

写真からの多色織パターン生成

豊浦 正広¹ 五十嵐 哲也² 齋藤 豪³ 寺田 貴雅¹ 茅 暁陽¹

概要: カラー写真などの任意の画像から多色織ジャカード織物パターンを生成する。ジャカード織物は数百本から数千本の並列化された経糸と緯糸が交差して構成され、各格子点での経糸と緯糸の上下を定義することで模様を作り出すことができる。多色織パターンは、各行各列の経糸色・緯糸色と格子点での上下関係を示す二値画像によって表現できる。従来法ではグレースケール画像のみを対象にしたり、カラーチャンネルごとに独立に処理したりしていたために、入力画像が持つ色調や陰影を十分に保つことができなかった。本研究では多色織パターンの生成のために (1) 任意色の経糸・緯糸による画像二値化, (2) 入力画像に適切な糸色の自動選択を提案する。実験では、生成されたパターンから製織した結果を示し、提案手法の有効性を示す。

キーワード: ジャカード織物, ハーフトニング, デジタルファブリケーション, 色再現

Multi-colored Weaving Pattern Generation from Photographs

MASAHITO TOYOURA¹ TETSUYA IGARASHI² SUGURU SAITO³ TAKAMASA TERADA¹ XIAOYANG MAO¹

Abstract: We generate multi-colored Jacquard fabric pattern from arbitrary multi-colored images such as photographs. Jacquard weaving gives shape to patterns as its weft threads pass over or under its numerous warp threads. Multi-colored weaving pattern can be represented with colors of the warp and weft threads and a binary image defining the over-under relationships of the warp and weft threads at the lattice-points on Jacquard fabric. Conventional ways deal with grayscale images only, or decomposed multi-colored images independently, therefore generated weaving pattern is difficult to faithfully render target colors and tone. In this paper, we propose two novel techniques for converting a multi-colored image into a Jacquard weaving pattern, i.e. (1) binarization with arbitrary colors of warp and weft threads and (2) automatic selection of colors of warp and weft threads depending on an input image. Woven patterns as experimental result confirm the validity of our proposed method.

Keywords: Jacquard fabric, half-toning, digital fabrication, color reproduction

1. はじめに

ジャカード織物は、織物の中でも最も複雑な模様を織ることのできる織物のひとつである。図1にジャカード織機を示す。ジャカード織機には、垂直方向に多数並列化され

た経糸に対して、水平方向の緯糸が1本ずつ織られる。1本の緯糸を通すたびに、それぞれの経糸に対して、緯糸の上にするか下にするかを定めることができる。それぞれの経糸は上方の経糸開口装置に連結しており、緯糸が1本織り込まれるたびに経糸は指定されたとおりに開口装置によって上下する。ジャカード織機の発明者であるジャコール (Joseph Marie Jacquard, 1752-1834) が制作した織機では、この指定をパンチカードによって行っていたが、現在ではコンピュータ上でデザインすることが一般的である。二値画像が織物パターンとして成立するためには、経糸

¹ 山梨大学

University of Yamanashi

² 山梨県富士工業技術センター

Yamanashi Prefectural Fuji Industrial Technology Center

³ お茶の水女子大学/東京工業大学

Ochanomizu University/Tokyo Institute of Technology

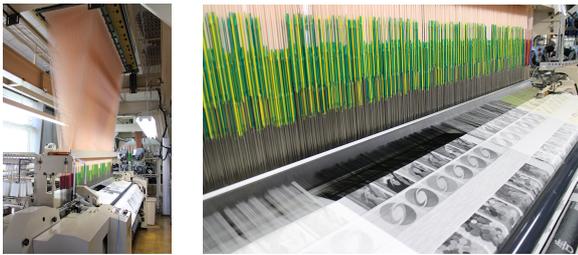


図1 ジャカード織機とジャカード織物. 左: 織機の全体像, 右: 織物が織られる様子.

および緯糸が一定間隔以内で一度以上交差しなければいけないという制約を受ける. これを織物制約と呼ぶこととする. 織物制約は見た目に美しいパターンの生成を妨げる. 織物制約を満たしながら対象を美しく表現するようなパターンを作成するには, 専門デザイナーの技量と時間・労力が必要とされてきた. 特になめらかな陰影を持つような対象の表現や, 複数の基本パターンを1つの二値画像に含めることは, 難しいとされてきた.

