持ったエッジのみを考慮するために, 閾値 th_e を設定してエッジ膨張画像の小さな値を持つ画素を 0 にする.

$$E'_e(x, y) = \begin{cases} E_e(x, y) & (E_e(x, y) \geq th_e) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (10)$$

図 9(c) に入力画像, 図 9(d) に対応するエッジ膨張画像, 図 9(b) にエッジ強度によって与えるノイズレベルを調整した結果を示す. 図 9(b) に示す結果では, 本原稿の図の解像度に限界があるために一瞥して判断できる程度ではないものの, エッジがやや明確になっている. それぞれの長方形の水平方向の辺がややはっきりしていることが確認できる. また, 画像上で確認できる効果よりも, 織物作製結果で確認できる効果の方が顕著になることがあり, たとえば後述の図 11(g) と図 11(h) の比較においては, 直線や曲線で構成される模様において, そのエッジが明確になる効果が確認できる.

正規化されたエッジ強度を p ($0 \leq p \leq 1$) = $\frac{E'_e(x,y)}{255}$, 減衰係数 β として, 新たなガウスノイズを定義する分散 σ' を式 (11) によって定義する.

$$\sigma' = \sigma \exp(-\beta p) \quad (11)$$

β についても α と同様に, 利用者がスライダーで自由に設定できるようにした. 実験結果である図 11 および図 12 では, $\beta = 2.0$ として生成した画像を示している.

4.4 対話的織物組織パターン生成システム

上述のパラメタ α, β, th_e を対話的に変更して, 織物組織パターンを生成するシステムを実装した. 図 10 にシステムの処理の流れを示す. システムでは, まず, 入力画像中の 0 を 1 に, 255 を 254 に変更する階調補正を行う. 次に, 新しく提案した織物用デザパターンを適用することで, 二値化を行う. さらに, どの程度のノイズパターンを加えるか, どの程度境界を保持するか, どの程度の強度の境界まで保持するかについて, α, β, th_e の 3 つのパラメタによって制御し, 生成パターンを見ながら対話的に調整ができるようにした.

5 実験

織物作製には, 電子ジャカード付レピア織機 (ツダコマ FLEX / ストープリ CX960 ELJ-W SERIES) を用いた. 織物作製に用いた経系・緯系の番手比率と組織パターンから導かれる適切な製織条件では, 緯糸密度が経糸密度に比較して 0.60 倍程度となることが見積もられたために, あらかじめ入力画像を縦に 0.60 倍したのちに, 上述の方法で織物組織パターンを生成した. 図として記載している組織パターン画像は, 元画像の縦横比を再現するため, いずれも生成パターンを横に 0.60 倍したものであり, 各画素が縦長の長方形となっていることに注意されたい.

この比率の見積もりは, 入力画像だけでなく, 組織パターンの違いや使用する糸の性質によっても変える必要がある. 実際には, 何度も比率を変えて試し織りをするにより, 最適な比率を求める作業を行う.

5.1 織物パターン生成結果

図 11 および図 12 に提案手法によって製作した織物を示す。図 11(e) の幾何模様を入力画像に対して、従来の $N - 1$ 階調化によって固定パターンを割り当てる方法では、図 11(a) に示すような入力画像にはない境界が存在するパターンが生成される。提案する織物ディザマスクによって得られた生成パターンが図 11(b) であり、余分な境界がなく、なめらかな明るさ変化が表現できている。図 11(b) のパターンでは、グラデーション領域の中で過剰に規則的なドットの並びが見取れるが、ランダムなノイズを加える α の値を調整することで、図 11(c) に示すような過剰な規則性がないようなパターンが得られる。一方で、ランダムなノイズを加えたことで入力画像のエッジ境界がぼやける問題が起こる。エッジ膨張画像に基づいてエッジを保存する効果を施すことで、図 11(d) に示す最終的なパターンを得る。図 11(f), (g), (h) に示す織物として製作した結果からも、過剰な規則性の削減と入力画像のエッジの保存の傾向が確かめられた。

