

類似画素の併合によるカラー画像の自然な表現法の検討

塩川 幸治

和田 成夫

東京電機大学 工学部
〒101-8457 東京都千代田区神田錦町 2-2

電話:03-5280-3314

E-mail:99gme10@ed.cck.dendai.ac.jp
wada@cck.dendai.ac.jp

あらまし

本研究では、カラー自然画像に対し、画素の位置が近く方向性が一致しかつ、輝度および色差の小さいと判断できる画素を併合し、これらを一つの領域にまとめその領域の平均色で塗ることにより、もとの写真画像と同じ印象を残しながら、表現色情報量を減らして表現する圧縮方法を提案する。本手法の特長は、類似画素の併合の際に用いるしきい値を適応的に設定することで、処理画像の表現色を段階的に制御可能なことである。本手法により、ある程度オリジナル画像の印象度を残しながら、表現色が効果的に削減できることがシミュレーションにより確かめられた。さらに、最適なしきい値の決定法を与え、しきい値が高い場合、絵画のような写実的画像が生成されることについて検討した。

キーワード

輝度勾配, 表現色, 画素併合, 画像生成, 写実画像

A Method for Natural Color Image Expression Using Merge Technique of Similar Picture Elements

Yukiharu Shiokawa

Shigeo Wada

Faculty of Engineering, Tokyo Denki University
2-2 Nishiki-cho, Kanda, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8457, Japan

Tel:03-5280-3314

E-mail:99gme10@ed.cck.dendai.ac.jp
wada@cck.dendai.ac.jp

Abstract

In this paper, a method for natural color image expression using merge technique of similar picture elements is proposed. When the color and brightness gradient of picture elements are close to each other, the similar picture elements are merged in a region, and the region is painted with the average color of the picture elements. By selecting adaptive threshold value, expression color can progressively be controlled. The amount of expression color is effectively reduced with remaining the original image impression. Further, a decision method of optimum threshold value is given. It is examined that when the threshold value is high, a realistic image can be obtained.

key words

brightness gradient, expression color, merge technique of pixel, image generation, realistic image

1. はじめに

画像データを伝送したり、あるいは蓄積する際、ハードウェア、経済性、高速性などの観点から、データをできるだけコンパクトに表現することが要求されている。近年のマルチメディアを扱うシステムでは、カラー画像に対するデータ圧縮は非常に重要である。しかし、カラー画像は大量の情報をもつため、効果的に圧縮するためには、様々な工夫が必要になる。一般に、カラー画像を領域分割する手法として、均等色空間に基づく領域分割法 [1] や領域分割符号化に応用した手法 [2] が提案されているが、色や線だけでなく空間的な配置や川の流れや髪の毛などのテクスチャが感じさせる方向なども印象には大きく影響するので、それらの考慮がもとの画像の印象を残すために必要である [3]。また、画像圧縮の観点からはもとの画像と同じ印象を残しながら、情報量 (表現色) をできるだけ減らすことが要求される。

本研究では、類似した画素、つまり画像上の画素の位置が近く、方向要素、輝度および色差の小さい画素を併合し、一つの領域にまとめその領域の平均色で塗ることにより情報量 (表現色) を減らす方法を示す。まず、画素の方向要素 [3] と画像情報を明るさの情報と色の情報に分け、CIE (国際照明委員会) の $L^*a^*b^*$ 空間 [4] を用いて画素間の距離を計算する。そして、画素間の距離の 2 値化と区別化を用いて実現するものである。本手法の特徴は、類似画素の併合の際に用いるしきい値を適応的に制御することで、処理画像の表現色を段階的に制御可能なことである。特に最適なしきい値の決定法として、表現色と原画像との色差を用いた評価式を最小とする方法も示す。本手法により、ある程度オリジナル画像の印象を調節しながら、表現色が削減されることをシミュレーションにより示す。

