

基于最大隶属度原则的彩色图像分割方法*

梁艳梅 翟宏琛 常胜江 张思远

(南开大学现代光学研究所, 光电子信息技术科学国家教育部重点实验室, 天津 300071)

(2002 年 12 月 27 日收到 2003 年 1 月 27 日收到修改稿)

提出一种基于模糊最大隶属度原则的彩色图像分割方法, 从彩色图像的彩色直方图中获取目标色和背景色, 建立一组色彩模糊集, 计算该图像中的色彩在各模糊集中的隶属度, 并基于最大隶属度原则确定色彩的归属. 基于上述最大隶属度的模糊模式识别原则建立了最大隶属度-径向基函数神经网络, 实现了快速有效的彩色图像分割.

关键词: 最大隶属度原则, 彩色图像分割, 彩色直方图, 神经网络

PACC: 0210, 4230

1. 引言

图像分割的目的是将一幅图像中感兴趣的特征区域提取出来, 以备图像理解和图像识别使用, 它是一种非线性分类过程. 应用模糊 C-均值算法^[1]或区域增长法^[2]进行色彩聚类均可实现彩色图像的分割, 但其所需要的迭代步骤较多, 因而分割时间过长. 本文采用直接从图像的彩色直方图中提取目标色彩和背景色彩值, 并分别以这些色彩作为模糊核, 建立几个高斯函数型模糊集^[3,4]. 通过计算图像中的色彩在这几个模糊集中的隶属度, 并利用模糊模式识别中的最大隶属度原则^[5]来判断目标和背景, 从而简化了分割的步骤. 为了进一步提高运算速度, 本文还基于模糊最大隶属度原则建立了一种含有径向基函数的网络, 实现了对彩色图像的有效分割.

2. 原理与网络结构

2.1. 最大隶属度原则

设 X 为待识别元素的全体, $\tilde{A}_i \in F(X) (i = 1, 2, \dots, n)$ 为 n 个模糊模式, $\mu_{\tilde{A}_1}(x), \mu_{\tilde{A}_2}(x), \dots, \mu_{\tilde{A}_n}(x)$ 为其对应的隶属函数. 对于 X 中任一元素 x , 要确定它属于哪一个模式, 可按下列原则作判断,

即若

$$\mu_{\tilde{A}_l}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}_1}(x), \mu_{\tilde{A}_2}(x), \dots, \mu_{\tilde{A}_n}(x)\}, \quad (1)$$

则认为 x 归属于 \tilde{A}_l 所代表的那一类. 这一原则称为最大隶属度原则^[5], 它表示类内元素之间的差别应该小于类间元素的差别, 因而是一种相似性判别原则.

2.2. 最大隶属度原则应用于彩色图像分割

由于彩色图像的分割过程可以看作是一种色彩分类的过程^[6], 因此可以将上述最大隶属度原则应用于对彩色图像进行色彩分割. 一般地, 彩色图像中的背景及要提取的目标中往往包含多种互不相关的色彩, 因而可以据此建立几个不同的色彩模糊子集, 并应用上述原则把图像中所有的色彩分别归入不同的色彩模糊子集中. 凡是归入代表目标类模糊集的色彩, 即被认为是目标, 反之, 则为背景.

首先, 根据待分割彩色图像的特征, 从其彩色直方图^[7]所有的色彩 $c_i (i = 1, 2, \dots, M)$ 中分别抽取 j 个目标色 $(c_{T_1}, c_{T_2}, \dots, c_{T_j})$ 和 k 个背景色 $(c_{B_1}, c_{B_2}, \dots, c_{B_k})$, 然后分别以其作为目标色和背景色的模糊核, 共建立 $j + k = n (n \leq M)$ 个隶属函数, 即 $\mu_{\tilde{T}_1}(c), \mu_{\tilde{T}_2}(c), \dots, \mu_{\tilde{T}_j}(c)$ 及 $\mu_{\tilde{B}_1}(c), \mu_{\tilde{B}_2}(c), \dots, \mu_{\tilde{B}_k}(c)$.

在分类过程中, 分别计算彩色图像中所有像素的色彩在色彩空间中对上述 n 个模糊集的隶属度,

* 国家自然科学基金(批准号 60177004), 天津市自然科学基金(批准号 023602211)和天津市自然科学基金重点项目(批准号 023800811)资助的课题.

并根据最大隶属度原则,分别将其归属为目标色或背景色,从而实现目标和背景间的分割.