図 12(a) の入力画像に対しても、従来の $N - 1$ 階調化によって固定パターンを割り当てる方法では、図 12(b) に示すような肌の一部で明るさ境界が強調されてしまうパターンが生成される。提案する織物ディザマスクによって得られた生成パターンが図 12(c) であり、肌の明るさ境界がなく、なめらかな明るさ変化が表現できている。図 12(c) のパターンでは、背景の壁の領域で規則的なドットの並びが見取れるが、ランダムなノイズを加える α の値を調整することで、図 12(d) に示すような過剰な規則性が抑えられたようなパターンが得られる。ランダムなノイズを加えたことでエッジ境界がぼやける問題が起こるが、図 12(e) に示すエッジ膨張画像に基づいてエッジを保存する効果を施すことで、図 12(f) に示す最終的なパターンを得る。図 12(g), (h), (i) には、図 12(c), (d), (f) に示すパターンを実際に織物とした作製した結果を示すが、織物ディザマスクを適用しただけの結果と比較して、パラメタを適切に設定したパターンで生成した結果では、平坦な部分での輝度が過剰な規則性が抑えられて表現され、また、エッジがやや保存された結果となっていることが見て取れる。境界を保持する効果は、さらに大きなノイズを加えるときや、画像中にはっきりした輝度境界があるようなときに、さらに有効に働く。

5.2 写真画像への適用結果と鑑賞者の反応

写真家高橋恭司氏による写真作品をグレースケール画像にしたものを本研究で提案した手法によりジャカード組織図に変換し、織物製造業の榎田商店株式会社が製織したものが、高橋恭司氏の作品としてギャラリー TRAUMARIS で行われた展示「自由について 3」(2013 年 9 月 10 日(火)から 10 月 6 日(日))において展示された。その作品を図 13 に示す。高橋恭司氏は写真表現の媒体として印画紙以外にレーザープリントやモノクロコピーを用いるなど様々なテクスチャの魅力を追及しており、今回の織物による表現はその一環として行われた。高橋氏からは、プリント生地と違った深みがあり可能性を感じる、また経糸と緯糸のスクエアな組み合わせでありながら柔らかな表現ができていることが面白い、とのコメントを受けた。ギャラリーの鑑賞者へのヒアリングからは、織物で作られたということを知ってもなお信じられないくらいに写実的で、またプリントとも違う深みを感じられる、など好ましい反応が得られた。



図 13: 写真展における織物の作品例。中央に配置された布が、写真をジャカード織物で表現したもの。写真表現の媒体として印画紙以外のものを用いる新しい試みの一環として、ジャカード織物による表現が利用された。印画紙にはないシルクの銀色の輝きが、写真に魅力を加えた。織物は経糸と緯糸、スクエアな糸で作られるものであるのに、結果は柔らかな絵になっているのが面白いと評された。

6 おわりに

本研究では、ジャカード織物のための組織的ディザ法に基づいた制約付き画像二値化手法を提案した。一定範囲以内の間隔に経糸と緯糸を上下させる制約条件を保ちながら、エッジ強度に適応して規則性を制御できるシステムを作成した。今後の課題として、繻子織以外でも閾値マトリクスが生成できるようにし、画像に合わせた織り方のパターンを選択できるようにすることを挙げる。また、より細かな修正をあとから手作業で加えるようにできる方法の開発も進める。

本研究の提案手法は、白黒の 2 色だけでなく、たとえば、青赤の 2 色のジャカード織にも適用可能である。さらにカラー画像を色分解した複数のチャンネルに本手法を活用して二値化し、それぞれのチャンネルを対応させた緯糸を交互に織り込むなどの手法で、異なる色相を織物上で混色させることも可能だが、複数チャンネル用いるとそれぞれの織物密度が低下し解像度に影響が生じるなどの課題があり、拡張手法の提案が望まれる。今後の課題として、多色のジャカード織への適用も試みたい。

謝辞

研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究 (B) (課題番号:25280037) の補助を受けた。写真家高橋恭司氏および榎田商店株式会社からは、写真展資料の提供を受けた。