2. $L^*a^*b^*$ 空間への変換

一般に、目に入ってくる光は波長分布を持っており、この分布に対して人は色を感じている。明るい場合には錐体が働きこれにより色覚が生じる。錐体は赤い光 [R]、緑の光 [G]、青の光 [B] の各々に特に反応する 3 つの種類があり、光が錐体にあたると RGB の信号成分に分解される。錐体の RGB 出力からどのように色覚が形成されるかは完全には解明されていないが、一旦、網膜で黄と青、赤と緑及び黒と白の情報の対になってコード化されてから脳に送られる。このように、人間の視覚特性に対応した色空間が CIE の $L^*a^*b^*$ 空間である [5]。RGB 表色系では、スペクトルに負の部分が存在し減算が必要となり不便である。このため、RGB 表色系を座標変換して負の部分が存在しないような仮想的な 3 原色 X, Y, Z を定めた。これが CIE の XYZ 表色系である [6]。RGB 表色系からの変換式を以下に示す。

$$X(i, j) = 0.49000R(i, j) + 0.31000G(i, j) + 0.20000B(i, j) \quad (1)$$

$$Y(i, j) = 0.17697R(i, j) + 0.81240G(i, j) + 0.01063B(i, j) \quad (2)$$

$$Z(i, j) = 0.01000G(i, j) + 0.99000B(i, j) \quad (3)$$

$L^*a^*b^*$ 空間では、輝度情報 (L^*) と色度情報 (a^*, b^*) に分離されている。 L^* の値は明るさを表し 0 から 100 までで数値が大きいほど明るくなる。 a^*b^* 平面で色みを表

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

図 1: マスク $M_V(i, j), M_H(i, j)$

し a^*b^* ともに 0 の場合には無彩色となり、 a^* がプラスの方向になるほど赤みが強くなり、マイナスの方向になるほど緑みが強くなる (-128 から 127)。また、 b^* がプラスの方向になるほど黄色みが強くなり、マイナスの方向になるほど青みが強くなる (-128 から 127)。XYZ 表色系からの変換式を以下に示す。

$$\begin{cases} Y/Y_n > 0.008856 \text{ のとき} \\ L^*(i, j) = 116(Y(i, j)/Y_n)^{1/3} - 16 \\ Y/Y_n \leq 0.008856 \text{ のとき} \\ L^*(i, j) = 903.25(Y(i, j)/Y_n) \end{cases} \quad (4)$$

$$a^*(i, j) = 500[(X(i, j)/X_n)^{1/3} - (Y(i, j)/Y_n)^{1/3}] \quad (5)$$

$$b^*(i, j) = 200[(Y(i, j)/Y_n)^{1/3} - (Z(i, j)/Z_n)^{1/3}] \quad (6)$$

ただし、 $X(i, j)/X_n, Y(i, j)/Y_n, Z(i, j)/Z_n > 0.008856$

ここで、 X_n, Y_n, Z_n は対象物と同一照明下での完全拡散面の 3 刺激値である。

3. 画素の方向要素の抽出方法 [3]

3.1 輝度の勾配

画像に含まれる構造的特徴のほとんどは、含まれる対象物の輪郭や境界などの線的特徴としてとらえることができる。人間の視覚系もこのような特徴抽出を行っていることが確かめられている。輪郭や境界は輝度の変化点 (エッジは明るさの急激に変化している場所である) でもあるので、 $L^*a^*b^*$ 空間の輝度情報 (L^*) を用いてエッジの方向を抽出する。エッジ要素抽出のための最も素直な方法は明るさ変化の微分値を利用する方法である。図 1 の $M_V(i, j), M_H(i, j)$ は画像の垂直と水平方向に対する微分オペレータと呼ばれ本文でも、用いることにする [4]。輝度の勾配の方向はエッジ上での濃淡レベルが明るくなる方向を示している。