写真を織物にする典型的な手法は, まず写真画像を色チャンネルごとにグレースケールの7階調や15階調の画像とし, それぞれの明るさに対応するパターンを割り当てるというものである [1]. このときには, 明るさの境界でパターンが異なることとなり, この境界が不自然に目立つ結果となる. 一部の領域に対して, 画像の二値化手法としてよく知られる組織的ディザ法 [2] や誤差拡散法 [3] を併用することもできる. これらの手法を適用した織物パターンでは, 経糸と緯糸の交差の回数が多いために梨地と呼ばれるざらざらした仕上がりとなることが起こる. 我々もこれまでに織物制約を満たす織物ディザ法 [4] や織物誤差拡散法 [5] によって, 交差回数を減らしながら陰影とエッジを保持するような織物パターン生成を提案してきた. これらの手法は白黒のグレースケール画像を対象としていたが, 本研究ではさらにカラー画像に対しても適用可能な手法を提案する.

カラー画像を表現する多色織のためには, どの色の糸を採用するかが問題となる. 従来手法では, 画像全体にRGBやCMYKの同じ糸の組み合わせを利用するのが一般的であった [6]. 糸の種類を増やすほど与えられる画像の色を近似することが容易となるが, 数行数列で1点の色を表現するために解像度が下がる. 手作業による配置では, その位置に必要な色の糸だけを配置することで, 色再現と解像度をどちらも高く保つことができるが, 当然, 手間がかかる.

以上の問題を踏まえて, 我々は写真などのカラー画像から多色織を実現するための以下の手法を提案する.

(1) カラー画像を表現する多色織パターンを生成する

制約付ディザ法 [4] および制約付誤差拡散法 [5] で多色織パターンを生成する. 任意次元の画素値に対して, 経糸

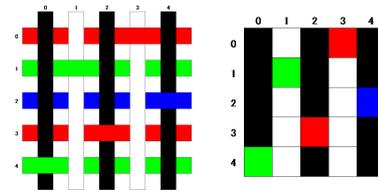


図2 多色織ジャカード織物パターン例. 左: 構造図, 右: 組織図. いずれも同じパターンを示す.



図3 6色の緯糸がセットできるジャカード織機

色と緯糸色に対する近さをスカラ値で表せるように定式化し, 二値化画像生成を実現する.

(2) データベースに登録された糸の集合から任意の画像をよく再現する緯糸の部分集合を求める

保有する糸の色をデータベースに登録しておき, 与えられたカラー画像を再現するのに最適な色の緯糸を上位順で選択する. 2色目以降の糸については, すでに選択されている糸で再現できる色を考慮して, まだ再現できていない色を再現する色を選択する.

以降, 2節でまず多色織ジャカード織物の構造について説明する. 3節で多色織での制約付ディザ法と制約付誤差拡散法の生成法, 4節で緯糸色の選択を提案する. 5節で結果を示す.

2. 多色織ジャカード織物パターンの構造

図2に多色織ジャカード織物パターンの例を示す. ジャカード織物の経糸と緯糸には, 各行各列で色が決められている. 各格子点で経糸と緯糸のどちらを上にするかによって, その位置での色が決まる. 経糸は多数並列化された糸が巻かれた男巻から供給されるため, 製織中は変更ができない. 男巻には黒, 白, などが設定されることが多く, 黒・白交互, 赤・緑・青交互などが設定されることもある.

緯糸は織機に2色から8色程度を設定することができ, 行ごとに色を選択することができる. 図3に6色までの緯糸が設定できる織機の例を示す. それぞれの給糸装置には, それぞれ異なる色の糸巻をセットすることができ, 機械制御によってある行に選択された糸を挿し入れることができる.

多色織ジャカード織物パターンは以下の情報から成る.

- (1) 各列の経糸色
- (2) 各行の緯糸色

	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	95
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

/255

図4 織物ディザ法で用いるディザマスク。各要素は255で割られ、[0,1]に収められている。

(3) 格子点での経糸・緯糸の上下

入力されたカラー画像から多色織パターンを生成することは、これらの3点を決定する問題に帰着する。制約として、織物として成立するために、経糸および緯糸が一定間隔以内で一度以上交差しなければいけないという制約である織物制約が課される。

3. 制約付ディザ法と制約付誤差拡散法

織物ディザ法 [4] では、図4に示すような織物ディザマスクと呼ばれる特殊なディザマスクを用いて二値化処理を行うことで、グレースケール画像から二値の織物パターンを生成することができる。以下、生成される二値画像では、0を黒、1を白と呼ぶことにする。織物ディザでは、まずグレースケール画像のレンジを狭くし、画素値を1/255から254/255としておく。このグレースケール画像を織物ディザマスクで二値化処理すると、生成される二値画像ではマスクが0/255の画素では必ず白、マスクが255/255の画素では黒となる。これにより織物制約を満たした二値画像を得ることができる。

