

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：37120

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540111

研究課題名(和文) 相補型同時最適化理論に基づく限定色画像拡大アルゴリズムの確立

研究課題名(英文) Establishment of Restricted-color Image Enlargement Algorithm Based on Complementary Simultaneous Optimization Theory

研究代表者

麻生 隆史 (ASO, Takashi)

九州情報大学・経営情報学部・教授

研究者番号：20259683

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、色量子化において消失してしまう少数色の保存性に優れ、疑似輪郭を生じにくいパレットを自動生成するアルゴリズムを開発することである。ここでは、ベクトル誤差拡散法と粒子群最適化法を用いた限定色画像生成アルゴリズムを開発し、テスト画像へ適用した。その画質を定量的かつ定性的に評価した結果、限定色画像の画質を大きく左右する少数色や、デザインングでは改善し難い色を優先的にパレットに配置することで、原画像に近い印象の限定色画像を生成可能であることを確認することができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to establish a color palette automatic generation algorithm that is superior in terms of preserving of minority colors and suppressing of pseudo edges. The proposed method employs a vector error diffusion method and a particle swarm optimization, and it is applied to test images. As a result with the quantitative and qualitative evaluations of image quality, it was confirmed that a selection of the minority colors with high importance on a priority basis could generate the restricted-color image with natural impression.

研究分野：情報学

キーワード：ソフトコンピューティング ファジィ推論 画像拡大 色量子化 限定色画像

1. 研究開始当初の背景

電子ペーパーに代表される新しい表示デバイスの開発では、消費電力や応答速度を最重要視しているため、デバイスの性質上、使用できる色数がフルカラーのディスプレイに比べ著しく制限される。従って、このようなデバイスで表示される画像は限定色画像に制限される。限定色画像は、画像ごとに代表色が列挙されたパレットを持ち、パレットのインデックス値を各画素の値として持つ。限定色画像は、少ない情報量で高い画質を保てるために、1990年代に広く研究されていたものの、液晶ディスプレイのフルカラー化と計算機の高性能化、並びに HP 社の GIF 特許問題に伴い、1990年代後半からはほとんど研究されてこなかった。しかし、近年、GIF 特許期限が切れたことや、電子ペーパー等の新しい表示デバイスの登場があいまって、表示可能色数の少ない表示デバイスでの使用に耐えうる限定色画像が再び注目を集めている。

限定色画像に関する従来研究は、多くの色を少数の代表色で表現するための色量子化法のみ焦点が当てられていた。これでは、表示サイズ(解像度)の異なる種々の端末への対応が不十分であり、サイズの異なるディスプレイでの表示を考えると限定色画像を品質劣化なく拡大する技術が必須となる。

2. 研究の目的

本研究では、限定色画像の画質に直結する色量子化(パレットの作成)と、拡大画像の画質に直結するコードブックの自動生成問題を、互いに影響を及ぼし合う相補型同時最適化問題として統合し、その同時求解アルゴリズムの確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、色量子化において消失してしまう少数色の保存性に優れ、疑似輪郭を生じにくいパレットを自動生成するアルゴリズムを粒子群最適化法(Particle Swarm Optimization: PSO)に基づいて開発し、その有効性を検証した。

具体的には、限定色画像に生じる疑似輪郭を抑制することを目的として、ディザリングの一種であるベクトル誤差拡散法(Vector Error Diffusion)を用いた。ベクトル誤差拡散法とは、原画像(フルカラー)の各画素値を限定色(パレット内の色)に置き換えた際に生じる誤差を隣接画素に拡散させる方法であり、色の濃淡を網点の大きさや密度の差として表現することが可能となる。ここでは、図1に示す Floyd-Steinberg 法で用いられる拡散係数を用いた。

本研究では、ベクトル誤差拡散法を適用する際に必要となるパレットを粒子群最適化法によって生成する方法を提案した。提案手法の概要を図2に示す。提案手法では、フルカラーの原画像の各画素値を量子化するた

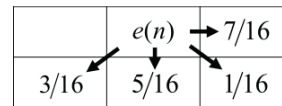


図1. Floyd-Steinberg 法における誤差の拡散係数 ($e(n)$ は誤差を表す)

