**北京航空航天大学计算机学院**

**硕士学位论文文献综述**

**论文题目**：示温漆的温度识别

**专 业**：计算机技术

**研究方向**：计算机图形学

**研 究 生**：胡昊

**学 号**：ZY1206243

**指导教师**：吴壮志

**北京航空航天大学计算机学院**

2013年12月6日

摘 要

设计并开发示温漆温度识别系统，该系统可实现图像的平滑滤波预处理、量化分割、温度识别以及示温漆样本数据的管理工作。针对示温漆噪声的特点，结合传统的图像滤波技术，滤除噪声的同时能够有效的保留图像的边缘细节信息，达到较好的滤波效果。

在比较和分析现有彩色图像分割的基础上，提出适合于示温漆彩色图像分割的算法；经过图像分割和特征提取后，根据示温漆颜色温度特性，将颜色温度对应关系的各个离散点，构造成一条连续光滑的空间三维曲线，并根据曲线函数进行温度识别。

关键字： 示温漆，图像处理，图像分割，量化，温度识别

Abstract

The thermal-paint recognition system is designed to achieve smooth image filtering, quantitative segmentation, temperature identification and the data management of thermal-paint sample data. With comparison and analysis of the existing color image quantization, The proposed algorithm can not only remove the noise but also remain the edges effectively so as to get the better filtering results.

Color image segmentation methods suiting to the thermopaint areproposed which compared and analysis the currently problem of color image segmentation; After image segmentation and feature extraction, this paper carries on spline interpolation to color value and temperature value corresponding relations in view of color-temperature characteristic, and produces a color-temperature characteristic curve, so the temperature is recognized according to this curve.

Key words: Thermopaint, image processing, image segmentation, quantization, temperature recognition

目 录

[摘 要 2](#_Toc374106684)

[Abstract 2](#_Toc374106685)

[目 录 3](#_Toc374106686)

[1. 前言 4](#_Toc374106687)

[1.1研究背景和意义 4](#_Toc374106688)

[1.2 国内外研究现状 4](#_Toc374106689)

[2. 图像预处理 5](#_Toc374106690)

[2.1 色彩空间 5](#_Toc374106691)

[2.2 图像滤波 8](#_Toc374106692)

[2.3 阴影去除 10](#_Toc374106693)

[2.4 高光去除 12](#_Toc374106694)

[3. 图像量化分割 14](#_Toc374106695)

[3.1 色彩量化 14](#_Toc374106696)

[3.2 图像分割 16](#_Toc374106697)

[4. 温度识别 17](#_Toc374106698)

[5. 结论 20](#_Toc374106699)

[6. 参考文献 20](#_Toc374106700)

# 前言

## 1.1研究背景和意义

现代航空技术经过 100 多年的发展已经成为人类科学技术的重要组成部分，成为社会发展的动力，同时也是一个国家工业发展程度的重要指标。在航空技术的发展中，航空发动机不仅是飞机的动力，而且是航空技术发展的推动力。现代航空发动机是一种典型的旋转热力机械，其追求的是高推重比、低耗油率及高可靠性和耐久性，所以航空发动机内部流场、温度场和应力场的设计验证是航空发动机设计的核心技术，其中航空发动机部件的温度分布尤为重要，其先进性和协调性决定了航空发动机的综合设计水平[[[1]](#endnote-1)]。

测温的常用手段是利用温度计、热电偶或光学仪器进行，但有的场合却难以实现，例如处于高速旋转状态的航空发动机和结构复杂的零部件，以及大面积表面温度频繁测量，其表面的温度很难用普通的温度传感器来测量。

示温漆测温特点明显：测试范围宽，不受结构的限制，能够比较直观地反映所测部件的温度，并提供温度场的信息，近年来在航空发动机的温度测试中应用广泛。但是由于当前示温漆读数主要采取人工对比标准比色卡进行读数，因此测试精度有限，同时在测量过程中容易受到光照、发动机表面结构的影响造成污染，温度判读工作需要有丰富经验的工作人员才能保准准确。

因此，开发一套温度自动识别软件，能够解决人眼来判断的落后检测。通过计算机的检测，可以大大提高劳动效率，降低生产成本，提高检测精度，增加企业的经济效益。本课题的研究具有现实意义，对于国内高温物体测量行业的发展有理论价值和实用意义。

## 1.2 国内外研究现状

示温漆[[[2]](#endnote-2)][[[3]](#endnote-3)]能够伴随外界温度的改变而迅速引起其固有颜色变化，因此，可根据示温漆的颜色变化来实现高温物体的表面温度测量。使用示温漆测量物体表面温度不受测试位置限制，能做大面积测量，对试件无干涉，对气流无扰动，并且测量方便。早在二次世界大战前后，一些国家对示温涂料就进行了研究和生产。最早出现的示温涂料是1938年德国的I.G法贝宁达斯公司的热色线(Thermcolor line)。在20世纪50年代至70年代，为满足航空发动机及炮弹等动态部件测温及超温报警的需要，国外对示温涂料(特别是高温不可逆示温涂料)进行了大量的研究工作。其间也出现了易于使用和灵敏变色的示温贴片和可逆示温涂料。20世纪70年代以后，则逐渐转向低温及可逆示温涂料的研究。英国和前苏联在高温多变色示温涂料的研究和应用方面要领先于其它国家，而日本却着重于低温和可逆示温涂料的研制和应用。1960年，原化工部涂料工业研究设计院开始了对示温涂料的研究并生产国家急需的示温涂料。所研制的示温涂料在航空，国防和民用设备上广泛应用。近年来，我国某些高校及科研单位(如浙江大学、复旦大学等)也开始研制可逆型示温涂料，其产品正在应用推广之中。