カラー画像に織物ディザ法を適用できるようにするためには、ベクトルで表される各画素の値を[0,1]のスカラ値になるように変換したのちに、レンジを狭くして[1/255, 254/255]となるようにする。ある画素値 c をその画素を構成する経糸色 c_i^v と緯糸色 c_j^h によってスカラ値 t で表現することを考える。 $t \in [0, 1]$ によって、 c_i^v および c_j^h への近さを表現する。 $t = 0$ のときに c_i^v に最も近く、 $t = 1$ のときに c_j^h に最も近いものとする。

図5に示すように、色空間上で c_i^v と c_j^h を結ぶ線分を考えることで、この線分は経糸と緯糸の露出の割合を変えて表現できる色の範囲を示すことができる。以降、特に断りがなければ、色ベクトルはCIE LABにおける $L^*a^*b^*$ 空間での値であり、2色間の距離は $L^*a^*b^*$ 空間のユークリッド距離として表すものとする。距離さえ計算できるのであれば、 $L^*a^*b^*$ 空間の代わりにRGB空間やCMYK空間、その他の色空間を用いることもできる。

c から線分に下した垂線の足が表現できる色の範囲で最も c に近い色であることから、

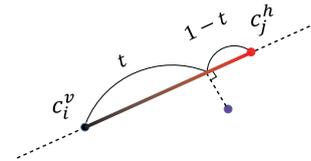


図5 経糸・緯糸の色に対する目標色との近さと距離

$$t = \frac{(c - c_i^v) \cdot (c_j^h - c_i^v)}{\|c_j^h - c_i^v\|^2} \quad (1)$$

と計算できる。 $t < 0$ や $t > 1$ も取りうるが、それぞれ c_i^v と c_j^h の方が近いことがわかるので、 $t = 0$ と $t = 1$ に修正する。

ただしここで、画素 (x, y) に与えられるのは、 c_i^v または c_j^h のいずれかであり、1画素単位では経糸と緯糸を混ぜ合わせたような色は表現できないが、周囲の画素も含めた領域内で経糸と緯糸の露出の割合を変えることで色を表現することには注意されたい。

織物誤差拡散法 [5] ではさらに、ある1つの画素だけでは表現できなかった誤差を周囲に拡散することによって、領域として階調を保つことを目指した。織物ディザマスクを各画素の閾値に設けることで、経糸と緯糸の交差の回数が少なくなるように設計されている。

グレースケール画像に対しては誤差がスカラ値であったが、カラー画像に対しては誤差がベクトル値となる。図5を参照すると、 $c_i^v - c$ または $c_j^h - c$ が誤差に相当する。この誤差によって周囲の画素値を補正することで、カラー画像に対する誤差拡散法を実現する。

4. 入力画像に適切な緯糸集合の選択

保有する糸の色をデータベースに登録しておき、与えられた入力画像を再現するのに最適な色の緯糸を上位順で選択する。経糸色については織機に設定された男巻で定義されるために、探索の対象とはしない。

画像を限られた色の集合で表現する手法は、絵画調画像合成 [7], [8], [9] やパレット最適化 [10], [11] など多くの議論がなされてきた。また、これらと織物パターン生成の主たる相違点は、(1) 利用できる色が非常に限られること、(2) 純粋な並置混色とみなせること、の2点である。この条件下では以下に提案するアルゴリズムによって、非常に高速に適切な色の選択をすることが可能である。アルゴリズムの一部は、より一般的な絵画調画像合成にも適用できる見込みがある。

(1) 利用できる色が非常に限られるのは、物理的に利用できる糸の色の数が限られるためである。糸はあらかじめ化学的に単一色で染色されるために、連続値で微小に変化させるようなことができない。多くの糸のカタログでは、100色を超える程度までの糸を提供しているが、色空間全体に対しては非常に離散的な値を取るようになる。

表 1 画像中の各画素値と選択された経糸・緯糸で表現可能な色との距離

		各組合せに対する誤差 $\ e\ $			
		黒×赤	黒×橙	黒×青	黒×黄
画 素 値	c_1	10	15	50	10
	c_2	50	45	20	30
	c_3	5	15	60	20
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

(2) 純粋な並置混色とみなせるのは、糸が不透明であることがほとんどであるために透けて後ろが見えることがないため、また、織物の解像度が非常に細かいためである。紙に絵の具やインクで着色して多色を表現する場合には、混合混色、積層混色、並置混色の複合した混色が生じることが考えられ、2色の混色であっても単純ではないが、経糸と緯糸の色のみによる純粋な並置混色では、2色による混色は色空間中の2色の点を端点とする線分上のみ生じる。以降のアルゴリズムでは、この線分と対象画素値の距離に基づいて、選択色の適切さを計算する。

