

示温漆彩色图像分割与温度识别系统*

龚 巍, 林茂松, 蔡茂蓉

(西南科技大学 计算机科学与技术学院, 四川 绵阳 621010)

摘 要: 通过对示温漆颜色温度特性的分析, 提出一种基于标记区域生长的彩色图像分割方法, 并给出温度识别的方案。试验结果显示该方法对示温漆图像分割及温度识别具有较好的效果。

关键词: 颜色温度特性 标记 区域生长 温度识别

温度测量的常用手段是利用温度计、热电偶或光学仪器, 但这些手段在某些场合却难以实现, 例如处于高速旋转状态的航空发动机, 其零部件(发动机叶片)的温度很难用普通的温度传感器测量。示温漆是一种示温涂料^[1], 能够伴随外界温度的改变而迅速引起其固有颜色的变化, 从而根据颜色的变化实现测温目的。在航空领域中, 常将示温漆涂在发动机零部件表面, 测量其处于工作状态的温度, 较好地反映了部件表面温度变化情况。

在示温漆使用过程中, 后处理是其中的一个重要环节, 包括图像分割与温度识别。图像分割是图像分析的一个重要步骤, 分割的好坏直接影响温度识别的精度。近年来, 彩色图像分割^[2]与边缘提取技术越来越为人们所重视, 其中区域生长法^[3-6]是最具代表性的方法之一。在对示温漆图像颜色特性分析过程中, 采用基于像素标记的区域生长分割方法, 这种方法直接作用于颜色空间, 并考虑了色彩分布及空域上的重新划分。温度识别即根据部件表面示温漆的颜色来判读温度。目前国内外主要采用人工判读的方法, 这种方法由于受环境光和个人变色能力的影响, 对温度判读的效率和精度都比较低。通过对示温漆颜色温度特性的分析, 在 HSI 空间下建立颜色、温度特性的三维曲线, 在此基础上提出了一种温度识别的方法, 其识别过程如图 1 所示。



图 1 温度识别过程

1 示温漆图像特征分析

由 CCD 摄像头采集的图像是以 RGB 计色制表示的, 有必要将 RGB 颜色空间转换到与人具有视觉一致性的 HSI 颜色空间, 以提高温度识别的准确性。通过对

示温漆样本图片广泛分析, 得知示温漆图像具有以下特征:

- (1) 在温度相同的区域内, 颜色具有均匀性和稳定性。
- (2) 在不同温度相邻的两个区域, 颜色变化具有阶跃性。
- (3) 发动机表面的凹凸或孔隙所造成的黑色阴影噪声, 其噪声区域的亮度值一般小于 0.05, 而在发动机叶片有少部分没有涂上示温漆的金属产生反白光噪声, 其噪声区域的亮度值一般大于 0.95。
- (4) 示温漆的温度范围依品种而定, 一般间隔 10℃~50℃有一个变色点。

2 彩色图像分割

2.1 颜色量化

示温漆图片是由若干块区域组成, 且每块区域内颜色相近, 因此实际分析颜色数目远远少于彩色图像颜色种类, 有必要将相似颜色归为一类。本文采用平均颜色矩来确定图像量化级数, 即将一幅图像划分为 N 个 $w_1 \times w_2$ 的窗口, 每一个子窗口内包含 n 个像素, 则每个窗口的三阶颜色矩及整幅图像的平均矩为:

$$M_3 = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x(p_i) - \bar{M})^3 \right]^{\frac{1}{3}}, \quad M_{\text{avg}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} M_3 \quad (1)$$

其中, $x(p_i)$ 为 $w_1 \times w_2$ 窗口的第 i 个像素颜色, \bar{M} 为 $w_1 \times w_2$ 窗口的颜色均值。 M_{avg} 表示整幅图像的平均颜色矩。颜色变化越均匀, 其颜色矩越小, 因此给予颜色量化级数越少, 反之, 量化级数越多。量化数目确定后用八叉树色彩量化算法来划分^[7]。量化后的图像由不超过 256 种颜色所组成。

