RGB色空間の境界色を用いたカラー画像のコントラスト強調

Contrast Enhancement of Color Images with Boundary Colors in RGB Color Space

正会員 井上 光平[†], 原 健二[†], 浦 浜 喜一[†]Kohei Inoue[†], Kenji Hara[†] and Kiichi Urahama[†]

Abstract We propose a method for enhancing the contrast of color images by transforming the original colors into the colors on the boundary of RGB color space. Experimental results show that the proposed method generates colorful and contrast-enhanced images.

キーワード: contrast enhancement, color image, RGB color space, variance maximization

1. ま え が き

近年、デジタル映像機器の普及に伴い、より高度なカラー画像のコントラスト強調法が求められている¹⁾。グレースケール画像を対象とする方法を、カラー画像の各成分(例えば、RGB色空間であれば、RGBの各成分)に、もしくは、輝度成分のみに施すというのが簡単な方法であるが、そうすると、各成分の相関関係が乱される場合がある。そこで、マルチチャネル信号処理が必要になる。カラー画像処理では、色空間を処理に適したものに变换するという方法も考えられるが、最終的にはRGB色空間に戻さねばならず、その結果が元のRGB色空間からはみ出してしまう場合があるという難点がある。Hanら²⁾は、グレースケール画像のヒストグラムを均等化するようなカラー画像のコントラスト強調法を提案した。Naikら³⁾も、色相を保存しながらカラー画像を強調する、同様の手法を提案している。

本論文では、RGB色空間の境界色を用いることによって、RGB色空間における画素値の分散を最大化するようなコントラスト強調法を提案し、鮮やかな色合いのコントラスト強調画像が得られることを実験で示す。また、提案手法と従来手法とを組合せた方法も提案し、さらにコントラストを強調できることを実験で示す。

2. 提 案 手 法

縦方向の画素数を m とし、横方向の画素数を n とするカラー画像を $f = [f_{ij}]$, $f_{ij} = (f_{ij}^R, f_{ij}^G, f_{ij}^B)$, $i =$

$1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$ とする。ここで f_{ij} は、画素 (i, j) のRGB値 $f_{ij}^R, f_{ij}^G, f_{ij}^B$ を要素とするベクトルであり、各要素の取り得る値は、 $f_{ij}^X \in \{0, 1, \dots, 255\}$, $X \in \{R, G, B\}$ とする。RGB色空間の概念図を図1に示す。RGB色空間は立方体で表すことができ、その中の1点が一つの色に対応する。本論文では、この立方体の表面上の点に対応する色を境界色と呼ぶことにする。RGB色空間の2点 $(0, 0, 0)$ と $(255, 255, 255)$ を結ぶ線分上の点を $p(\alpha) = \alpha(1, 1, 1)$, $\alpha \in [0, 255]$ とし、

$$\tilde{f}_{ij} = t[f_{ij} - p(\alpha)] + p(\alpha) \quad (1)$$

によって、 f_{ij} をRGB色空間の境界の色 $\tilde{f}_{ij}$ に変える。すなわち、RGB色立方体の2頂点 $(0, 0, 0)$ と $(255, 255, 255)$ を結ぶ線分上の1点から、RGB色空間中の1点 f_{ij} に向かうベクトルを伸ばしていき、RGB色立方体の表面と交わる点を求める。(1)式の t は変数であり、ベクトルの一つの要素を取り出すと、 $\tilde{f}_{ij}^X = t(f_{ij}^X - \alpha) + \alpha$ より

$$t(\tilde{f}_{ij}^X) = \frac{\tilde{f}_{ij}^X - \alpha}{f_{ij}^X - \alpha} \quad (2)$$

と表される。 $\tilde{f}_{ij}^X$ を境界色にするには、

$$t_{ij} = \min_{\tilde{f}_{ij}^X \in \{0, 255\}, X \in \{R, G, B\}} t(\tilde{f}_{ij}^X) \quad (3)$$

$$\text{subj.to } t(\tilde{f}_{ij}^X) \geq 0 \quad (4)$$

によって t の値を求めればよい。(4)式の制約条件は、RGB色立方体表面に向かって伸ばすベクトルの向きが反転するのを禁ずるためのものであり、(3)式の最小化は、 f_{ij} に最も近い平面を選択することを意味する。これにより、 f_{ij} に最も近い境界色が求まる。すべての画素において、(3)式の t_{ij} を(1)式の t に代入して $\tilde{f}_{ij}$ を計算すると、RGB色

2011年11月17日受付, 2012年5月11日採録

[†]九州大学 大学院芸術工学研究院 コミュニケーションデザイン科学部門
(〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1, TEL 092-553-4512)

[†]Department of Communication Design Science, Faculty of Design,
Kyushu University
(4-9-1, Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka-shi, 815-8540 Japan)

図 1 RGB 色空間
RGB color space.