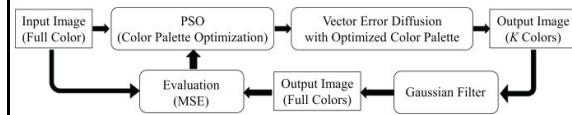


図2. 誤差拡散法と粒子群最適化法に基づく限定色生成アルゴリズムの概要

めのパレットを粒子群最適化法に基づいて生成する。粒子群最適化法とは、昆虫や魚、鳥などの群れ行動の特性に着想を得た探索アルゴリズムである。群れは、探索空間内を移動する複数の粒子としてモデル化され、各粒子は、探索空間内における自身の現在位置と移動速度、自身の過去の最良位置と集団全体における最良位置を保持している。これらの情報を粒子間で交換し、それに基づいて各粒子の位置を更新していくことにより、最適解を探索していく。

次に、粒子群最適化法によって獲得されたパレットを用いて誤差拡散法を実行することで、限定色画像を生成する。本研究では、生成された限定色画像の視覚的な画質を評価するために、限定色画像にガウシアンフィルタを適用することで擬似的にフルカラー化を行い、フィルタ出力画像と原画像との二乗平均誤差を粒子群最適化法の評価関数として採用した。また、原画像との二乗平均誤差を評価関数として採用することで、従来の量子化アルゴリズムで色量子化した際には消失してしまう少数色を保存することが可能となる。

4. 研究成果

提案手法を8種類の自然画像の32色および64色への減色に適用し、その性能を検証した。性能の検証にあたっては、比較手法として、従来のメジアンカット法および K-means 法を採用した。検証の結果、提案手法を用いることで、従来の手法と比較して少数色の保存性に優れ、疑似輪郭を抑制することが可能なパレットを生成することが可能となった。生成された限定色画像の一例を図3および図4に示す。

図3においては、画像中の右枠内の人物の肩や背景において、疑似輪郭の抑制効果と原画像の再現性が向上していることがわかる。また、画像中の左枠内においては、髪飾りの再現性が向上していることがわかる。この結果の差異は、髪飾りを表現するための色数が、従来手法と比較してパレット内に数多く確保されていることに起因する。

図4においても、図3と同様の傾向が得られていることがわかるが、特に、画像中央の



図 3. 限定色画像生成結果 (Lenna・64 色). (a)原画像(フルカラー). (b)メジアンカット法. (c)K-means 法. (d)提案手法.

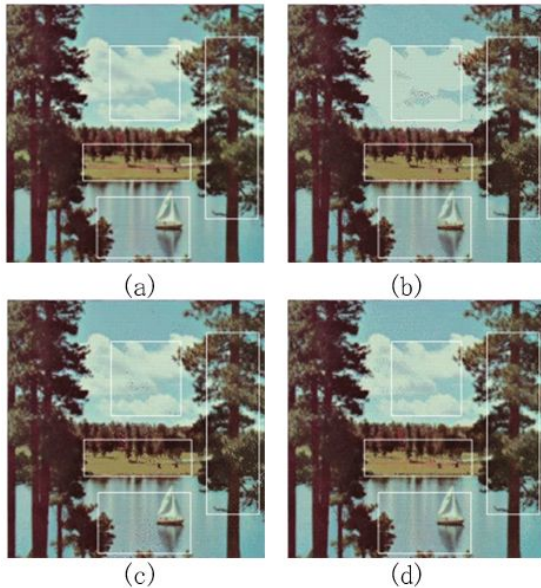


図 4 限定色画像生成結果(Sailboat・64 色). (a)原画像(フルカラー). (b)メジアンカット法. (c)K-means 法. (d)提案手法.