经过色彩量化后, 示温漆图像颜色数目减少, 并形成许多颜色相同的小区域, 因此选择种子像素只需满足如下条件: (1) 量化后像素所在区域内颜色相同。 (2) 像素在空间上四邻域连通。

* 基金项目: 四川省教育厅重点科研项目基金(2003A109)

2.2 基于标记区域生长理论

区域生长的基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域,而判断一个像素是否属于某个区域的距离度量有多种方法,在HSI颜色空间中,可表示为:

$$R(i, j) = (w_1 |H_i - H_j|^2 + w_2 |S_i - S_j|^2 + w_3 |I_i - I_j|^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

其中 $R(i, j)$ 表示像素 i 和像素 j 的相似度, w_1, w_2, w_3 为加权系数按照色彩分量在像素生长过程中所起到的作用,可分别取: $w_1=2, w_2=1, w_3=0.5$ 。

相似度确定后,需要给定一个阈值作为判断准则。本文采取自适应阈值判断方法。首先在区域生长之前,将图像上每个像素标记区域序号 Rgn 初始化为 0。若第 i 个种子进行生长,则将属于这个区域的像素 Rgn 设为 i ,并计算已经归并该种子区域像素个数 N , N 即为像素 Rgn 等于 i 的个数。则阈值 Thd 计算公式如下:

$$\alpha = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \|x(p_j) - \bar{x}\|^2, \quad Thd = w|x_i - \alpha| \quad (3)$$

其中, α 为方差, $x(p_j)$ 为区域内第 j 个像素的颜色值, $\|g\|$ 表示欧式距离。 \bar{x} 为当前区域颜色均值, x_i 为第 i 个种子的颜色值, w 为图像分割的不同精度,可取 2.0, 1.0 和 0.5。由(2)与(3)得:当 $R(i, j) < Thd$ 时进行归并,反之,则对下一个点进行检测。如果新生长进来的像素满足以下条件:

- (1) 像素在空间上四邻域连通;
- (2) 像素 Rgn 为 0;
- (3) 像素与种子像素的相似度 Rgn 小于阈值 Thd。

则将该像素进行归并。分割完成后还需知道区域的颜色值(用于识别温度)、区域序号(用于查找颜色温度的关系表)和区域的中心坐标(用于温度标注)。

2.3 分割算法描述

(1) 根据三阶平均颜色矩来确定颜色量化数目,并用八叉树算法进行颜色量化。

(2) 获取种子点并初始化图像。将图像所有像素保存于一个结构体数组,结构体包括颜色值(HIS)、区域序号(Rgn)和坐标(X, Y)。

(3) 假设对种子 i 进行生长,设置堆栈计数器 $n=1$,在空间上采用四邻域连通方案对邻接的相似像素根据 2.2 中区域生长条件进行搜索,将符合条件的像素归并到区域中,同时该像素的 Rgn 设为 i ,计数器 n 设为 $n+1$;若不符合条件则将 n 设为 $n-1$,直到 $n=0$ 时,则进行下一个种子点的生长。

(4) 直到所有种子点生长完成,算法结束。修改像素结构体为区域结构体:颜色值(HSI)为区域内所有像素的均值颜色、区域序号(Rgn)不变、坐标(X, Y)为区域内所有像素的均值坐标。

3 温度识别

3.1 建立示温漆颜色温度对应关系表

人工判读时,需要参照标准示温漆样本,粗略反映

了示温漆颜色和温度的一种对应关系。假设一种样本示温漆包括 n 个颜色样品,其温度表示为 t_0, t_1, \dots, t_{n-1} ,将示温漆制成切片作为训练样本,分别把切片放入烤箱中以不同的温度烘烤,获取对应的颜色数据 C_0, C_1, \dots, C_{n-1} ,由于采用 HIS 计色制,则 $C_i = [H_i, S_i, I_i], i=0, 1, \dots, n-1$,即得到一个颜色与温度对应的关系表,如表 1 所示。