3.2 方向要素の抽出方法

$L^*a^*b^*$ 空間の輝度情報 (L^*) のみに対して画素の方向抽出マスクとして図 1 に示した二つの垂直方向と水平方向に対する 3×3 の正方向マスク $M_V(i, j), M_H(i, j)$ を用い、画素の方向要素を抽出する。 L^* の画素値を $L(i, j)$ と表すことにする。

$$CC(i, j) = L(i, j) * M_V(i, j) \quad (7)$$

$$LL(i, j) = L(i, j) * M_H(i, j) \quad (8)$$

但し、 $*$ は畳込み演算を表す。

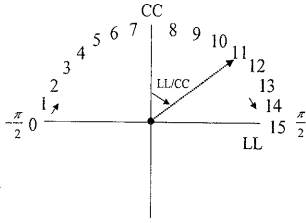


図 2: 画素の方向要素の範囲とその方向

$CC(i, j)$ と $LL(i, j)$ は $L^*a^*b^*$ 空間の輝度情報 (L^*) に垂直方向と水平方向の勾配を表す。さらに式 (7) と (8) を用いて次式で定義される画素の方向要素 $da(i, j)$ を求める。

$$da(i, j) = (16/\pi) \times \{\tan^{-1}(LL(i, j)/CC(i, j)) + \pi/2\} \quad (9)$$

なお $da(i, j)$ は小数点以下を切捨て整数値として扱う。

$da(i, j)$ は画素の方向要素を 16 段階 (0 から 15) で表すことになるが、画素の方向要素とその範囲については、式 (9) の右辺にある $\tan^{-1}(LL(i, j)/CC(i, j))$ の範囲は $-\pi/2 < \tan^{-1}(LL(i, j)/CC(i, j)) < \pi/2$ なので以下のようになる。

$$\begin{cases} \tan^{-1}(LL(i, j)/CC(i, j)) = -\pi/2 \text{ のとき} \\ \quad da(i, j) = 0 \\ \tan^{-1}(LL(i, j)/CC(i, j)) = \pi/2 \text{ のとき} \\ \quad da(i, j) = 16 \end{cases}$$

$da(i, j)$ は小数点以下を切捨て整数値として扱うため $da(i, j)$ は $-\pi/2$ から $\pi/2$ の間を等間隔に分けた方向として 0 から 15 までの値をとることになる。画素の方向要素 $da(i, j)$ のとり得る範囲を図 2 に示す。画素の方向要素 $da(i, j)$ は、画素の濃淡レベルが暗い方から明るくなる方向を示しているので各画素におけるテクスチャを表すことになる。

4. 画素の併合法

4 では、2、3 で述べた $L^*a^*b^*$ 空間の輝度情報 (L^*)、色度情報 (a^*, b^*) と画素の方向要素 $da(i, j)$ を用いて画素間のある距離を定義し、計算する方法を示す。

4.1 画素間の距離の計算法

初期領域の配置とブロック処理は以下のステップに基づき行われる。ここでブロック処理を実行するのは、演算量を少なくして処理を高速化するためである。ブロックの画素数を $N \times N$ とすると N を大きくとるほど画質劣化 (ブロックノイズ) は少なくなるが、演算量は N^2 のオーダーで増加するからである。

[step1]

画素間の距離の計算及び併合は原画像を $R \times R$ 個のブロックに分けて各ブロック単位で順次行う。なお、一つのブロックにおいて $N \leq 16$ となるように R の値を設定する。

[step2]

step1 のブロック処理だけでは、しきい値が高い場合にはブロックノイズが目立つようになる。そこで、step2 では、step1 のブロックを $N/2$ ずらした画像に対して、step1 と同様にブロックに分けてブロック単位で画素間の距離の計算及び併合を行う。

[step3]

step1 と step2 の併合結果の平均値を取り、処理画像として出力する。これにより、ブロックノイズは平滑化される。

ある基準となる画素 $N(I, J)$ の $L^*a^*b^*$ の値とすべての比較の対象となる画素 $n(i, j)$ の $L^*a^*b^*$ の値をそれぞれ L, A, B と l, a, b で表すことにする。画素間の距離とは、基準となる画素の輝度情報 $L(I, J)$ 、色度情報 $\{A(I, J), B(I, J)\}$ 、画素の方向要素 $Da(I, J)$ と基準の画素を含むすべての画素の輝度情報 $l(i, j)$ 、色度情報 $\{a(i, j), b(i, j)\}$ 、画素の方向要素 $da(i, j)$ を用いて計算される距離である。 $N(I, J)$ の輝度情報 $L(I, J)$ 、色度情報 $\{A(I, J), B(I, J)\}$ 、画素の方向要素 $Da(I, J)$ を一つずつ順に取り出すと、輝度、色度の成分と画素の方向要素それぞれの差は式 (10) ~ (13) として表す。