参考文献

- [1] 豊浦 正広, 五十嵐 哲也, 庄司 麻由, 茅 暁陽, “拡張ディザ法を用いたジャカード織物パターンの生成”, NICO-GRAPH, pp.9-16, 2013-11.
- [2] R. Ulichney, “A Review of Halftoning Techniques,” Proc. SPIE, Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts V, vol.3963, pp.378-391, 2000.
- [3] W.M. Goodall, “Television by Pulse Code Modulation,” Bell System Technical Journal, vol.30, pp.33-49, 1951.
- [4] B. E. Bayer, “An optimum method for two-level rendition of continuous-tone pictures,” IEEE International Conference on Communications, vol.1, pp.11-15, 1973.
- [5] R. W. Floyd, L. Steinberg, “An Adaptive Algorithm for Spatial Grayscale,” Proceedings of the Society for Information Display, vol.17, no.2, pp.75-77, 1976.
- [6] 松島 祐輔, 井上 光平, 浦浜 喜一, “直交線ディザによる竹編み風画像の生成”, 画像電子学会誌, vol.38, no.1, pp.24-30, 2009.
- [7] 王 富会, 井上 光平, 浦浜 喜一, “リバーシブル竹編み画像の生成”, 映像情報メディア学会誌, vol.63, no.9, pp.1252-4, 2009.

豊浦 正広



2003年 京都大学工学部情報学科 卒業。2007年 日本学術振興会特別研究員 DC2。2008年 京都大学大学院情報学研究科博士後期課程 修了。2008年 日本学術振興会特別研究員 PD。カリフォルニア大学サンタバーバラ校訪問研究員。2009年 山梨大学大学院医学工学総合研究部 助教。拡張現実感, コンピュータビジョンの研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, ACM, IEEE 各会員。博士(情報学)。

五十嵐 哲也



1991年 千葉大学工学部工業意匠学科卒業。同年 山梨県デザインセンター(山梨県工業技術センターデザイン開発部)。1999年 山梨県富士工業技術センター 繊維部技術支援科。主任研究員。コンピュータ活用による織物産地のデザイン支援のほか、産地企業のブランド力向上のための各種支援事業に従事。

庄司 麻由

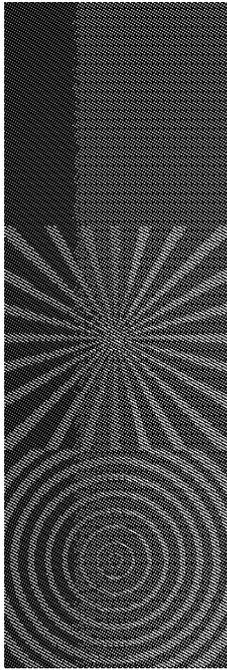


2014年 山梨大学工学部 卒業。在学中, 織物パターン生成の研究に従事。

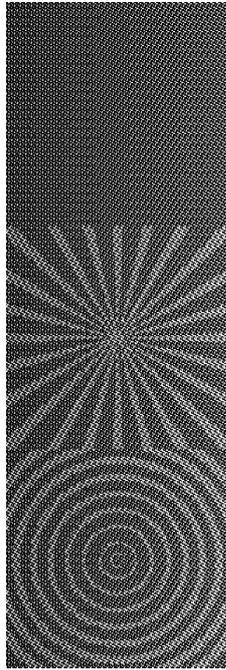
茅 暁陽



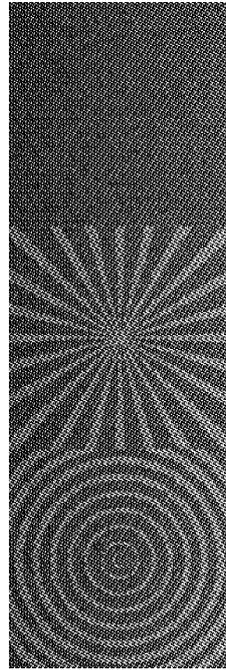
1983年 中国復旦大学 計算機学科卒業。1987年 東京大学大学院情報科学研究科修士課程 修了。1990年 同大学大学院理学研究科博士課程 修了。1990年 株式会社クボタコンピュータ応用エンジニア。1994年 New York 州立大学 Stony Brook 校 客員研究員。1995年 科学技術振興事業団特別研究員。1996年 山梨大学工学部 講師。1997年 同准教授。1997年 同大学院医学工学総合研究部 准教授。2008年 同教授。画像処理, コンピュータグラフィックス, 可視化の研究に従事。情報処理学会, 画像電子学会, ACM 各会員。理学博士。



