ファジィクラスタリングを用いたカラー画像の領域分割

1R－1 宮澤 安夫　今井 英幸　宮腰 政明　伊達 惇

北海道大学工学部

1 はじめに

画像情報を構造的に理解する上で、画像の領域分割は必要不可欠な手段であり、その手法は原画像の存在する原画像空間、あるいはその特徴量により作られる特徴空間を用いる場合の二つに分類される。本研究では特徴空間である色空間の上でクラスタリングをすることにより、画像の領域分割を行なう。

従来の研究ではクラスタリング手法として主に k-means 法を用いているが、本研究ではより柔軟な分割が可能なファジィクラスタリング手法である fuzzy c-means(FCM) 法[1]を用いる。この手法の問題点としては初期分割の与え方により分割結果が相異なる場合があること、および他の領域に比べて小さな領域が存在するとき、この小領域をうまく分割できないことなどがある。またクラスターの形状が異なる場合でも分割が可能であるファジィクラスタリング[2]も考えられている。しかし、その手法も各クラスターの体積に制約を課す必要があり小さな領域は分割できない。そこでこの点を改善するために、重み乗数の性質を利用したファジィクラスタリング[3]を用いることを提案する。この手法を用いると直前のステップで得られた情報を利用することができ、小さな領域に関しても分割が可能となる。

2 クラスタリングを用いた領域分割

2.1 均等色空間の導入

クラスタリングでは一般に非類似度としてユークリッド距離を用いるので、二つの色の色差がその二点間の距離に比例することが望ましい。

カラー画像は RGB 信号で入力されるが、RGB によって構成される3次元空間は3刺激値の加色混合により個々の色を表現しており、色の差の概念がない。したがって、この RGB 空間上でクラスタリングを行なうのは適当でなく、二つの知覚色の間で知覚される色差ができるだけ均等な色空間 (均等知覚色空間) 上でクラスタリングは行なわれるべきである。そこで今回は RGB 空間のデータを均等知覚色空間である $L^*u^*v^*$空間上に変換し、クラスタリングを行なった。

2.2 Fuzzy c-means 法

Bezdek[1]は k-means 法をファジィ理論で説明しようと、これを重み付き最小二乗の問題として扱い FCM 法を提案した。いま、n 個の個体を空でない c 個のクラスターに分割することを考える。このとき以下の関数を最小にするU, V を求めることによりクラスタリングを行なう。

$$J_m(U,V) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{c}(u_{ij})^m (d_{ij})^2,$$

$$\text{ただし、}\quad 0 \le u_{ij} \le 1,\quad \sum_{j=1}^{c} u_{ij} = 1,\quad i = 1,\ldots,n,$$

$$U = (u_{ij}),\quad V = (v_1,\ldots,v_c).$$

ここで u_{ij}は p 変量ベクトルである個体$x_i \in R^p$ $(i = 1,\ldots,n)$ が第 j $(j = 1,\ldots,c)$ 番目のクラスターに所属する度合を表し、$v_j \in R^p$ は各クラスターの重心を表す。また d_{ij}は個体x_iと重心v_jとの非類似度を表す。ここでは均等色空間上ということを考慮し最も一般的なユークリッド距離

$$d_{ij}^2 = \|x_i - v_j\|^2 = (x_i - v_j)'(x_i - v_j),$$

を用いる。さらにmは重み乗数と呼ばれる$1 < m < \infty$ の値であり、ユーザーが任意に決定する。このパラメータは帰属度Uのあいまいさを決定する要因であり、$m \to \infty$ とすると $(\forall i,j)\quad (u_{ij} = 1/c)$ となり、$m \to 1$ とすると $(\forall i,j)\quad (u_{ij} = \{0,1\})$ となる。m を与えたとき J_m を最小化するU, Vは以下の式によって与えられる。

$$u_{ij} = 1 \Bigg/ \sum_{k=1}^{c}\left(\frac{d_{ij}}{d_{ik}}\right)^{2/(m-1)},$$

ただし $d_{ik} = 0$ のときは

$$u_{ij} = \begin{cases} 1 & j = k, \\ 0 & j \ne k, \end{cases}$$

$$v_j = \sum_{i=1}^{n}(u_{ij})^m x_i \Bigg/ \sum_{i=1}^{n}(u_{ij})^m .$$

Region Segmentation of Color Images by Fuzzy Clustering
Yasuo Miyazawa, Hideyuki Imai, Masaaki Miyakoshi and Tsutomu Da-te
Faculty of Engneering, Hokkaido University