2.3. 建立用于色彩分类的最大隶属度神经网络结构

为了充分利用神经网络的并行性运算在速度上的优势,本文基于模糊最大隶属度原则建立了最大隶属度-径向基函数神经网络(maximum degree of membership and radial basis function neural network,缩写为MDM-RBFNN).该网络的输入层有三个神经元,每个神经元的输入值分别是待分割图像中每个像素在RGB色彩空间中的三个色彩分量.其隐含层有n个神经元,其中j及k个神经元分别代表目标及背景的不同模糊集,它们的激活函数 u_i 分别为其隶属函数,它们的输出值分别为图像中每一个像素的色彩在RGB色彩空间中对于这些模糊集的隶属度.本文采用高斯型函数作为激活函数,它是一种径向基函数^[8],

$$u_i(\mathbf{c}, \mathbf{c}_i) = \exp\{-[(r - r_i)^2 + (g - g_i)^2 + (b - b_i)^2]\} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \tag{2}$$

其中 u_i 为隐含层第i个神经元的输出, $\mathbf{c}(r, g, b)$ 为输入的待分类的色彩矢量值, $\mathbf{c}_i(r_i, g_i, b_i)$ 为高斯函数的中心值,分别是彩色直方图中提取的代表目标和背景的各色彩矢量值.由(2)式可知,该函数的输出值在0和1之间,且输入样本越靠近中心值,即与模糊集的模糊核越相似,则其输出值越接近1.

网络的输出层为一种WTA(winner-take-all)层^[9].其中每个神经元与隐含层的每个神经元一一对应,共有j+k个神经元.每个神经元的输入为隐含层对应神经元的输出值.在WTA层中用(1)式中max函数得到隐含层所有神经元输出中的最大值.仅当此最大值等于该神经元的初始值时,将此神经元的输出值置为1,否则输出为0.因此,对应于输入层任意一组输入值,输出层中只能有一个神经元的输出值为1.由此可确定与输入值对应的图像像素对已知目标类或背景类模糊集的归属,并据此完成对整幅图像的色彩聚类.

此最大隶属度-径向基函数神经网络的互连结构如图1所示.

由于网络的输出值把图像中所有像素的色彩值按上述各模糊集分别进行了归类,因此,按网络输出值将归入背景模糊集的图像像素的色彩值置为零,

而把归入目标模糊集的图像像素的色彩值仍保持原图像像素色彩值,即可把具有目标色的像素提取出来,从而实现对彩色图像的分割.

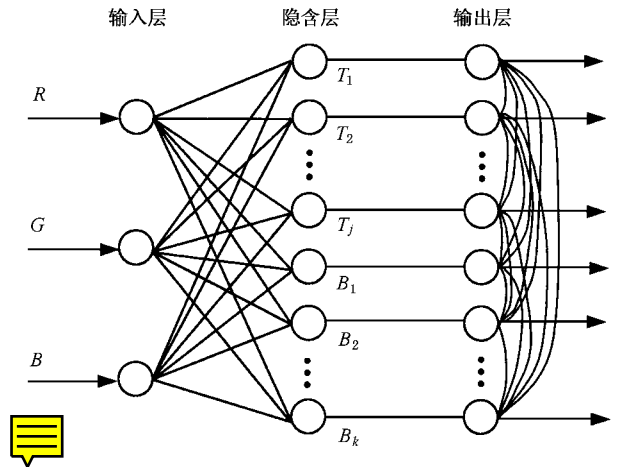


图1 最大隶属度-径向基函数神经网络互连结构 R, G, B为输入图像中像素在RGB色彩空间中的三个色彩分量, T_1, T_2, \dots, T_j 为目标色的j个神经元, B_1, B_2, \dots, B_k 为背景色的k个神经元

3. 实 验

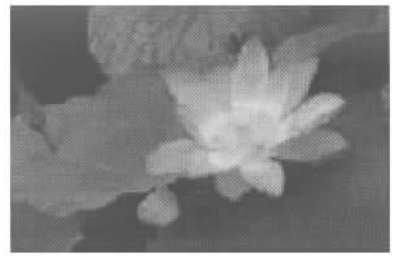
本文应用上述网络对彩色图像进行了分割实验,其结果如图2和图3所示.图2(a)为一幅像素数为718×670的彩色图像,图2(b)为其彩色直方图,实验的目的是要把紫色带白边的花从图像中分割出来.据此,从其彩色直方图判断,在RGB色彩空间中,第11,13—16个矢量代表了花的色彩,第1—10,12个矢量代表了背景.因而,从图2(b)中选取第11和13个色彩矢量代表目标类,取第8,10和12个色彩矢量代表背景类,分别建立两个目标色模糊集和三个背景色模糊集.故隐含层的神经元数为5,因此神经网络的规模为3×5×5.分割结果如图2(c)所示.

另一幅像素数为102×153荷花图片的分割结果如图3所示.其神经网络的结构同前,按目标和背景的特点,将网络的规模定为3×4×4,其中用两个隐含层神经元表示目标色模糊集,两个表示背景色模糊集,分割结果如图3(b)所示.

