

氏名	五十嵐 哲也
博士の専攻分野の名称	博士（情報科学）
学位記番号	医工博第423号
学位授与年月日	平成30年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
専攻名	人間環境医工学工学専攻
学位論文題目	自然画像を忠実に再現可能なジャカード組織生成
論文審査委員	主査 教授 茅 暁陽
	教授 郷 健太郎
	准教授 渡辺 喜道
	准教授 小俣 昌樹
	准教授 豊浦 正広
	北陸先端科学技術大学院大学教授 宮田 一乗

学位論文内容の要旨

織物は、経糸（たていと）と緯糸（よこいと）が直交するよう交差するパターンによって形成される平面状の構造物であるが、同時に、経糸と緯糸はその交差パターンと糸の色との組み合わせによって、織物表面上に色彩やグラフィカルな模様による意匠を現出する媒体でもある。経糸と緯糸の交差パターンを高い自由度で操作することができるジャカード織機は、デザイナーの意図を反映し複雑な意匠を織物上に表現することが可能である。本研究はこの技術の延長であり、織物組織パターンの制御によって、デザイナーが織物上に再現可能な意匠の品質を向上させることを目的としている。伝統的なジャカード織物は、意匠をいくつかの領域に分割し、領域ごとに異なる織物組織パターンを適用することによって、領域ごとに異なる色調を表現する。大きな意匠を表現するには多数の糸が必要となるため、ジャカード組織パターンの設計は、かつては多大な労力を要するものだったが、1980年代以降はコンピュータにより省力化された。それと同時に、コンピュータによる新しいジャカード織物のデザイン、設計技術が提案されるようになり、それらはデジタルジャカードと呼ばれた。デジタルジャカードは、伝統的なジャカード織物の設計では困難だった連続階調をハーフトーニング、ディザリングなどの画像処理のコンセプトを用いて実現し、写真や絵画をモチーフとしたモノトーン及びフルカラーのアート作品、タペストリなどが数多く発表された。しかしデジタルジャカードはタペストリや緞帳など大きなサイズでの表現を志向するものが多いため微視的な観点での改善を目指した例は少なく、またフルカラーを表現するために多数の色糸を要してコストや生地厚が増大するものが多くみられる一方、一般的なファッションやインテリアで用いられるサイズや生地厚の仕様に近いものに特化した研究は少なかった。

そこで本研究では、織物組織パターンの規則性に従いながら連続的な階調を表現する伝統的な手法である増点法に着目し、これを組織的ディザ法に適用して拡張することで階調表現の品質を向上させることを目指し、新しいデジタルジャカード技術の研究開発を行った。組織的ディザ法で用いる閾値マトリクス設計において、縐子組織のパターンのバリエーションが漸進的に変化するような出力結果が得られるよう、閾値を階段状に配置したステッピングディザマスクを用いる手法が筆者及び豊浦らにより提案されていた。本研究の基礎的なアプローチは、ステッピングディザマスクを改善することである。

まず現状の技術の課題として、緩やかに階調が変化する領域で発生する意図しない繰り返しパターン、アーティファクトをどのように除去するかという問題があった。本研究ではアーティファクトの発生原因を解析した結果、サイズ n のステッピングディザマスクに用いる $n(n-2)+1$ 種類の閾値が、ディザマスクの階段状構造のどの位置に配置されるかを定義するマッピングに問題があるため、閾値の配置に偏りが発生することが原因であると解明した。

これを解決するため閾値のマッピングを行う最小単位として n 個の数値からなるオーダーユニットを定義し、閾値の偏りをコストとした関数を解くことで最適なオーダーユニットを求め、これをディザマスクの設計に適用する手法である OSD (Ordered Stepping Dithering) 法、またこれを応用しディザマスクのタイリングによる外観の規則性を低減する RSSD (Random Shift Stepping Dithering) 法を提案した。これによって緩やかな階調変化のなかでもアーティファクトの発生を防ぐ結果を得ることができた。

次に入力画像の微細構造の再現性の観点から従来手法を見直し、組織的ディザ法がディザマスクの持つパターンのために、ディザマスクサイズより小さな構造の保存を保証しないことに着目した。そこで、出力結果がよりよく入力画像の微細な構造を再現するために、ディザマスクサイズ内であっても大きな階調変化がある領域では、ディザマスクのパターンよりも画素の輝度の順序を優先するよう、組織的ディザ法を拡張する手法、IFT (Intensity Forced Thresholding) 法を開発した。これによって入力画像の微細な構造はよりよく保存可能となり、織物上への意匠の再現精度を高める結果が得られた。また、画像の低周波領域に優れた OSD 法と高周波領域を再現可能な IFT 法を組み合わせるため、入力画像の画素単位に周囲との差分の大きさを閾値として OSD 法と IFT 法を選択し適用する手法を提案し、良好な結果を得た。