$$\Delta l(i, j) = L(I, J) - l(i, j) \quad (10)$$

$$\Delta a(i, j) = A(I, J) - a(i, j) \quad (11)$$

$$\Delta b(i, j) = B(I, J) - b(i, j) \quad (12)$$

$$\Delta da(i, j) = Da(I, J) - da(i, j) \quad (13)$$

これらの式を合わせて基準となる画素 $N(I, J)$ とすべての画素 $n(i, j)$ との画素間の距離 $H(I, J; i, j)$ を式 (14) により定義する。

$$H(I, J; i, j) = k_l |\Delta l(i, j)|^2 + k_{ab} \{|\Delta a(i, j)|^2 + |\Delta b(i, j)|^2\} + k_{da} |\Delta da(i, j)|^2 \quad (14)$$

ここで、 $i, j = 1, 2, \dots, N$ をとり、 k_l, k_{ab}, k_{da} は重みを表す定数である。基準となる画素 $N(I, J)$ はすべての画素 $n(i, j)$ 、 $i, j = 1, 2, \dots, N$ との画素間の距離の計算が終了後、 $I, J = 1, 2, \dots, N$ と変化させて移動し、またすべての画素 $n(i, j)$ との画素間の距離の計算を繰り返す。

4.2 領域 Z_m の計算

基準画素とすべての画素との画素間の距離 $H(I, J; i, j)$ がしきい値 T 以下になる画素 $n(i, j)$ は画素 $N(I, J)$ に併合するものとする。この処理をすべての画素に対し実行する。今、 $H^{(k)}(i, j)$ を $I, J = 1, 2, \dots, N$ と変えていくときの $H(I, J; i, j)$ に対する第 k 番目の画素間の距離とする。さらに、しきい値 T を設定する。 $k = 1, 2, \dots, N^2$ に対して

$$\begin{cases} H^{(k)}(i, j) \leq T & i, j = 1, 2, \dots, N \text{ ならば} \\ & H^{(k)}(i, j) = 1 \\ H^{(k)}(i, j) > T & i, j = 1, 2, \dots, N \text{ ならば} \\ & H^{(k)}(i, j) = 0 \end{cases}$$

とする。これは、画素間の距離がしきい値 T 以下ならば 1、しきい値以上ならば 0 とする操作を表す。このしきい値処理により、式 (14) の距離に近い画素と遠い画素に 2 値化される。

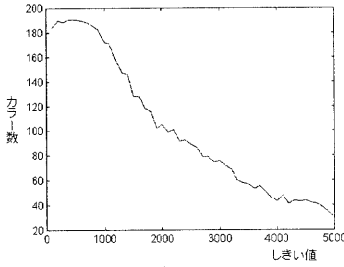


図 3: しきい値 T とカラー数の関係

次に 2 値化された第 k 番目の基準画素の距離 $H^{(k)}(i, j)$ に $\frac{1}{k}$ をかける。残りの画素を基準画素とする距離 $H^{(l)}(i, j)$ と $H^{(k)}(i, j)$ を要素ごとにかける。

$$H_{kl}(i, j) = \frac{1}{k} \times H^{(k)}(i, j) \otimes H^{(l)}(i, j)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, N$$

$$k, l = 1, 2, \dots, N^2$$

但し, $\otimes$ は各要素ごとの積を表す。この処理によって基準画素に応じた比較画素との距離の区別化が図られる。さらに $H_{kl}(i, j)$ を k, l に関してすべてたしあわせる。

$$HH(i, j) = \sum_k \sum_l H_{kl}(i, j)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, N$$