ある画素が画素値 c を持ち、経糸が c_i^v と決められているとする。利用できる緯糸の集合 C^h から c_j^h を選択するときの適切さを算出したい。図5における垂線の足の長さ $\|e(c, c_j^h)\|$ は、経糸と緯糸を組み合わせたことによっては表現できない誤差であり、

$$\|e(c, c_j^h)\| = \min_{0 \leq t \leq 1} \|c_i^v + t(c_j^h - c_i^v) - c\| \quad (2)$$

となる。 c_i^v を e のパラメタとしないのは、経糸色があらかじめ決まっており、変更が難しいためである。

任意の画像 I が与えられるときに、その画像に対して色の誤差の和 $\sum_{(x,y) \in I} \|e(c(x,y), c_j^h)\|$ を最小とするような最初の緯糸の色 c_0^h を求める。

$$c_0^h = \min_{c_j^h \in C^h} \sum_{(x,y) \in I} \|e(c(x,y), c_j^h)\| \quad (3)$$

最初以外の緯糸の色には、それまでに選択された緯糸の色では誤差が大きかったような画素値をよく表現できるような色を選ぶことで、全体としての誤差を小さくすることができる。

表1に具体例を示して説明する。表中の画素には黒色の経糸が割り当てられることがあらかじめ決まっているとす。緯糸には赤、橙、青、黄などの選択肢があるものとする。最も画像をよく表現する緯糸色 c_0^h には、誤差の総和が小さい赤が選択される。紫の枠で囲んだ値が赤に対する誤差であり、この総和が他の色よりも小さいことになる。

2色目以降の緯糸色を選ぶとき、単純に誤差の総和だけを求めると、1色目の赤に近い橙が選ばれることになる。赤の誤差の総和が近ければ、似た色でも誤差の総和が小さくなることが多いためである。これに対して、たとえば画素色 c_2 に対しては、橙よりも青や黄を選ぶ方が、赤では表

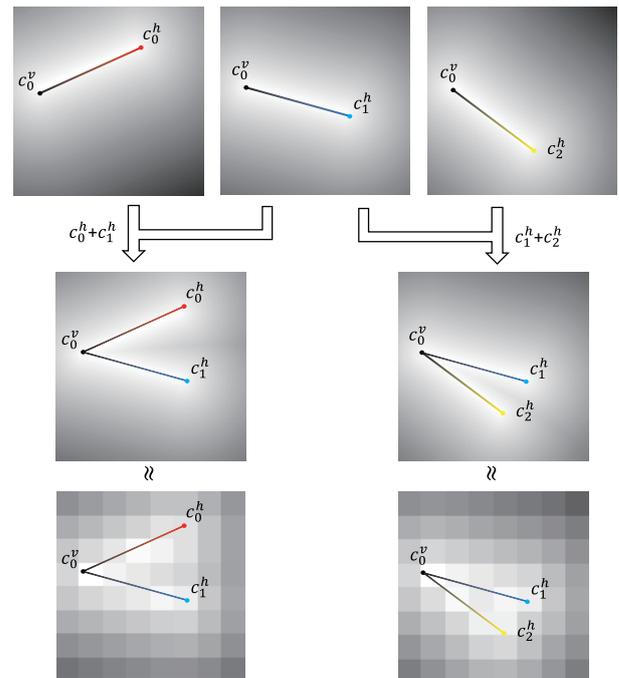


図 6 選択される緯糸の違いによる表現可能な色までの距離。上段は各緯糸色を選択したときの空間中の各色成分の距離 $\|e(c, c_j^h)\|$ を示す。中段にはそれぞれ2色の緯糸色を選択したときの距離を示す。下段は階調を減らした場合の距離を示す。

現できなかった画素値を表現でき、誤差の総和を小さくすることができる。よって、2色目以降の緯糸色を選ぶときには、それまでに選ばれた緯糸色で誤差が大きくなるような画素値を表現できる色を選ぶようにする。

図6にさらに図示して説明する。経糸と緯糸を1色ずつ選ぶとき、色空間中で表現可能な色が1本の線分として定義される。色空間中の各点に対してこの線分までの距離は、各点の示す色を選択された糸で表現するときの誤差を示す。緯糸を2色選択すれば、距離はすべての色に対して小さくなるか変わらないことになる。入力される画像に現れる画素が距離の小くなる範囲に多く現れれば、入力画像に近い出力パターンを得ることを意味する。

