

明度および色度の段階的クラスタリングによる 色彩画像の限定色表示

6 J-6

剣持栄治, 工藤峰一, 宮腰政明, 新保 勝
北海道大学工学部

1. はじめに

パーソナルコンピュータやワークステーションにおけるルック・アップ・テーブル(LUT)は目的に応じて任意の色を選べるが、同時に表示可能な色の数はLUTの大きさによって制限される。このため、同時発色数が極めて多い自然画像などを限られた色数で効率よく表示するための代表色選択法が種々提案されている[1]。

これらの手法の一つであるポピュラリティー・アルゴリズム[2]は本質的にクラスター分析手法のISODATA法に類似している。さらに、亀井ら[3]は色彩画像の領域分割にISODATA法とBezdek, Dunnらにより提唱されたFCM(fuzzy c-means)法[4]を用いた場合を比較、評価し、FCM法の方がISODATA法よりも初期値への依存性が少ない点で優れているとの結論を得た。

しかし、これらの手法を用いた場合、色が滑らかに変化している領域では、原画像に存在しない筈の偽輪郭が生じ、量子化誤差が明瞭に現れることがある。この偽輪郭を緩和するための手法として、岩井[5]は明度成分の再現性を重視した代表色選択法を提案した。また、著者らはパーソナルコンピュータのディスプレイ上での簡単な等色実験により、 $L^*a^*b^*$ 均等色空間[6]における色の弁別閾に関して、明度成分(L^*)と色度成分(a^*, b^*)でスケールがかなり異なるとの知見を得た。

本研究では、色彩画像のより知覚的に好ましい限定色表示を行う目的で、明度成分と色度成分を測度が異なる特徴として捉え、それぞれ段階的にクラスタリングを行うことにより、代表色を選択する手法を提案する。ここで、クラスタリングには上記理由によりFCM法を用いる。また、この手法を色彩画像に適用した結果を示す。

2. 均等色空間への変換

本手法は知覚的に好ましい限定色表示を目的としているので、色差とユークリッド距離が等価であることが必要である。したがって、原画像の各濃度値をRGB色空間から $L^*a^*b^*$ 均等色空間へ変換する。以下にこの変換を簡単に記す。

$$RGB \rightarrow XYZ$$

$$x = 0.49000R + 0.31000G + 0.20000B$$

$$Y = 0.17697R + 0.81240G + 0.01063B$$

$$Z = 0.01000G + 0.99000B$$

$$XYZ \rightarrow L^*a^*b^*$$

$$L^* = \begin{cases} 116 (Y/Y_0)^{(1/3)} - 16 & (Y/Y_0 > 0.008856) \\ 903.99 (Y/Y_0)^{(1/3)} & (Y/Y_0 < 0.008856) \end{cases}$$

$$a^* = 500 [(X/X_0)^{(1/3)} - (Y/Y_0)^{(1/3)}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_0)^{(1/3)} - (Z/Z_0)^{(1/3)}]$$

但し、 X_0, Y_0, Z_0 は基準白色物体のルミナンス・ファクタである。

3. アルゴリズム

3.1. FCMアルゴリズム

d 次元実ベクトル空間 R^d 上の n 個のデータ X を

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

また、 R^d 上の c 個のクラスタ重心を

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$$

とおく。 u_{ik} をデータ x_k がクラスタ v_i に帰属する割合とすれば、各データが各クラスタに属する割合は分割行列 $U = (u_{ik})$, $1 \leq i \leq c$, $1 \leq k \leq n$ で示される。

このとき、 U は以下の条件を満足する。

$$\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, \quad \sum_{k=1}^n u_{ik} > 0, \quad 0 \leq u_{ik} \leq 1$$

FCM法は次式(1)に示される目的関数の局所的最小値を反復的に求める手法である。

$$J_m(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n (u_{ik})^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (1)$$

但し、 $\|\cdot\|$ はユークリッド距離であり、クラスタ重心と特徴ベクトルとの非類似度を示している。また、 m ($1 \leq m < \infty$)は帰属度の重み指数である。

$x_k \neq v_i$ のとき、 (U, V) が J_m の局所的最小を与えるのは

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (\|x_k - v_i\| / \|x_k - v_j\|)^{2/(m-1)}} \quad (2)$$

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m} \quad (3)$$

のときである。式(2)、(3)はラグランジュ未定係数法を

A Color Quantization Algorithm based on the Stepwise Clustering of Lightness and Chromaticity