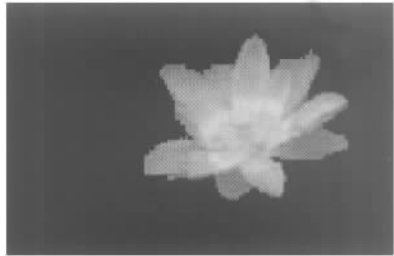
为了测试本方法对目标与背景的色彩值为大量交错时的分割能力,本文设计了一幅具有复杂色彩的像素数为467×466的彩色图像,如图4(a)所示.图4(b)为其彩色直方图,实验中把直方图中色彩顺序为双数的色彩设定为背景色,其他色彩设定为目



(a)原彩色图像

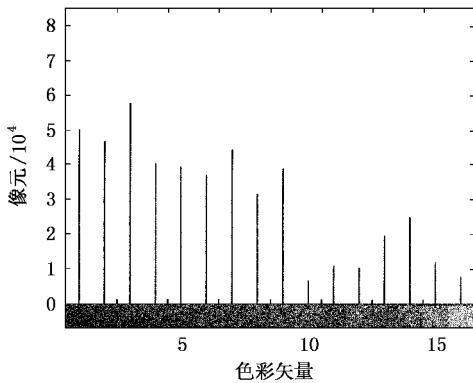


(a)原彩色图像

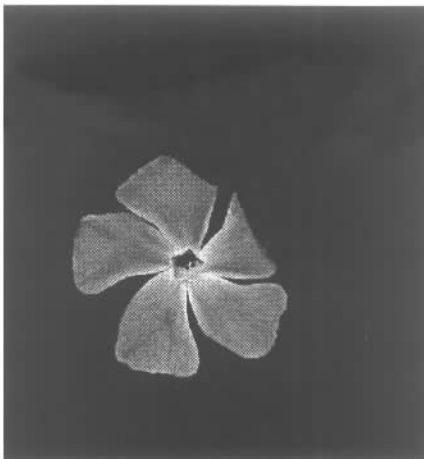


(b)分割后的目标图像

图3 彩色图像分割示例 2 (分割时间约为 1.2s)



(b)其彩色直方图



(c)分割后的目标图像

图2 彩色图像分割示例 1 (分割时间约为 18s)

示目标色模糊集,另外 8 个表示背景色模糊集,分割结果如图 4(c).图 4(d)为分割后的背景.由图可见,此基于最大隶属度原则的彩色图像分割方法的分割效果不会受到彩色图像色彩分布复杂程度的影响.

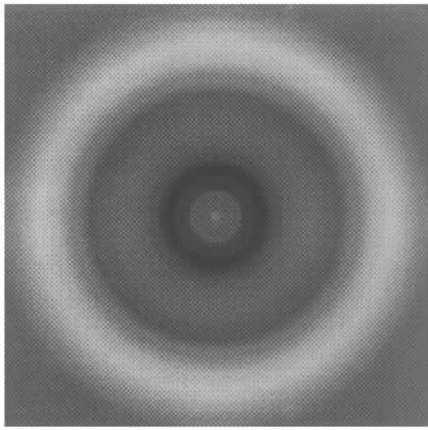
4. 结论与讨论

本文提出一种基于模糊最大隶属度原则的彩色图像分割方法.在分割之前,首先从彩色图像的彩色直方图中获取目标色和背景色,建立一组色彩模糊集.据此,分别计算图像中所有像素的色彩在各模糊集中的隶属度,并按隶属度最大的原则确定这些色彩对不同的模糊集的归属,从而完成对图像的分割.

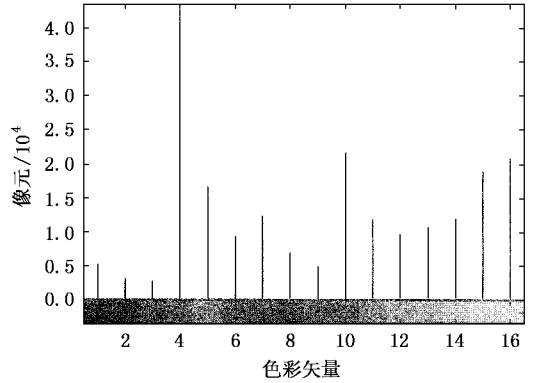
本文基于上述原则建立了最大隶属度-径向基函数神经网络,利用网络的并行性计算实现了彩色图像的分割实验.由于隐含层的每个神经元代表一个模糊集,它们之间相互独立,因此不会因为数目或中心值的改变而影响其他神经元的性能.

与模糊 C-均值算法或区域增长法等分割方法相比,本文提出的方法的优越性在于直接从彩色图像的彩色直方图的聚类结果中确定一组目标和背景色彩模糊集,并基于模糊最大隶属度原则进行分类,从而回避了在 C-均值算法或区域增长法中的大量繁琐运算,实现了快速有效的分割.