表 1 示温漆颜色温度对应关系

i	0	1	...	$n-1$
t_i	t_0	t_1	...	t_{n-1}
C_i	C_0	C_1	...	C_{n-1}

3.2 模拟人眼识别

识别示温漆温度的一种简便方法是模拟人眼识别温度的原理,即根据示温漆颜色温度对应关系表实现温度识别。若已得到示温漆图片上一点或一个区域的颜色值 C ,查找表 1 中的颜色温度数据,计算该颜色值 C 到样本示温漆的所有颜色 C_1, \dots, C_{n-1} 的距离,并找到其中最小值 C_{\min} ,则 C_{\min} 对应的温度值即为该点的温度值。这种方法的优点是计算量小,便于实现,但识别的准确率不高。

3.3 根据颜色温度特征曲线识别

由于给出的数据较多,且这些数据也是通过测量得到的,本身含有一定的误差。根据示温漆颜色渐变及其颜色分量之间的相关性特点,希望构造出一条收敛性、稳定性和光滑性都较好的曲线。构造函数方法有很多,如三次样条插值、牛顿插值、拉格朗日插值、分段插值和最小二乘曲线拟合等。对于三次样条插值函数,当节点逐渐加密时,不但样条插值函数收敛于函数本身,而且其导数也收敛于函数的导数,这种性质比其他插值方式优越得多^[8]。

由表 1 的颜色温度对应关系,可设想颜色 $C(H, S, I)$ 各个分量分别为温度 t 的函数,记为 $H(t), S(t), I(t)$ 。在构造曲线时将生成三条光滑的二维曲线,但这样描述失去了 H, S, I 分量之间的相关性,因此有必要将其合并为一条三维空间的曲线。 H, S, I 分别代表三个坐标轴,函数描述为 $t=f(C)=f(H, S, I)$ 。图 2 为利用三次样条插值所构造的一条三维空间曲线。

识别方法:对于空间任意一点 $A(H_0, S_0, I_0)$,若要判断 A 点的温度值,只需寻找曲线上与 A 最近的一点 B 。如图 2 所示, B_1, B_2, \dots, B_n 为曲线上的点,用 AB 的长度表示两点的颜色距离。若 $AB_1 < AB_2$,则说明 A 点的颜色与 B_1 的颜色更接近,若 AB^* 为最小距离,则认为 B^* 点对应的温度值 t^* 即为 A 点所反映的温度。点 A 与曲线上任意一点 B 的距离可用欧式距离 $\Delta E(t)$ 函数表示:

$$\Delta E(t) = |(H(t) - H_0)^2 + (S(t) - S_0)^2 + (I(t) - I_0)^2|^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

在示温漆的测温区间 $[t_0, t_{n-1}]$ 内求解 ΔE 的最小值

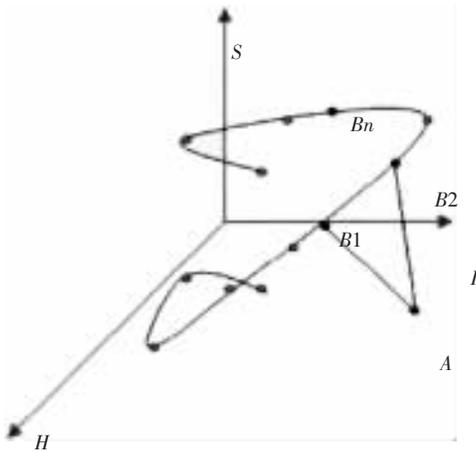


图2 示温漆颜色温度特性曲线

ΔE^* 和最小值所对应的温度值 t^* , t^* 即是示温漆颜色为 $A(H_0, S_0, I_0)$ 的区域的温度值。

3.4 生成等温线图

温度识别后, 将温度标注在相应区域的中心位置, 温度的分布情况用等温线来描述。由于区域生长后, 各个区域的颜色变化较为明显, 图像边缘基本上为阶跃状边缘, 故采用梯度算子提取图像边缘信息, 并利用边缘增强技术生成白色的等温线。

4 结果分析

采用以上提出的方法, 对一组涂有示温漆的航空发动机图片进行测试, 其过程如图3所示。图3(a)为一幅航空发动机图片所截取的部分原始图像, 从原图上可以看出黑色和白色区域是因阴影和反光引起的噪声, 图3(b)为颜色量化后的图像。图3(c)为利用区域生长分割后的图像, 数字标注为区域序号, 根据噪声亮度特点, 很容易判断区域2、3、4为噪声区域, 在识别时不考虑这些区域。图3(d)为根据颜色温度关系表识别的温度。图3(e)为根据颜色温度特性曲线识别的温度。图3(f)采用梯度