枠内における茶色の地面や、紅葉の樹木の色保存性が従来手法と比較して高いことが見て取れる。

また、32 色および 64 色に色量子化を行った際の定量評価の結果をそれぞれ表 1 および表 2 に示す。各表において、QE は原画像と限定色画像における量子化誤差を表し、MSE は原画像と限定色画像における二乗平均誤差を表している。これらの表の結果から、提案手法では量子化誤差は従来の K-means 法と比較して若干大きいものの、原画像との二乗平均誤差は最も小さいことがわかる。

以上のことから、本研究で提案するパレット最適化アルゴリズムを用いることで、限定色画像の画質を大きく左右する少数色や、ディザリングでは改善し難い色を優先的にパ

表 1. 生成された限定色画像 (32 色) における原画像との誤差との関係。MCA および KMC は、それぞれメジアンカット法と K-means 法を表す。

Test Image	Errors	MCA	KMC	Proposed
Couple	QE	9.11	6.95	7.08
	MSE	99.55	61.72	57.90
Parrots	QE	16.14	13.55	14.92
	MSE	271.25	215.67	199.85
Balloon	QE	10.08	7.10	7.57
	MSE	107.52	66.36	59.13
Girl	QE	14.76	10.36	11.11
	MSE	254.59	116.03	95.46
Milkdrop	QE	11.11	8.60	9.22
	MSE	140.32	94.67	74.65
Sailboat	QE	12.11	10.16	11.79
	MSE	160.07	128.81	106.07
Lenna	QE	10.60	9.36	12.25
	MSE	119.97	119.98	89.26
Mandrill	QE	17.49	15.97	17.15
	MSE	355.76	299.28	241.19

表 2. 生成された限定色画像 (64 色) における原画像との誤差との関係。MCA および KMC は、それぞれメジアンカット法と K-means 法を表す。

Test Image	Errors	MCA	KMC	Proposed
Couple	QE	8.27	5.52	7.01
	MSE	80.66	46.92	46.55
Parrots	QE	12.15	10.05	11.08
	MSE	140.10	122.34	103.72
Balloon	QE	8.09	5.35	5.47
	MSE	70.75	41.09	39.60
Girl	QE	11.44	7.90	8.27
	MSE	157.92	67.25	62.55
Milkdrop	QE	8.20	5.98	6.54
	MSE	88.22	51.12	47.07
Sailboat	QE	10.37	8.12	9.90
	MSE	105.60	76.83	64.32
Lenna	QE	8.30	7.10	8.21
	MSE	84.65	71.46	63.12
Mandrill	QE	14.06	12.58	13.67
	MSE	216.90	206.23	161.39

レットに配置することで、原画像に近い印象の限定色画像を生成可能であることを明らかにすることができた。

従来の色量子化およびディザリングに関する研究は、それぞれ別個のテーマとして扱われてきたが、これらのテーマを同時に扱う本研究は、限定色画像の生成において新たな位置付けとなり、その社会的インパクトと意義は大きいと考えられる。

本研究の遂行にあたっては、限定色画像の生成の際に、当初の予想以上に疑似輪郭の発生が画質に大きく影響を及ぼすことが判明したため、疑似輪郭を抑制するためのディザリングの一種であるベクトル誤差拡散法を導入することとなった。しかし、ベクトル誤差拡散法においても、使用するパレットが画質に大きく影響を及ぼすため、色量子化の誤差と画像間の誤差を同時に最小化する問題

として定型化することで、この問題を解決することができた。また、提案手法は、直列的な処理によって構成されているため、今後は、画像拡大の手法と組み合わせた同時最適化を行うための、さらなる拡張を行う予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

Ryosuke Kubota, Hakaru Tamukoh, Hideaki Kawano, Noriaki Suetake, Byungki Cha, Takashi Aso,

"A Color Quantization Based on Vector Error Diffusion and Particle Swarm Optimization Considering Human Visibility",

Lecture Notes in Computer Science 9431 (7th Pacific-Rim Symposium, Image and Video Technology (PSIVT2015)), pp.332-343, Auckland, New Zealand, Nov. 25-27, 2015. 査読有

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

麻生 隆史 (ASO, Takashi)

九州情報大学・経営情報学部・教授

研究者番号：20259683

(2)研究分担者

車 炳王己 (CHA, Byungki)

九州情報大学・経営情報学部・教授

研究者番号：10310004

田向 権 (TAMUKOH, Hakaru)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授

研究者番号：90432955

久保田 良輔 (KUBOTA, Ryosuke)

宇部工業高等専門学校・制御情報工学科・准教授

研究者番号：50432745

(3)連携研究者

(4)研究協力者