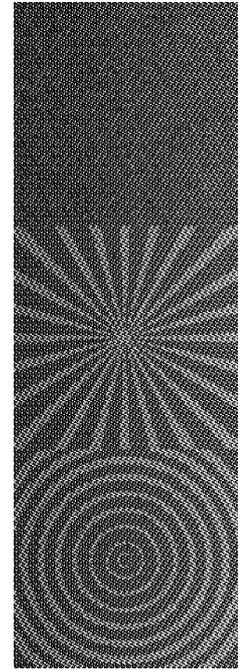
(a) 生成パターン (7 階調化)



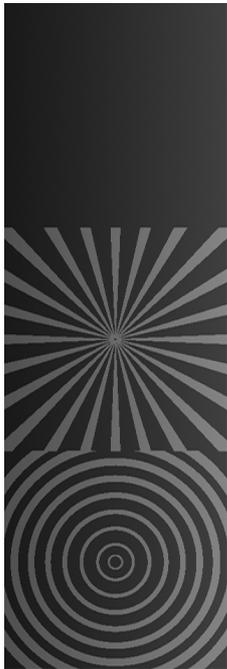
(b) 生成パターン (ノイズ付加なし)



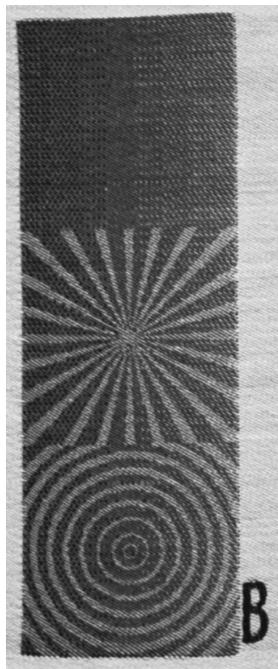
(c) 生成パターン ($\alpha = 12.0$)



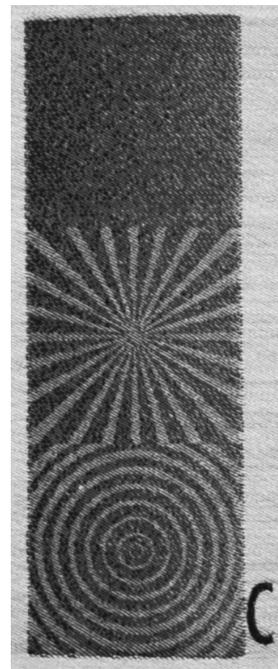
(d) 生成パターン ($\alpha = 12.0, \beta = 2.0$)



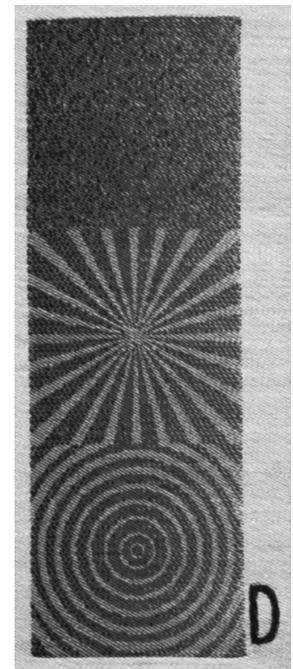
(e) 入力画像



(f) 作製結果 (ノイズ付加なし)



(g) 作製結果 ($\alpha = 12.0$)



(h) 作製結果 ($\alpha = 12.0, \beta = 2.0$)

図 11: 織物作製結果 (幾何模様)



(a) 入力画像



(b) 7階調化画像



(c) 生成結果 (ノイズ付加なし)



(d) 生成結果 ($\alpha = 8.0$)



(e) エッジ膨張画像



(f) 生成結果 ($\alpha = 8.0, \beta = 2.0$)



(g) 作製結果 (ノイズ付加なし)



(h) 作製結果 ($\alpha = 8.0$)



(i) 作製結果 ($\alpha = 8.0, \beta = 2.0$)

図 12: 織物作製結果 (Lenna)