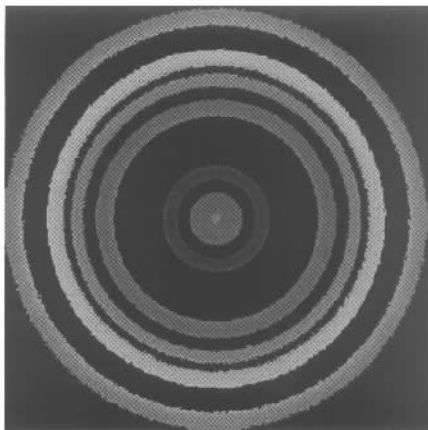
标色.应用本文设计的神经网络结构,并将网络的规模定为 $3 \times 16 \times 16$,其中在隐含层中用 8 个神经元表



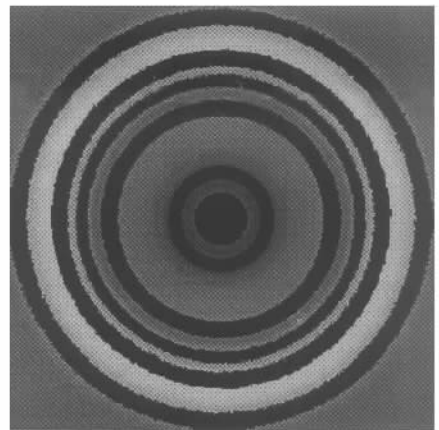
(a) 原彩色图像



(b) 其彩色直方图



(c) 分割后的目标图像



(d) 分割后的背景图像



图 4 彩色图像分割示例 (分割时间约为 22s)

实验中发现,由于网络的规模决定于彩色图像的像素数及图像的特征,因此其分割时间与图像大小、色彩的分布有关,对目标色彩相对集中的、照度

均匀的或人造的彩色图像的分割速度较快;而对图像像素数目较大、照度不均匀的或目标及背景中色彩分布复杂的彩色图像分割速度会相应有所下降。

[1] Huntsberger T L , Jacobs C L and Cannon R L 1985 *Pattern Recognition* **18** 131

[2] Moghaddamzadeh A and Bourbakis N 1997 *Pattern Recognition* **30** 867

[3] Liang Y M , Zhai H C and Mu G G 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2671 (in Chinese) [梁艳梅、翟宏琛、母国光 2002 *物理学报* **51** 2671]

[4] Chen T Q and Lu Y 2002 *Pattern Recognition* **35** 395

[5] Jia X and Lu Y 1996 *Fuzzy Information Processing* (Changsha : National University of Defence Technology Press) p195 (in Chinese) [贾鑫、卢昱 1996 *模糊信息处理* (长沙 : 国防科学技术大学出版社) 第 195 页]

[6] Cheng H D , Jiang X H , Sun Y and Wang J L 2001 *Pattern Recognition* **34** 2259

[7] Syeda-Mahmood T and Petkovic D 2000 *Signal Proc. Image Commun.* **16** 15

[8] Zhao Z Y 1996 *Introduction to Fuzzy Set Theory and Neural Network and Their Application* (Beijing : Tsinghua University Press , Nanning : Guangxi Science Technology Press) p88 (in Chinese) [赵振宇 1996 *模糊理论和神经网络的基础与应用* (北京 : 清华大学出版社 , 南宁 : 广西科学技术出版社) 第 88 页]

[9] Fang Y , Cohen M A and Kincaid T G 1996 *Neural Networks* **9** 1141

Color image segmentation based on the principle of maximum degree of membership^{*}

Liang Yan-Mei Zhai Hong-Chen Chang Sheng-Jiang Zhang Si-Yuan

(*Institute of Modern Optics , Key Laboratory of Optoelectronic Information Technical Science , Ministry of Education of China ,
Nankai University , Tianjin 300071 , China*)

(Received 27 December 2002 ; revised manuscript received 27 January 2003)

Abstract

A new approach of color image segmentation based on the principle of MDM (maximum degree of membership) for fuzzy pattern recognition is reported in this paper. The colors of target and background obtained from the color histogram of the color image can be used to set some color fuzzy-sets , to which , based on the principle of MDM , the degrees of membership of colors of all pixels in the image in these fuzzy sets are calculated to determine their memberships. A MDM-radial basis function neural network is implemented to segment color images with higher speed and efficiency .

Keywords : principle of maximum degree of membership , color image segmentation , color histogram , neural network

PACC : 0210 , 4230

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60177004) , the Natural Science Foundation of Tianjin , China (Grant No. 023602211) , and the Key Program of the Natural Science Foundation of Tianjin , China (Grant No. 023800811) .