

小波变换结合模糊聚类在示温漆彩色图像分割中的应用*

孙超男, 易芹, 崔丽†

(北京师范大学 数学科学学院, 北京 100875)

Application of Wavelet Transform and Fuzzy Clustering in Thermopaint Color Image Segmentation

SUN Chao-Nan, YI Qin, CUI Li†

(School of Mathematical Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

+ Corresponding author: E-mail: licui@bnu.edu.cn

Sun CN, Yi Q, Cui L. Application of wavelet transform and fuzzy clustering in thermopaint color image segmentation. *Journal of Software*, 2012, 23(Suppl. (2)): 64-68 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/12025.htm>

Abstract: First, through the wavelet transform of the thermopaint color image, the wavelet moduli are acquired and are used as eigenvalues together with color characteristics. Next, the image is segmented through a fuzzy C-means clustering of these eigenvalues. Experimental results show that this algorithm has a good effect on thermopaint color image segmentation compared to the conventional algorithms that uses sole wavelet transform and fuzzy clustering.

Key words: thermopaint color image; wavelet transform; fuzzy clustering; image segmentation

摘要: 通过对示温漆彩色图像进行小波变换处理,提取小波特征值,并与颜色信息一起作为特征值进行模糊聚类.实验结果表明,与传统的单独应用小波变换或模糊聚类进行图像分割的方法相比,这种算法对于示温漆彩色图像的分割具有很好的效果.

关键词: 示温漆彩色图像;小波变换;模糊聚类;图像分割

温度测量在航空工业的科研和生产中具有重要意义.无论是燃气涡轮发动机的性能提高,还是压力机的效率计算,或是飞行器蒙皮材料的选择,都需要有准确的温度参数.在研制新型发动机时,为使处于高温下的易损零部件能够有效而持久地工作,也需要严格检测并控制这些零部件的温度.示温漆在这方面有广泛的应用.示温漆彩色图像分割是示温漆图像处理技术的核心.

图像分割^[1]是指把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程,这些特性可以是灰度、颜色、纹理等.图像分割将一幅图像分解为若干互不交叠的、有意义的、具有相同性质的区域.图像分割技术应用于示温漆彩色图像,根据颜色的变化进行图像分割,从而可以显示温度的变化情况.

在很多示温漆彩色图像分割的相关文献中,聚类算法^[2]和一般的分割算法一般只考虑 3 个彩色分量作为聚类的特征向量,只结合了图像的颜色信息,没有考虑到图像的边缘信息,因此分割后边缘比较模糊;单独将小波

* 基金项目: 国家自然科学基金(11001017)

收稿时间: 2012-05-30; 定稿时间: 2012-09-29

变换用于图像分割中,虽然能够得到比较准确的图像边缘,却很难根据这些边缘直接分割出图像的各个区域.特别是针对示温漆图像本身的性质,单独使用模糊聚类的算法或小波变换的方法对图像进行分割的效果都不是很好.于是我们尝试探索一种实际操作把小波分析和模糊聚类两者结合起来的方法来进行示温漆图像的分割.

针对示温漆彩色图像分割所存在的问题,我们选择合适的颜色空间,做了从 RGB 颜色空间通道的到 HSI 颜色空间通道的转换和相应的通道分离,并采用基于直方图均衡化的色彩量化的方法,在图像预处理阶段取得了较好的效果.接着添加一个新的小波函数到 Wavemenu 中,对图像数据进行小波变换.然后计算小波变换的模值并与颜色信息一同作为模糊聚类的特征向量,将小波变换和模糊聚类结合进行图像分割,融合了颜色信息、空间信息和边缘信息,得到了较好的分割效果.

1 几种传统的图像分割方法

1.1 迭代阈值二值化分割^[3]

设图像的灰度范围为 $[0, L-1]$, 对应灰度级 i 的像素数为 n_i , 按照如下步骤进行分割:

- 选择图像灰度的中值作为初始阈值 T_0 .
- 利用阈值 T_0 把图像分割成两个区域 R_1, R_2 , 用下式计算区域 R_1 和 R_2 的灰度均值 μ_1 和 μ_2 :

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=0}^{T_0} in_i}{\sum_{i=0}^{T_0} n_i}, \quad \mu_2 = \frac{\sum_{i=T_0}^{L-1} in_i}{\sum_{i=T_0}^{L-1} n_i}.$$

- 计算出 μ_1 和 μ_2 以后,用下式计算新的阈值: $T_{i+1} = \frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2)$.
- 重复上面两个步骤,直到 $|T_{i+1} - T_i| < \varepsilon$, ε 为给定的限制值为止.

1.2 改进的 Watershed 算法分割图像^[3]

Watershed 算法是一种借鉴了形态学理论的分割方法.它可被看成是一种自适应的多阈值分割算法,其关键在于如何恰当地选择阈值.若阈值选得太高,则许多边缘会丢失或边缘出现破碎现象;若阈值选得太低,则容易产生虚假边缘,而且边缘变厚导致定位不准确.Watershed 阈值选择算法可避免这个缺点,从而选择出合适的阈值^[1].由于 Watershed 算法是以梯度图的局部极小点作为吸水盆地的标记点,梯度图中可能出现过多的局部点,运用改进的 Watershed 算法可以克服这一缺点.