$$k, l = 1, 2, \dots, N^2$$

$HH(i, j)$ は距離の区別化により M 個の値をとるとする。 $HH(i, j)$ において同一の値を有する画素を併合し一つの領域を形成することにし、その領域を $Z_m (m=1, 2, \dots, M)$ と表すことにする。求めた併合領域 Z_m を構成している画素の R, G, B 値のそれぞれの平均を次式に従って計算する。

$$\bar{R}_{Z_m}(i, j) = \frac{1}{|Z_m|} \sum_{i, j \in Z_m} R(i, j) \quad (15)$$

$$\bar{G}_{Z_m}(i, j) = \frac{1}{|Z_m|} \sum_{i, j \in Z_m} G(i, j) \quad (16)$$

$$\bar{B}_{Z_m}(i, j) = \frac{1}{|Z_m|} \sum_{i, j \in Z_m} B(i, j) \quad (17)$$

$|Z_m|$ は領域 Z_m の画素数を表し、 M はカラー数を表すことになる。最後に併合領域 Z_m を $\bar{R}_{Z_m}, \bar{G}_{Z_m}, \bar{B}_{Z_m}$ の値で塗りつぶした画像を出力する。

4.3 最適なしきい値 T の設定

ある原画像 (128×128) を 8×8 個のブロックに分けた後、ある 1 ブロック分の原画像 (16×16) に対して、しきい値 T を 100 から 5000 まで 100 ずつ増加させたとき併合処理画像のカラー数の変化を図 3 に示す。 $T = 0$ の場合は画素が併合されることがないので、併合画像のカラー数は原画像のカラー数と同じであるが、 T を次第に高くすると併合画像のカラー数はほとんど単調に減少する。様々なサンプル画像に対して処理を施した結果によると、画素間の距離に対する重み k_l, k_{ab}, k_{da} が一定のもとでは、しきい値 T を高くするにつれて原画像の印象から離れるが、色に関する情報 (表現色) は図 3 のように減少する傾向が見られる。

さらに、原画像 (128×128) を 8×8 個のブロックに分けた後、1 ブロック分の原画像 (16×16) に対して、しき

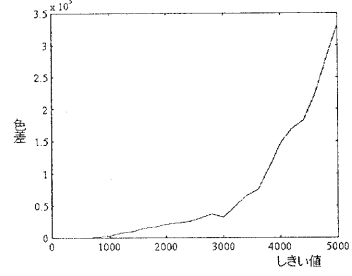


図 4: しきい値 T と色差の関係

い値 T を 100 から 5000 まで 100 ずつ増加させたとき併合処理画像と原画像の色差の変化を図 4 に示す。 $T = 0$ の場合は原画像そのものなので、色差は 0 となる。 T を次第に高くすると併合処理画像は原画像の印象から離れていくので、色差は増加する。この場合、原画像 ($R(i, j), G(i, j), B(i, j)$) と併合処理画像 ($\bar{R}_{Z_m}(i, j), \bar{G}_{Z_m}(i, j), \bar{B}_{Z_m}(i, j)$) との色差 ΔRGB は次の式により計算される。

$$\Delta RGB = \sum_{i, j} \{ |\Delta R(i, j)|^2 + |\Delta G(i, j)|^2 + |\Delta B(i, j)|^2 \} \quad (18)$$

ただし

$$\Delta R(i, j) = R(i, j) - \bar{R}_{Z_m}(i, j) \quad (19)$$

$$\Delta G(i, j) = G(i, j) - \bar{G}_{Z_m}(i, j) \quad (20)$$

$$\Delta B(i, j) = B(i, j) - \bar{B}_{Z_m}(i, j) \quad (21)$$

とする。

色差が大きいくほど併合処理画像は原画像の印象から離れることになる。

以上のシミュレーションからしきい値 T を徐々に増加していくとカラー数は減少するが、色差が増大し原画像からの印象が離れてしまう。そこで、これらを正規化し、加えた関数を評価式とすると、この式が最小となるしきい値 T は、できるだけカラー数を減少させると共に、なるべく原画像の印象を残すことになる。評価式を