これを踏まえ、2色以降の緯糸色 c_k^h ($k = 1, \dots$) は

$$\min_{-e_j}(c) = \min_j \|e(c, c_j^h)\| \quad (4)$$

$$c_k^h = \arg \min_{c_j^h \in C^h / \{c_0^h, \dots, c_{k-1}^h\}} \sum_{(x,y) \in I} \min(\|e(c(x,y), c_j^h)\|, \min_{-e_{j-1}}(c(x,y))) \quad (5)$$

に従って選択することとする。 $\min_{-e_j}(c)$ は画素色 c に対して、 j 番目までの緯糸色で与えられる誤差の最小値を表す。誤差の総和を求めるときには、新たに選ばれる緯糸色が与える画素色 c との誤差と $\min_{-e_j}(c)$ のうちで小さい方の値の和を求め、この和が最小になるような緯糸色を採用することを示す。

さらに、画像中に主体がある場合には、その主体の色が正しく表現されるようにしたい。図 9(a) の例では、ヒマワリが主体であって、その他の領域の色が正しく表現されなくとも、ヒマワリの色は正しく表現したいことが考えられる。このような目的のために、重みマップ R を準備して、緯糸選択の際に考慮できるようにする。式 (3) および式 (5) を R を用いて以下のように更新する。

$$c_0^h = \arg \min_{c_j^h \in C^h} \sum_{(x,y) \in I} R(x,y) \|e(c(x,y), c_j^h)\| \quad (6)$$

$$c_k^h = \arg \min_{c_j^h \in C^h / \{c_0^h, \dots, c_{k-1}^h\}} \sum_{(x,y) \in I} R(x,y) \min(\|e(c(x,y), c_j^h)\|, \min_{e_{j-1}}(c(x,y))) \quad (7)$$

この重みマップは、ユーザが表現したい主体を選択して恣意的に選択することもできるし、自動処理のためには図 9(b) のような顕著性マップ [12] を利用することもできる。顕著性マップを用いれば、画像中で注目されやすい領域の重みを大きくして緯糸を選択することができる。

次に緯糸色の集合を上位順に効率的に示す方法について検討する。 $\|e(c, c_j^h)\|$ は入力される色 c と緯糸色 c_j^h によってのみ決まる関数であり、色空間中のすべての c についてあらかじめ計算しておくことができる。計算のために使用する色の階調 L 、選択可能な緯糸色の種類 J とすれば、入力色に対して各緯糸色の距離を出力するルックアップテーブルは $L \times L \times L \times J$ の 4 次元配列として $\|e(c, c_j^h)\|$ が表現できる。 $\min_{e_j}(c)$ についても、入力色に対してそれまでに選択された糸による最小距離を保持する $L \times L \times L$ の 3 次元配列で表現できる。入力画像が与えられると、入力画像の各画素の値に対応する 4 次元配列の値を参照して、 J 次元ベクトルの要素として総和を求める。計算時間は画素数を N とすると、 $O(NJ)$ である。計算時間削減のためには、画像をあらかじめ縮小して画素数を削減することもできる。自然画像においてはある画素に対して近傍画素の色がほとんど変わらないことが多いので、画像を縮小しても出現する色とその頻度はほとんど変わらないと期待できるためである。 $\min_{e_j}(c)$ も $L \times L \times L$ の 3 次元配列として表現し、経糸が選択されるたびにその値を更新する。更新のための計算量は $O(N)$ となる。

上記処理を行うための階調 L は、入力画像や出力画像の階調と一致させる必要はなく、図 6 に示すように適切に減らすことによって計算時間とメモリを節約することができる。また、画素数 N を小さくすると、計算量も削減できる。縮小しても画像全体の傾向が変わらない自然画像であれば、あらかじめ画像を縮小して上述の計算をすることもできる。

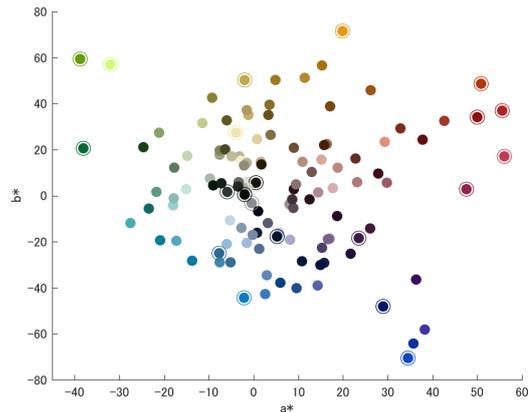


図 7 実験に用いた 22 色の緯糸。 $L^*a^*b^*$ のうちの a^* と b^* を縦軸と横軸に選択してプロットした。同製品には 120 色の販売がある。○で囲ったものが製織のために準備できたもの。