2.3 重み乗数 m の性質を利用したファジィクラスタリング

FCM 法は初期分割に依存して分割結果が相異なるという欠点の他に、他の領域に比べて小さな領域が存在するときこの小領域を分割できないという欠点がある。これは各クラスターごとの分散構造を無視しているためであり、FCM 法では各クラスターの分散はすべて等しいという仮定のもとでクラスタリングが行なわれている。また各クラスターの分散共分散構造を考慮する手法として fuzzy covariance clustering algorithm[2] がある。これは各クラスターの分散共分散行列を利用して、クラスターの形状を記述する手法であり、共分散構造は十分に利用されているが、分散の大きさ (体積) はユーザーが決定する必要がある。しかし一般には各クラスターの分散は未知であるため、分割が適当でないことがある。そこで今回は各クラスターの分散を未知のパラメータ ρ_j $(j=1,\ldots,c)$ で表現し、アルゴリズムの中で推定する手法を提案する。つまり個体 x_i と重心 v_j との非類似度 d_{ij} として以下のものを考える。

$$d_{ij}^2=(x_i-v_j)'\rho_j^{1/p}I_p(x_i-v_j),$$

ただし、I_p は $(p\times p)$ の単位行列とする。

またクラスターの体積はそのクラスターに所属する個体数に比例すると考え

$$\rho_j=\left\{\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_{ij}}\right\}^2,$$

とする。実際のアルゴリズムは以下の通りである。

Step.1 初期分割 $U_1^{(0)}$、$\rho_{j,1}$ の初期値 $(\forall j,\ \rho_{j,1}=1)$、クラスター数 c、最終的な重み乗数 m_T を与える。

Step.2 重み乗数を m_t とし、FCM 法を行なう。

Step.3 Step.2 で得られた結果 U_t を用いて $U_{t+1}^{(0)}=U_t$, $\rho_{j,t+1}=\left\{\frac{1}{\sum_{i=1}^n(u_{ij,t})}\right\}^2$ とし、新たに重み乗数を $m_{t+1}=m_t-\Delta m$ とする。

Step.4 Step.2,3 を $t=1,\ldots,T$ まで繰り返す。

重み乗数は帰属度 U のあいまいさを決定する要因であり、それが大きいとよりあいまいなクラスターを得る。そのため重み乗数が十分大きいときには初期分割に依らず常に大域的最適解が得られる。今回提案したアルゴリズムはこの性質を利用したものであり、重み乗数を十分大きな値から徐々に小さくしていくことにより局所解への収束を回避できる。また各クラスターの分散を直前のステップで得られた情報より推定することができ、小さな領域に関しても分割が可能となる。

3 数値実験

スキャナーで取り込んだカラー画像[4] ‘Balloon’ (256×256) および SIDBA の ‘home’ の一部分 (200×200) に関して FCM 法、今回提案した手法の二種類の手法を適用し比較した。評価基準としては次の二つの尺度を考えた。

原画像 x_i と領域分割後の画像 $\hat{x}_i$ との 1 個体あたりの残差平方和平均 E_1

$$E_1=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n\|x_i-\hat{x}_i\|^2,$$

および、各領域内の 1 個体あたりの残差平方和平均の和 E_2

$$E_2=\frac{1}{c}\sum_{j=1}^c\frac{1}{n_j}\sum_{i\in C_j}\|x_i-\hat{x}_i\|^2,$$

ただし、n_j は第 j 番目のクラスター C_j 内の個体数とする。

4 まとめ

FCM 法を用いて領域分割を行なうと、初期分割の与え方により分割結果が異なる、あるいは小さな領域をうまく分割できないなどの欠点があった。しかし今回提案した手法は重み乗数の性質を利用しており、初期分割に依存せずに大域的最適解に対応した分割を得ることができ、小さな領域に関しても分割が可能となる。

参考文献

[1] J.C.Bezdek. (1981) Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Prenum Press. New York.

[2] D.E.Gustafson and W.C.Kessel. (1979) Fuzzy Clustering with A Fuzzy Covariance Matrix. Proc. IEEE CDC, 761-766.

[3] 今井英幸, 宮澤安夫, 宮腰政明, 伊達惇. (1994) 重み乗数の性質を利用したファジィクラスタリングについて. 北海道大学工学部研究報告, **167**, 11-18.

[4] 堀田裕弘, 村井忠邦, 宮原誠. (1994) クラスタリングと遺伝的アルゴリズムを用いたカラー画像の領域分割. 信学技報, Vol.94, No.51, 9-16.