Eiji KEMMOCHI, Mineichi KUDO, Masaaki MIYAKOSHI and Masaru SHIMBO

Hokkaido University

使って導くことができる。FCM法の反復ステップは以下ようになる。

<step1> 初期クラスタ数 c 、帰属度の重み指数 m 、収束判定の閾値 ε を設定する。初期クラスタ重心 $\mathbf{v}_i$ を与える。

<step2> 式(2)により帰属度 u_{ik} を計算する。

<step3> 式(3)と帰属度 u_{ik} によりクラスタ重心 $\hat{\mathbf{v}}_i$ を計算する。

<step4> すべての i に対して $\|\mathbf{v}_i - \hat{\mathbf{v}}_i\| < \varepsilon$ が満たされれば処理を終了し、満たされないときは $\mathbf{v}_i = \hat{\mathbf{v}}_i$ として<step2>に戻り、反復を繰り返す。

3. 2. 本手法のアルゴリズム

本研究で提案するアルゴリズムは明度成分と色度成分に対し、段階的にFCM法を適用するものである。この場合、どちらの成分を先に行うかにより二通り考えられる。そこで、色度、明度の順序で行うものを色度・明度クラスタリング・アルゴリズム(CLCA)と呼び、逆に、明度、色度の順に行うものを明度・色度クラスタリング・アルゴリズム(LCCA)と呼ぶことにする。以下にCLCAを記すが、LCCAの場合も本質的に同様なものとなる。

特徴ベクトルは各画素のRGB色空間における3次元濃度ヒストグラムの各濃度値を $L^*a^*b^*$ 均等色空間に変換した値を用いる。また、全データ数を n 、最終的に得たいクラスタ数を c とする。

<step 1> 第1段階の初期クラスタ数を P^1 として、 (a^*, b^*) 空間でFCM法を用いて P^1 個のクラスタ $\{C_i\}$ 、 $1 \leq i \leq P^1$ を求める。

<step 2> 第2段階では各クラスタ C_i に関して、初期細分クラスタ数 P_i^2 を

$$P_i^2 = c \times \frac{|C_i|}{n}$$

とする。但し、 $|C_i|$ はクラスタ C_i に属する全データ数を示す。 L^* 空間でFCM法を用い、細分クラスタ $\{C_{ij}\}$ 、 $1 \leq j \leq P_i^2$ を求める。

<step 3> 細分クラスタ $\{C_{ij}\}$ の重心 $\{\mathbf{v}_{ij}\}$ を代表色とする。

4. 実験結果

4. 1. 諸設定

実験用の色彩画像として画像サイズ128x128 pixel、濃度値RGB各8bitの人物の顔の画像を用いる。この画像の同時発色数は1660色である。クラスタ数、すなわち限定色の最大数は256とする。また、FCMを用いるに当たり、帰属度の重み指数 m は2.0、収束判定の閾値 ε は

0.01に固定するとともに、計算の都合上、反復の回数は最大50回とした。さらに、初期クラスタ重心の選定は濃度ヒストグラムの大きさと重心間の距離から行っている。この条件のため、設定したクラスタ数だけ初期クラスタ重心が求められない場合が生じる。

4. 2. 実験

CLCA、LCCAを用いた限定色表示を各々色度クラスタ数および明度クラスタ数が128, 64, 32, 16, 8個の場合について行った。また、比較のためにFCM法を用いた限定色表示も行った。

CLCAを用いた場合は、色度クラスタ数が少なくなるにつれて赤みが減少している。LCCAを用いた場合は、明度クラスタ数が少なくなるにつれて赤みが増している。このことから、色度面上では赤い色の弁別閾が小さく、代表色として選択し難いことがわかる。しかし、両手法とも一部の場合を除いて、FCM法を適用した場合と比較して肌の部分をよく表示できている。また、LCCAを用いた場合は、CLCAおよびFCM法を用いた場合と比較してかなり代表色が少ないが、明らかに知覚的に好ましい表示ができています。

5. おわりに

限定色表示の一手法として、明度成分と色度成分に対し段階的にクラスタリングを行うことによって代表色を選択する手法を提案した。従来の明度成分と色度成分を区別しない代表色選択方法と比較し、本手法の有効性を実験により確かめた。しかし、本手法は初期クラスタ数に画質がかなり依存していることから、最適な初期クラスタを自動的に選択する方法を考える必要がある。今後、画像理解の分野における本手法の適用可能性も検討したい。

文献

- [1] 例えば 中島正之・清水正具・安居院 猛、適応型部分空間法を用いたカラー階調画像の表示、電子情報通信学会画像工学研究会資料、IE-85(1985)41-48.
- [2] P. Heckbert, Color Image Quantization for Frame Buffer Display. Computer Graphics, 16 (1982), 297-307.
- [3] 亀井洋子・宮腰政明・新保 勝, fuzzy c-means法を用いたセグメンテーションにおけるファジィ化の効果、情報処理学会第35回全国大会講演論文集、(1988), 2035-2036.
- [4] J. C. Dunn, A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters. Journal of Cybernetics, 3 (1974), 32-57.
- [5] 岩井伸一, 画像の色度分布に基づく色彩画像表示法、情報処理学会論文誌、28(1987), 29-34.
- [6] 池田光男, 色彩工学の基礎、朝倉書店、1980.