5. 実験

実験では、適切な糸色選択手法の有効性について検証する。カラー写真から適切な糸色を選択し、パターンを生成して、製織する。また、画像を縮小して糸色を得るときに、計算時間がどれほど削減できるか、原解像度で得られたときと同じ糸が得られるかについて調べる。

図 7 にデータベースに登録した 22 色の糸色を示す。緯糸はこの中から提案手法によって選択した。経糸には黒か白のいずれか入力画像に合致しているものを選択した。

図 8 にパターン生成結果を示す。従来法のように RGB や CMY の決まった色の緯糸を利用する場合には、入力画像の陰影をよく表現できずにコントラストが落ちたようなパターンが生成される。これに対して提案手法で適切な糸色を選択する場合には、コントラストの高いパターンが生成された。それぞれ上位 3 色によるパターン生成結果を示しているが、デザイナーの表現意図に従って、より適切な糸色を選択してパターンを生成することもできる。

図 9 に製織結果を示す。自動選択された上位 3 色または 4 色を使って、織物デザイン法と織物誤差拡散法でパターンを生成した。上位 4 色を利用した方が織目の目立つものになり、一概に色数を増やす方がよいパターンを生成するとは言えない。パターン画像上で二値化手法による違いは確かめられないが、製織結果上では、織物誤差拡散法の方が入力画像の色合いをより反映するが、黒つぶれが目立つ結果を示した。表現対象や望む結果によって、手法を選択することができる。

図 8(c) および図 9(a) に示す入力画像 1 および 2 に対して、解像度を縮小して緯糸の選択をしたときの処理時間を図 10 に示す。重みマップには顕著性マップを利用した。処理には Intel Core i7(2.60GHz)、MM16GB、NVIDIA GeForce 940M(1GB) のラップトップ端末を用いた。