これまで行ってきた提案では縐子組織をディザマスクの基本構造に用いてきたが、サイズ n と飛び数 m によって定義される縐子組織のどれを使用するかはデザイナーの判断に委ねるとしてきた。本研究ではこれまでの提案手法を活用する上でのデザイナー支援のため、サイズ n と飛び数 m の変化による縐子線方向の違いなど選択に有用な情報を示すとともに、飛び数 m が一定でない変則縐子についてもそのバリエーション探索によってリストアップし、またその活用が織物上での新しい表現を促すこと、また変則縐子への IFT 法の適用が可能であることを示した。

本研究では織物の経糸と緯糸の組み合わせとして最もシンプルな形態である経糸及び緯糸が 1 色ずつの緯糸 1 丁の条件下で研究を進めてきた。しかし 1 丁織物では、経糸と緯糸が織物構造の保持と糸の露出による階調変化の双方を同時に担う必要があるため、どちらかの糸の露出を増やしてコントラストを高めようとするサイズ n を増加させる必要があるが、 n の増加により織物構造が弛緩し軟弱化することを考慮すると、デザイナーの選択肢は少ない。そこで本研究では、輝度のコントラスト向上と織物構造の緊密性保持を両立させる事例として、経糸 1 色、緯糸 2 色の 2 丁織物に研究成果を適用し、伝統的な階調表現を改善する手法を提案した。この手法では緯糸に使用された白と黒の 2 色の糸が、いずれか

の露出が増えたときに他方が織物構造の緊密さを保持するよう働くことで、白～黒のコントラストを最大化することが可能である。この手法は組織変化のパターンが複雑であるため、多大な労力を要するものだったが、本研究で提案する組織的ディザ法の活用により大幅な省力化が可能となり、また OSD 法で用いた緩やかな階調変化に最適化したオーダーユニットをこれに適用することで、より豊かな階調の表現が可能であることを示した。

本研究では縐子組織の規則的なパターンを持つステッピングディザマスクを、低周波及び高周波領域で改善する手法として OSD 法、IFT 法を提案し、これまでより優れた再現性を持つジャカード組織の生成を実現した。本手法により生成したジャカード組織は縐子組織の規則性を保持するよう設計されているため、その規則性を美的な観点から活用可能であると同時に、RSSD 法のようにランダム性を付加することや、誤差拡散法の閾値に OSD 法によるステッピングディザマスクを適用するなど、規則性を意図的に減少させる応用も可能であることを実験により示すことができた。

論文審査結果の要旨

織物物は衣服、カーテン、自動車の内装などの日常生活のみでなく、フィルターなどの工業資材や炭素繊維の構造材など、様々分野で用いられている。経糸と緯糸の交差パターンを高い自由度で操作することができるジャカード織機は、デザイナーの意図を反映し複雑な意匠を織物上に表現することが可能である。本研究は高度な画像処理技術を駆使し、デザイナーが織物上に再現可能な意匠の品質を向上させることを目的としている。伝統的なジャカード織物は、意匠をいくつかの領域に分割し、領域ごとに異なる織物組織パターンを適用することによって、領域ごとに異なる色調を表現する。大きな意匠を表現するには多数の糸が必要となるため、ジャカード組織パターンの設計は、かつては多大な労力を要するものだったが、1980 年代以降はコンピュータにより省力化された。デジタルジャカードは、伝統的なジャカード織物の設計では困難だった連続階調をハーフトニング、ディザリングなどの画像処理のコンセプトを用いて実現し、写真や絵画をモチーフとしたモノトーン及びフルカラーのアート作品などが数多く発表された。しかしデジタルジャカードはタペストリや緞帳など大きなサイズでの表現を志向するものが多いため微視的な観点での改善を目指した例は少なく、またフルカラーを表現するために多数の色系を要してコストや生地厚が増大するものが多くみられる一方、一般的なファッションやインテリアで用いられるサイズや生地厚の仕様に近いものに特化した研究は少なかった。