将图像分为 3 个通道的灰度图像后再分别用该算法进行分割,并将分割后的分量图像组合成完整图像.

1.3 二维 á trous 算法边缘检测^[4]

离散二进小波可以通过 á Trouis 算法快速实现.它类似于双正交小波变换中的 Mallat 算法.边缘是图像灰度级的不连续点,具有奇异性.沿边缘走向的像素一般来说变化比较平缓,而垂直于边缘走向的像素则变化剧烈.因此,可以通过对图像进行边缘检测来完成图像的分割.其基本思想就是先检测图像中的边缘点,再按照一定策略连接成轮廓,从而构成分割区域.选取基于多尺度边缘检测的二维离散二进小波 á trous 算法进行图像的边缘检测.

2 小波与模糊方法结合的分割算法

2.1 预处理(颜色模型转换)

HSI(色调、饱和度、亮度)颜色模型与人类的视觉近似一致,在图像处理和识别中被广泛采用,并且由于后续工作在 HSI 颜色空间中计算图像的平均颜色矩的需要,我们首先将 RGB 空间的示温漆图像转换到 HSI 空间中.

2.2 颜色量化

- 绘制 H, S, I 各分量的灰度直方图.
- 利用直方图均衡化^[5]进行颜色量化.

直方图均衡化可以作为图像颜色量化的一种比较简单的方法,其基本思想是更改原始图像像素的灰度值,对在图像中像素个数多的灰度级进行拓宽,而对像素个数少的灰度级进行缩减,使图像对应的直方图变为均匀分布的形式,从而增强图像的整体对比度,达到使图像清晰的目的.对 H, S, I 各分量直方图进行均衡化,并将均衡化的 H, S, I 分量重新组合成一幅完整的 HSI 图像,即得到量化后的图像.

2.3 小波函数选择

添加一个新的小波函数到 Wavemenu 中^[6].

在基于小波分解的彩色图像分割的实际应用中,需要小波基既要有较好的光滑特性又要有较好的正则性,同时还要易于实现.基于这种考虑,本文选择添加一种新的具有有限冲击响应滤波器(FIR)的双正交小波 Binlets 函数族来对示温漆 HSI 图像各通道灰度值进行小波变换.选取 $Nr=7, Nd=9$, 即 Bin17.9 小波函数进行后面的分解工作,对应的分解的低通滤波器和高通滤波器分别为 $CF=[-1\ 0\ 9\ 16\ 9\ 0\ -1]/32, DF=[1\ 0\ -8\ 16\ 46\ 16\ -8\ 0\ 1]/64$. 添加 Binlets 小波函数族小波到 Wavemenu 中.

2.4 核心算法

2.4.1 小波分解

- 用 Binlets 小波对图像数据进行二维小波变换^[7],各通道对应的分解系数见表 1.

表 1 小波系数表

分解系数	H 通道		S 通道		I 通道	
	cA_H	cH_H	cA_S	cH_S	cA_I	cH_I
	cV_H	cD_H	cV_S	cD_S	cV_I	cD_I

由于小波分解中低频系数 cA 包含了图像的主要信息,显示图像的轮廓特征,因此我们取各通道小波变换的低频系数 cA_H, cA_S, cA_I 作为各点的二维小波变换模值矩阵.

• 将不同通道下的小波变换低频模值矩阵 cA_H, cA_S, cA_I 与 H, S, I 颜色特征灰度值矩阵 $H1, S1, I1$ 分别转换为列向量 $H1_v, S1_v, I1_v$. 得到图像各颜色分量的模值列向量 (H, S, I 分量分别对应列向量 cA_H_v, cA_S_v, cA_I_v) 与颜色特征灰度值列向量 (分别记为 $H1_v, S1_v, I1_v$), 再将这 6 个列向量组合成一个新的特征矩阵 $[cA_H_v, cA_S_v, cA_I_v, H1_v, S1_v, I1_v]$, 每一行代表图像每一点的信息, 作为一个待处理的数据.

2.4.2 模糊 C 均值聚类(FCM)

FCM^[8]算法是一种基于划分的聚类算法.其基本思想是使被划分到同一簇的对象之间的相似性最大,不同簇之间的相似性最小.对上述小波分解的系数及颜色特征灰度值进行 FCM 聚类的步骤如下:

1) 设置聚类初始条件

结合颜色量化后的图像颜色特征,我们将聚类类别数取 $c=10$, 图像数据个数取 $n=16800$, 确定加权指数 $r=2, 1 \leq r \leq \infty$ (注:加权指数越大,分类越模糊), 确定算法结束迭代阈值 $\varepsilon=0.05$ (一般取 $0.01 \leq \varepsilon \leq 1$), 用值在 $[0, 1]$ 间的随机数初始化隶属度矩阵 $A^{(0)} = (a_{ij})_{c \times n}$, 使其满足以下约束条件:

$$\sum_{i=1}^c a_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, n, \quad 0 < \sum_{j=1}^n a_{ij} < n, i=1, 2, \dots, c.$$

$A^{(0)}$ 作为迭代运算的初始矩阵.