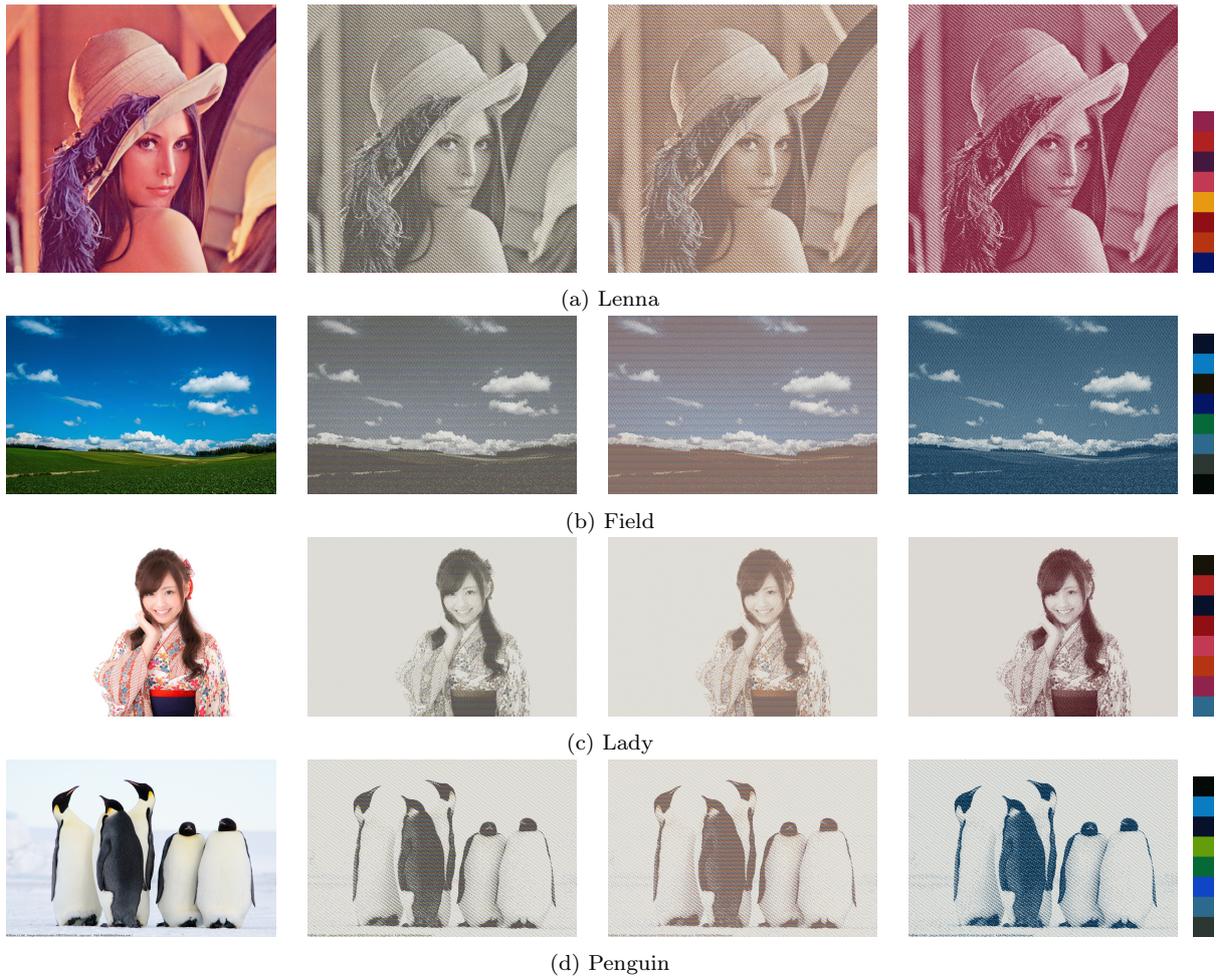


図 8 自動緯糸選択と多色織パターン生成の結果. 各行は左から RGB による生成パターン, CMY による生成パターン, 選択上位 3 色による生成パターンと選択された緯糸色. 重みマップには入力画像の顕著性マップを利用した.

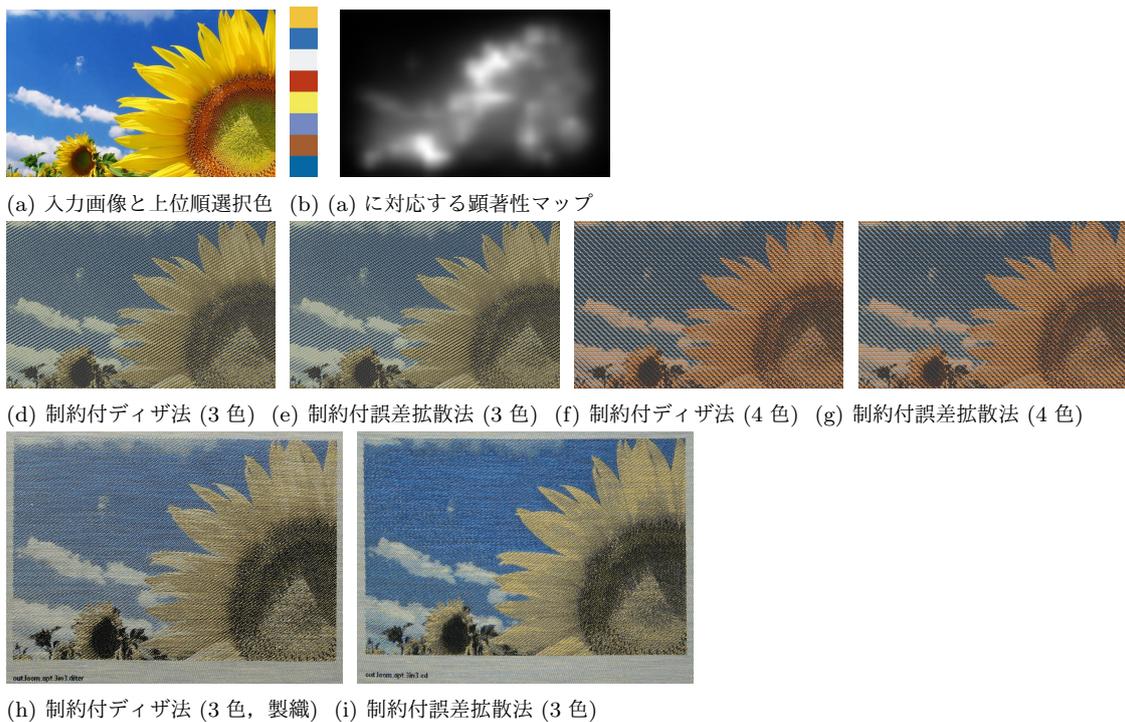
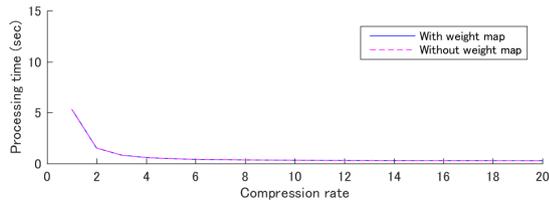
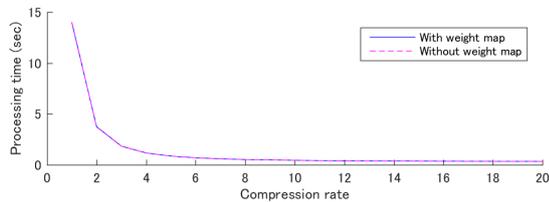