$$J(T) = M + \alpha \times \Delta RGB \quad (22)$$

と表す (α は正規化のための係数)。

図 5 に評価式としきい値の関係を示す。この場合、最適しきい値 T は 3000 前後の値を取ることが目的に合うことになる。

5. シミュレーション結果

5.1 パラメータ値と処理画像の関係

画素間の距離を計算する際に用いる重みとカラー数の関係について述べる。しきい値 $T=3000$ のもとで、重み k_l, k_{ab}, k_{da} をそれぞれ 1 から 100 まで変化させたときのカラー数の変化を図 6, 図 7, 図 8 に示す。図 6, 図 7, 図 8 より式 (14) の重み k_l, k_{ab}, k_{da} の変化は、図 3 のしきい値の変化とは異なりカラー数の減少とは関係がないことがわかる。これは、画像に対して輝度 (k_l), 色度 (k_{ab}),

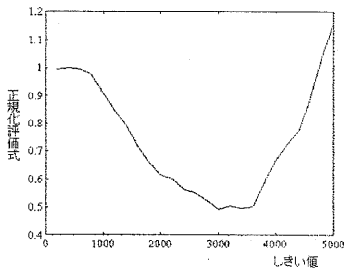


図 5: しきい値 T と評価式 J の関係

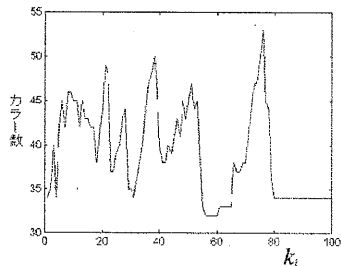


図 6: k_l に対するカラー数の関係

方向要素 (k_{da}) の重みをどれだけ考慮しているかであり、どのように画素どうしを併合するかという目的に対しての重みなのでカラー数の減少とは際だった関係は見られないが、ある程度、重みを大きくしていくとしきい値を容易に越えることになるので、画素の併合が行われないのでカラー数も減少することはなくなる。また、すべての重みについて値を 20 以上にするとカラー数が激しく変動するので重みは 20 以下の中で選択することが適切である。 k_l , k_{ab} , k_{da} は各要素をどのくらいの比率で評価するかということにも関連してくるが、およそ k_l , k_{ab} , k_{da} ともに 1 ぐらいに設定するとよい併合処理結果を得ている。

5.2 表現色の削減

5.2 では表現色の削減について示す。まず、カラー数の圧

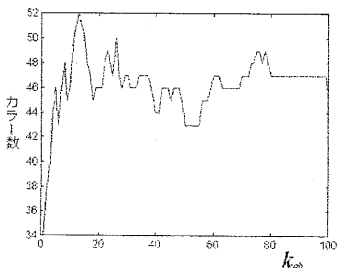


図 7: k_{ab} に対するカラー数の関係

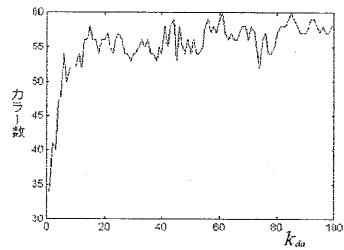


図 8: k_{da} に対するカラー数の関係

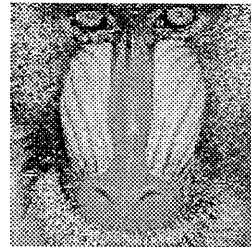


図 9: 原画像 (128×128) ($M_0 = 256$)

縮率としきい値の関係について述べる。圧縮率とは、原画像に対する処理画像のカラー数の比であり $\gamma = \frac{M}{M_0} \times 100(\%)$ で表される。図 9, 図 11 の原画像に対して図 10, 図 12 に示す併合処理を施した画像のカラー数と圧縮率の具体例を表 1 に示す。もとの画像とほぼ同一の同じ印象を保ったまま併合が行われていることが確認できており、90% 以下の圧縮率を実現している。低い圧縮率から高い圧縮率になるにつれて処理画像は平坦色が続く領域が大きくなり原画像の印象から離れる。とくにブロック処理を行う場合には、圧縮率が 60% 以下になるとブロックノイズの影響が顕著になる。図 9, 図 11 の原画像と図 10, 図 12 の併合処理画像は見た目の印象はあまり差が感じられませんが、平坦色が続く領域では原画像との違いがごくわずかに出ている。表 1 より図 9 は 256 色使用しているのに対して図 10 の併合処理画像のカラー数は 229 色であり、約 10.2% 色に関する情報 (表現色) が、図 11 は 234 色使用しているのに対して図 12 の併合処理画像のカラー数は 209 色であり、約 10.7% 色に関する情報 (表現色) が減っている。