空間の境界色のみで構成される画像 $\tilde{f}(\alpha) = [\tilde{f}_{ij}(\alpha)]$ が得られる。

次に、 α の値を決める方法を考える。ここでは、 α の値を自動的に決めるための方法の一つとして、RGB 色空間における $\{\tilde{f}_{ij}(\alpha)\}$ の分散が最大になるような α を求める方法を提案する。すなわち、

$$\max_{\alpha} \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left\| \tilde{f}_{ij}(\alpha) - \bar{f}(\alpha) \right\|^2 \quad (5)$$

を解く。ここで、 $\bar{f}(\alpha) = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{f}_{ij}(\alpha)$ である。

3. 実験例

実験に用いた画像を図 2(a)-(c) に示す。図 2(a), (b) の画素数は 512×512 であり、図 2(c) の画素数は 256×256 である。Han らの手法²⁾ による結果を図 2(d)-(f) に示し、Paint Shop Pro ver. 7.04 のヒストグラム平均化の結果を図 2(g)-(i) に示す。提案手法において、 α の値を 0.5 刻みで変えたときの分散 ((5) 式) の値の変化を図 3 に示す。縦軸は分散であり、横軸は α である。図中の実線、破線、点線はそれぞれ図 2(a), (b), (c) に対応し、分散が最大となる α の値はそれぞれ $\alpha = 147.0, 128.5, 99.5$ であった。このときの画像 $\tilde{f}(\alpha)$ をそれぞれ図 2(j), (k), (l) に示す。これらの画像は、RGB 色空間の境界色で構成されているため、元画像 (図 2(a)-(c)) や従来手法による結果 (図 2(d)-(i)) と比較すると、色がより鮮やかであり、また、明るい画素はより明るく、暗い画素はより暗くなっており、コントラストも強調されている。このように提案手法では、鮮やかな色合いのコントラスト強調画像が得られる。

次に、Han らの手法²⁾ と提案手法を組合せたときの結果を図 4 に示す。図 4(a)-(c) は提案手法を行った後に Han らの手法²⁾ を行った結果であり、図 4(d)-(f) は 2 手法の順序を変えたときの結果である。このように、二つの手法を組合せることによって、さらにコントラストを強調することもできる。各画像の RGB 色空間における分散を表 1 に示す。表中の Comb. 1, 2 は、上述の Han らの手法²⁾ と提案手法を組み合わせた 2 手法を表している。どの画像でも、Comb. 2 で分散が最大になった。また、どの手法でも、元

図 2 元画像: (a) Lena, (b) Mandrill, (c) Pepper と、コントラスト強調の結果: (d)-(f) Han らの手法²⁾, (g)-(i) Paint Shop Pro, (j)-(l) 提案手法

Original images: (a) Lena, (b) Mandrill and (c) Pepper, and the corresponding results: (d)-(f) by Han's method²⁾, (g)-(i) by Paint Shop Pro and (j)-(l) by the proposed method.

図 3 分散と α の関係
Variance vs. α .

の画像よりも分散が大きなコントラスト強調画像が得られていることから、RGB 色空間における分散の値を、カラー画像のコントラスト強調の定量的評価の一指標として利用できるのではないかと考えている。

最後に、Jobson ら⁴⁾ が提案した画質評価指標による評価結果を示す。Jobson らの画質評価指標⁴⁾ は次のように定義される。まず、画像の平均明度を I とする。ここでは、 $g_{ij} = 0.2989f_{ij}^R + 0.5870f_{ij}^G + 0.1140f_{ij}^B$ によって f のグレースケール画像 $g = [g_{ij}]$ を求め、 $I = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij}$ と

図4 Hanらの手法²⁾と提案手法を組み合わせた結果: (a)-(c) 提案手法の後にHanらの手法²⁾を行った結果, (d)-(f) Hanらの手法²⁾の後に提案手法を行った結果
Results of the combined methods: (a)-(c) Han's method²⁾ after the proposed one, (d)-(f) the proposed method after Han's one²⁾.