2) 聚类算法的距离定义

图像中点 p_1, p_2 之间的欧氏距离按照下式计算:

$$d_{p_1, p_2} = \sqrt{(H1_{-v_{p_1}} - H1_{-v_{p_2}})^2 + (cA_{-H_{-v_{p_1}}} - cA_{-H_{-v_{p_2}}})^2}.$$

其中, $H1_{v_{p1}}, H1_{v_{p2}}$ 及 $cA_{H_{v_{p1}}}, cA_{H_{v_{p2}}}$ 分别表示 $p1, p2$ 两点处 H 通道的颜色灰度值与小波变换模值, 同理定义 S 与 I 中的距离, 以 $d_{p1, p2}$ 作为聚类算法的距离.

3) 根据距离 $d_{p1, p2}$ 和特征矩阵进行 FCM 聚类

• 计算 l 步聚类中心矩阵(v_i^l 表示第 l 步的第 i 类中的聚类中心行向量, $m=6$ 表示特征向量的维数, x_j 表示图像中各点的特征向量):

$$V^{(l)} = \begin{pmatrix} v_1^l \\ v_2^l \\ v_3^l \\ v_4^l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{11}^l & \cdots & v_{1m}^l \\ v_{21}^l & \cdots & v_{2m}^l \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{c1}^l & \cdots & v_{cm}^l \end{pmatrix},$$

$$v_i^{(l)} = \frac{\sum_{j=1}^n (a_{ij}^{(l)})^r x_j}{\sum_{j=1}^n (a_{ij}^{(l)})^r}.$$

• 修正 $A^{(l)}$ ($\|\bullet\|$ 表示距离 d):

$$a_{ij}^{(l+1)} = \left[\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_j - v_i\|}{\|x_j - v_k\|} \right)^{\frac{2}{r-1}} \right]^{-1}.$$

• 用矩阵范数 $A^{(0)}$ 比较 $A^{(l)}$ 与 $A^{(l+1)}$, 对取定的 $\varepsilon > 0$, 若 $\|A^{(l)} - A^{(l+1)}\| \leq \varepsilon$, 则停止迭代; 否则, 取 $l = l + 1$, 转向第 2 步.

4) 将聚类结果用于图像分割

得到聚类结果以后, 对所得到的图像各点的所属类别进行图像分割, 将各个聚类中心的颜色值和坐标值保存即可.

3 结果分析

本文算法及常见图像分割算法的分割结果如图 1 所示.

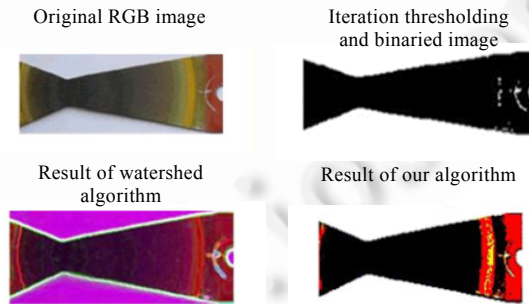


Fig.1 Results of different algorithms in thermopaint color image segmentation

图 1 不同算法对示温漆彩色图像的分割结果

由此可以看出, 传统分割方法所达到的效果并不是很好, 图像分割后边缘比较模糊, 不能准确地划分区域. 我们认为, 这些图像分割方法对于图像边缘表现局部连续性比较明显的图像效果较好, 而示温漆图像本身灰度的突变与颜色的突变在局部不是很明显. 从本文所使用的特定方法所得结果中可以看出, 其表面颜色大致可以

分为 3 层,分割区域的边缘比较明显和光滑,分割效果较好,易于进行边缘特征的提取.

References:

- [1] 张德丰,等.数字图像处理.MATLAB 版,北京:人民邮电出版社,2009.
- [2] 王江涛.基于聚类的彩色图像分割的研究和改进.电脑知识与技术,2011,7(28):6948-6950.
- [3] 张德丰.MATLAB 小波分析.北京:机械工业出版社,2009.
- [4] 唐晓初.小波分析及其应用.重庆:重庆大学出版社,2006.
- [5] 刘刚.MATLAB 数字图像处理.北京:机械工业出版社,2010.
- [6] 周伟.基于 Matlab 的小波分析应用.第 2 版,西安:西安电子科技大学出版社,2010.
- [7] 高成.Matlab 小波分析与应用.北京:国防工业出版社,2007.
- [8] 曲福恒,崔广才,李岩芳,胡雅婷.模糊聚类算法及应用.北京:国防工业出版社,2011.



孙超男(1990—),女,山东临沐人,主要研究领域为小波分析理论及其应用.



崔丽(1978—),女,博士,副教授,主要研究领域为小波分析理论及其应用.



易芹(1991—),女,主要研究领域为小波分析理论及其应用.