本研究では、織物組織パターンの規則性に従いながら連続的な階調を表現する伝統的な手法である増点法に着目し、これを組織的ディザ法に適用して拡張することで階調表現の品質を向上させることを目指した。組織的ディザ法で用いる閾値マトリクス設計において、縐子組織のパターンのバリエーションが漸進的に変化するような出力結果が得られるよう、閾値を階段状に配置したステッピングディザマスクを用いる手法が筆者及び豊浦らにより提案されていた。本研究ステッピングディザマスクを改善することで上記の目標を達成させた。

まず現状の技術の課題として、緩やかに階調が変化する領域で発生する意図しない繰り返しパターン、アーティファクトをどのように除去するかという問題があった。本研究ではアーテ

ィファクトの発生原因が、ステッピングディザマスクに用いる閾値のディザマスク内における配置に偏りにあることを解明した。これを解決するため閾値のマッピングを行う最小単位として n 個の数値からなるオーダーユニットを定義し、閾値の偏りをコストとした関数を解くことで最適なオーダーユニットを求め、これをディザマスクの設計に適用する手法である OSD (Ordered Stepping Dithering) 法、またこれを応用しディザマスクのタイリングによる外観の規則性を低減する RSSD (Random Shift Stepping Dithering) 法を提案した。これによって緩やかな階調変化のなかでもアーティファクトの発生を防ぐ結果を得ることができた。

次に入力画像の微細構造の再現性の観点から従来手法を見直し、組織的ディザ法がディザマスクの持つパターンのために、ディザマスクサイズより小さな構造の保存を保証しないことに着目した。そこで、出力結果がよりよく入力画像の微細な構造を再現するために、ディザマスクサイズ内であっても大きな階調変化がある領域では、ディザマスクのパターンよりも画素の輝度の順序を優先するよう、組織的ディザ法を拡張する手法、

IFT (Intensity Forced Thresholding) 法を開発した。これによって入力画像の微細な構造はよりよく保存可能となり、織物上への意匠の再現精度を高める結果が得られた。また、画像の低周波領域に優れた OSD 法と高周波領域を再現可能な IFT 法を組み合わせるため、入力画像の画素単位に周囲との差分の大きさを閾値として OSD 法と IFT 法を選択し適用する手法を提案し、良好な結果を得た。

これまで行ってきた提案では縞子組織をディザマスクの基本構造に用いてきたが、サイズ n と飛び数 m によって定義される縞子組織のどれを使用するかはデザイナーの判断に委ねるとしてきた。本研究ではこれまでの提案手法を活用する上でのデザイナー支援のため、サイズ n と飛び数 m の変化による縞子線方向の違いなど選択に有用な情報を示すとともに、飛び数 m が一定でない変則縞子についてもそのバリエーション探索によってリストアップし、またその活用が織物上での新しい表現を促すこと、また変則縞子への IFT 法の適用が可能であることを示した。

織物の経糸と緯糸の組み合わせとして最もシンプルな形態である経糸及び緯糸が 1 色ずつの緯糸 1 丁織物では、経糸と緯糸が織物構造の保持と糸の露出による階調変化の双方を同時に担う必要があるため、どちらかの糸の露出を増やしてコントラストを高めようとするとサイズ n を増加させる必要があるが、 n の増加により織物構造が弛緩し軟弱化することを考慮すると、デザイナーの選択肢は少ない。本研究では、輝度のコントラスト向上と織物構造の緊密性保持を両立させる事例として、経糸 1 色、緯糸 2 色の 2 丁織物に研究成果を適用し、伝統的な階調表現を改善する手法を提案した。この手法では緯糸に使用された白と黒の 2 色の糸が、いずれかの露出が増えたときに他方が織物構造の緊密さを保持するよう働くことで、白～黒のコントラストを最大化することが可能である。

山梨県郡内地区は全国でも有数な織物産地である。本研究の成果は情報科学と織物産業への貢献のみでなく、地方創生という観点からも高く評価できる。

本論文の研究に関し、博士論文審査要綱に基づき最終試験を実施した。提出された博士論文および公聴会における発表内容に関連し、研究背景、概念規定、評価実験の妥当性と信頼性、論文構成、情報学的価値、社会的意義などに関する質疑を行い、論文提出者の見識を問うた。その結果、試問の内容において妥当な解答が得られたこと、並びに発表論文の基準を満たすものであったことから、博士論文審査委員会は博士に相応しい学力と見識を有するものとして認め、最終試験を合格とした。