表1 RGB色空間における分散 ($\times 10^2$)
Variance in RGB color space. ($\times 10^2$)

	Lena	Mandrill	Pepper
Original (Fig. 2(a)-(c))	63.95	93.07	97.30
Han's method (Fig. 2(d)-(f))	172.79	188.01	185.56
Paint Shop Pro (Fig. 2(g)-(i))	143.67	196.33	156.86
Proposed (Fig. 2(j)-(l))	132.73	275.08	205.68
Comb. 1 (Fig. 4(a)-(c))	200.34	251.33	241.96
Comb. 2 (Fig. 4(d)-(f))	263.49	342.93	284.93

図5 Jobsonらの画質評価指標⁴⁾
The quality of visual representation by Jobson et al.⁴⁾.

した. 次に, 画像 g を重なりのない 50×50 画素のブロックに分割し, 各ブロックで明度の標準偏差 σ_{kl} を求め, その平均を $\sigma = \frac{1}{KL} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sigma_{kl}$ とする. ここで, K は縦のブロック数であり, L は横のブロック数である. ただし, 画像の左上からブロックを配置していき, 右端と下端で画像からはみ出したブロックは除外して計算した. このとき, Jobsonらの画質評価指標⁴⁾は, $I\sigma$ で定義され, この値が大きいほど画質がよいとされる. 各画像で $I\sigma$ の値を計算した結果を図5に示す. 縦軸は $I\sigma$ の値であり, 横軸には, Lena, Mandrill, Pepper の各画像に関して, 元画像 (Original), Hanらの手法²⁾ (Han), Paint Shop Pro (PSP), 提案手法 (Prop.), 組合せ手法1 (Comb. 1), 組合せ手法2 (Comb. 2) の6項目を順に並べている. Lenaの画像では, 提案手法 (Prop.) の値が小さいが, その他で

は提案手法や組合せ手法1, 2 (Comb. 1, 2) によって高い $I\sigma$ 値が得られた.

4. む す び

カラー画像を構成する各画素の色を RGB 色空間の境界の色に変えることによって, 色を鮮やかにするコントラスト強調法を提案し, Jobson らの画質評価指標⁴⁾ による定量的評価を行った. 今後は, HDR 合成画像やスーパーリアリズム絵画などに見られる鮮やかな色合いの生成に提案手法を利用することを検討したい.

〔文 献〕

- 1) 田口亮: “カラー画像・映像の復元・強調に関する研究の現状”, Fundamentals Review, **3**, 2, pp. 54-64 (2009)
- 2) J.-H. Han, S. Yang, and B.-U. Lee: “A novel 3-D color histogram equalization method with uniform 1-D gray scale histogram”, IEEE Trans. Image Processing, **20**, 2, pp. 506-512 (2011)
- 3) S. K. Naik and C. A. Murthy: “Hue-preserving color image enhancement without gamut problem”, IEEE Trans. Image Processing, **12**, 12, pp. 1591-1598 (2003)
- 4) D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell: “The statistics of visual representation”, in Visual Information Processing (2002)

井上 光平 1996年, 九州芸術工科大学画像設計学科卒業. 2000年, 同大学大学院博士後期課程修了. 現在, 九州大学大学院芸術工学研究院助教. パターン認識, 画像処理, コンピュータビジョンに関する研究に従事. 正会員.

原 健二 1989年, 京都大学大学院工学研究科修士課程修了. 同年, 武田薬品工業(株)入社. 1991年, 福岡県工業技術センター入所. 2001年, 東京大学生産技術研究所協力研究員. 現在, 九州大学大学院芸術工学研究院准教授. コンピュータビジョン, 画像処理に関する研究に従事. 博士(工学).

浦浜 喜一 1980年, 九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了. 同年, 同大学助手. 1989年, 九州工業大学助教授. 現在, 九州大学大学院芸術工学研究院教授. パターン認識, 画像情報処理の研究に従事.