図 9 選択された緯糸色による多色織パターン生成結果と製織結果



(a) 入力画像 1 (図 8(c)), 解像度 1500 × 1000



(b) 入力画像 2 (図 9(a)), 解像度 2560 × 1600

図 10 入力画像に対する縮小率と処理時間

計算時間は縮小率に対して指数的に減少し、入力画像 1 に対しては 5.3 秒程度の処理が 0.28 秒程度に、入力画像 2 に対しては 14 秒程度の処理が 0.34 秒程度となった。重みマップの使用の有無による処理時間の違いはほとんどなかった。

入力画像 1 に対して重みマップを用いない場合には、ほとんど色は変動がなかったものの、縮小率を 14 倍にしたときに 7 位と 8 位が入れ替わり、19 倍にしたときに 8 位の色にそれまでに現れない色が現れた。同様に重みマップを用いた場合には、8 位の色が同系色の中で頻繁に入れ替わり、14 倍にしたときには同系色でない色が 8 位に現れた。入力画像 2 に対しては、重みマップを用いた場合にも用いない場合にも、上位 8 位までの色の変動はなかった。以上から、画像を十分に縮小しても選択される緯糸色はほとんど影響がなかったといえる。

6. まとめ

本研究では、任意のカラー写真からのジャカード織物パターン生成を実現した。また、データベースに登録された糸の集合から任意の画像をよく再現する緯糸の部分集合を求める手法を提案した。実験によって、高速に適切な糸色を選択でき、カラー写真に対する織物パターンを生成できることを示した。

今後の課題として、色の選択に感性的な情報を加えることを挙げる。パレット自動選択の研究 [10], [11] では、入力画像のみならずより多くの同分類の画像や、Mechanical Turk で得られた情報も利用してパレット色の選択を実現しており、このことは織物パターン生成にも重要な示唆を与える。

謝辞

本研究の一部は、総務省 SCOPE(152103007) および科

研費 (25280037) の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- [1] Ng, F. M. and Zhou, J.: Digital Jacquard Textile Design in a Colorless Mode, *Research Journal of Textile and Apparel*, Vol. 10, No. 2, pp. 36–42 (2006).
- [2] Bayer, B. E.: An optimum method for two-level rendition of continuous-tone pictures, *IEEE International Conference on Communications*, pp. 11–15 (1973).
- [3] Floyd, R. W. and Steinberg, L.: An Adaptive Algorithm for Spatial Grayscale, *Proceedings of the Society for Information Display*, Vol. 17, No. 2, pp. 75–77 (1976).
- [4] 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 (2014).
- [5] 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* (2014).
- [6] Osaki, K.: Reproduction of Various Colours on Jacquard Textiles by Only Eight Kinds of Colour Wefts, *Proceedings of SPIE*, Vol. 4421, pp. 740–744 (2002).
- [7] Yamamoto, S., Mao, X. and Imamiya, A.: Colored Pencil Filter with Custom Color, *Proceedings of Pacific Graphics*, pp. 329–338 (2004).
- [8] Yang, H., Kwon, Y. and Min, K.: A Stylized Approach for Pencil Drawing from Photographs, *Computer Graphics Forum*, Vol. 31, No. 4, pp. 1471–1480 (2012).
- [9] Power, J. L., West, B. S., Stollnitz, E. J. and Salesin, D. H.: Reproducing Color Images as Duotones, *Proceeding of SIGGRAPH*, pp. 237–248 (1996).
- [10] Delon, J., Desolneux, A., Lisani, J. L. and Petro, A. B.: Automatic Color Palette, *Processing of ICIP*, Vol. 2, pp. 706–709 (2005).
- [11] Lin, S. and Hanrahan, P.: Modeling How People Extract Color Themes from Images, *ACM CHI*, pp. 3101–3110 (2013).
- [12] Hou, X., Harel, J. and Koch, C.: Image Signature: Highlighting Sparse Salient Regions, *IEEE TPAMI*, Vol. 34, No. 1, pp. 194–201 (2012).