算子进行边缘提取, 得出示温漆等温线图。

由表2可以看出, 采用模拟人眼识别方法识别的准确率不高, 由于相邻两个区域的颜色相近, 所以求解颜色距离最小值可能发生错误, 如区域1和区域5。而采用示温漆颜色温度曲线进行识别的准确率高, 其测量误差在 ± 3 范围内。

表2 试验数据表

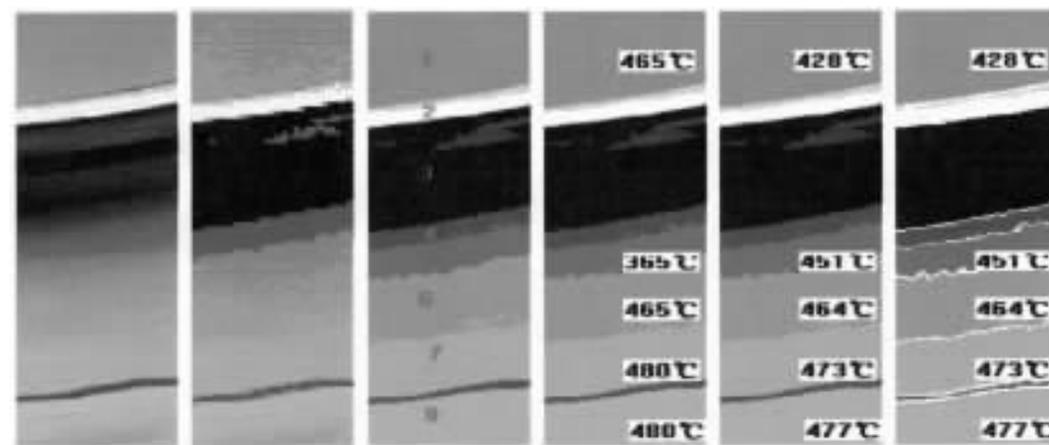
区域序号 (i)	H	S	I	实际温度 (°C)	模拟人眼识别 (°C)	根据曲线识别 (°C)	方法2的测量误差 (e)
1	83.47	0.32	0.44	430	465	428	2
5	117.14	0.23	0.35	450	365	451	1
6	108.62	0.23	0.51	465	465	464	1
7	98.44	0.30	0.58	470	480	473	3
8	87.54	0.29	0.59	480	480	477	3

通过分析示温漆的颜色温度特性后, 提出了基于标记区域生长图像分割方法和温度自动判读方法, 对航空领域表面测温技术的发展有着重要意义。示温漆温度识别系统提高了判读准确性和自动化程度, 但还需进一步改进, 以提高测量精度。

参考文献

- [1] 刘正堂. 示温涂料的应用与发展[J]. 精细与专用化学品. 2004, 12(21): 1-4.
- [2] PAL N R, PAL S K. A review on image segmentation technique[J]. Pattern Recognition. 1993, 26(9): 1277-1294.
- [3] TREMEAU A, BORAL N A. Region Growing and merging algorithm to color segmentation[J]. Pattern Recognition. 1997, 30(7): 1191-1203
- [4] CHENG H D, SUN Y. A hierarchical approach to color image segmentation using homogeneity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(12): 2071-2082.
- [5] ADAMS R, BISCHOF L. Seeded region growing[J]. IEEE-PA-MI, 1994, 22(1): 641-646.

- [6] WAN SY, HIGGINS WE. Symmetric Region Growing[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 12(9): 1007-1015
- [7] ASHDOWN J. Octree Color Quantization[J]. C/C++ Users Journal. 1995, 13(3): 31-44.
- [8] 廖晓钟, 赖汝. 科学与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003, 184-186.



(a)原始图像 (b)量化后的图像 (c)分割后的图像 (d)模拟人眼识别 (e)根据曲线识别 (f)生成等温线图

图3 测试过程

(收稿日期: 2006-08-05)