原画像	M_0	併合処理画像	M	圧縮率
図 9	256	図 10	229	10.2 %
図 11	234	図 12	209	10.7 %

表 1 原画像と併合処理画像のカラー数と圧縮率

終わりに、図 13 に示す 40×40 画像 (瞳) に対して $k_l = 1$, $k_{ab} = 1$, $k_{da} = 1$, $T = 3800$ と設定し、併合処理を行ったある画像の例を図 14 に示す。この場合、圧縮率 24.2% に達している。

一般に人間は絵を描くとき同じ色をある程度の面積を

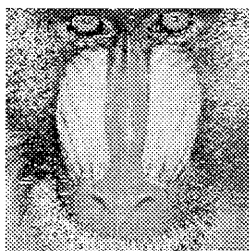


図 10: 併合処理画像 (128 × 128) ($M = 229$)



図 11: 原画像 (128 × 128) ($M_0 = 234$)



図 12: 併合処理画像 (128 × 128) ($M = 209$)

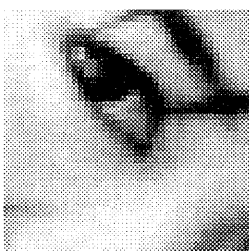


図 13: 原画像 (40 × 40) ($M_0 = 256$)



図 14: 併合処理画像 (40 × 40) ($M = 62$)

もって塗ることが知られている。図 13, 図 14 が示すようにある程度しきい値を最適しきい値より高くし、ブロックに分割しないで処理すると写真から絵画のような画像が生成される [3]。

6. まとめ

本研究では、画素の位置が近く方向性が一致しかつ、色差の小さい画素を併合し、一つの領域にまとめその領域の平均色で塗ることにより、もとの画像と同じ印象を残しながら、情報量 (表現色) を減らす圧縮方法を示した。シミュレーション結果より輝度情報、色情報 ($L^*a^*b^*$ 空間) と画素の方向要素を用いた画素の併合問題に対し本手法を用いることで人間の視覚特性にあった画素の併合を実現できることを示した。なお、色に関する情報 (表現色) を削減するための距離の重みとしきい値の決定法についてはある程度の範囲内でより詳細な検討が必要である。しきい値が増加すると原画像からの印象は離れ、カラー数は削減されることから、カラー数と RGB 色差を用いた評価式を最小とするしきい値決定法を示した。また、併合方法の手法の一つとしてブロックに分割せず、しきい値を高くすることにより処理された画像はより写実的な絵画のような画像を生成するのでこの点に着目し写真画像から絵画に変換するという画像生成についても検討していきたい。

参考文献

- [1] 堀田裕弘, 宮原誠, 小谷一孔, "均等色空間に基づくカラー画像の領域分割," 信学会論文誌 (D-II), vol.J74-D-II, no.10, pp.1370-1378 (1991-10).
- [2] 堀田裕弘, 宮原誠, "均等色空間に基づくカラー画像の領域分割符号化," 信学会論文誌 (B-I), vol.J75-B-I, no.6, pp.422-430 (1992-06).
- [3] 笠尾敦司, 中嶋正之, "テクスチャ方向要素を利用した K-平均アルゴリズムによる自然な領域分割方法," 信学会論文誌 (D-II), vol.J81-D-II, no.7, pp.1528-1535 (1998-07).
- [4] 画像電子学会, "新版画像電子ハンドブック," コロナ社, 1993.
- [5] 磯 博, "デジタル画像処理入門," 産能大学出版部, 1996.
- [6] 高木幹夫, 下田陽久監修, "画像解析ハンドブック," 東京大学出版会, 1991.