随着对测温技术要求的提高，世界各国都开始重视对多变色不可逆示温涂层材料的研制。目前已有几十个品种，温度跨度为 60℃~1400℃，主要有英国、俄罗斯、德国、法国、美国、日本及中国。国外(如 Rolls-Royce plc公司)的示温涂层材料的性能水平在近几年取得了长足的进步，已成功并大量应用于发动机热端部件的测温，其测温范围为240℃~1600℃，测温点有些品种多达12个，间隔为 50℃~70℃，美国 TPTT 生产的示温漆等温线测量精度也可达±17℃。

为避免使用效率低下、识别精度差的人工识别方法，少数发达国家现在已经开始研发专用的示温漆图像计算机分析处理软件，即温度识别软件。英、美等国在航空发动机研制和生产部门，已大量采用示温漆测温，据资料介绍，RR 公司应用示温漆进行温度识别非常频繁，判读精度达±20℃左右。我国航空部门也有不少采用示温漆测量热端部件壁面温度的，国内使用示温漆测温判读精度为±50℃左右，这显然不能令人满意，如能提高示温漆测温的判读精度，综合应用热电偶、光学系统、示温漆等方法，必将使航空发动机热端部件壁温测量水平大幅度提高，在新机研制过程和排除发动机热端部件故障中发挥重要作用。

计算机自动检测与识别方法，可以避免人为因素的影响，但由于可用于工业检测的图像分析理论和方法还不是很完善，缺乏实用有效的算法，其发展和应用并不广泛。示温漆图像的温度识别技术正朝着数字化和自动化分析方向发展。英国和德国已经建立了若干典型的示温漆在不同温度下的色谱数据库，以及图像摄取操作规范等。而国内对示温漆温度识别的研究起步较晚，初步开展了示温漆图像颜色温度特性分析和识别系统的相关研究。现有的示温漆温度识别系统采用的图像处理技术大多是采用基于阈值的处理方法，示温漆图像分割的效果受阈值影响较大，因此不能够实现自适应的图像分割。而示温漆图像分割效果直接影响示温漆的温度识别。

# 图像预处理

## 2.1 色彩空间

摄取的示温漆图像为彩色图像，彩色图像中的一种颜色，在计算机中有不同的表达方式，即对应几种不同的色彩空间。事实上应用中经常选用欧氏距离与视觉距离特性相一致的空间作为图像处理空间。

图像处理中常用的色彩空间模型有RGB模型、HSI模型、LUV模型、YIQ模型、YUV模型[[[4]](#endnote-4)][[[5]](#endnote-5)][[[6]](#endnote-6)]。

RGB 模型中，每种颜色出现在红、绿、蓝的原色光谱分量中，模型基于笛卡尔坐标系统，所考虑的彩色子空间是图 2.1 所示的立方体。图中，红、绿、蓝位于三个角上；青、深红和黄位于另外三个角上，黑色在原点处，白色位于离原点最远的角上。在该模型中，灰度等级沿着这两点的连线分布。在本模型中，不同的颜色处在立方体上或其内部，并可用从原点分布的向量来定义。

根据人眼结构，所有颜色都可以看作3个基本色，红（R，red），绿（G，green）和蓝（B，blue）的不同组合，因此利用R，G，B这三个分量来表征颜色是很自然的一种格式。而且多数的图像采集设备也都是以CCD技术为核心，直接感知色彩的R，G，B三个分量的，这也使得三基色模型成为图像成像、显示、打印等硬件设备中最常用的颜色空间，在应用中具有十分重要的地位。通常情况下，我们将R，G，B的值进行归一化，即它们的取值都在[0,1]范围内。

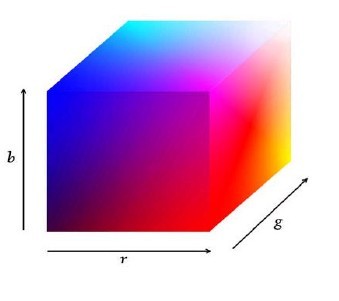


图2.1 RGB彩色空间模型

HSI 是面向彩色处理的最常用模型，用色调、色饱和度和亮度来描述一个彩色物体。色调（H，Hue）描述纯色的属性；饱和度（S，Saturation）是一种纯色被白光稀释的程度的度量；亮度（I，Intensity）是一个主观的描述子，实际上它是不可测量的，它体现了无色的强度概论，并且是描述彩色感觉的关键参数[[[7]](#endnote-7)]。如图2.2

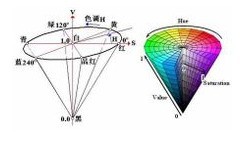


图2.2 HSI颜色模型

色彩学中的LUV通常是指一种颜色空间标准，就是CIE1976（L\*,u\*,v\*)颜色空间。它由1931CIE XYZ颜色空间经过简单的变换得到，并于1976年被国际照明委员会(International Commission on Illumination)采用。它是建立与视觉统一的颜色空间即对视觉可感知的颜色差别进行单位化的编码的又一次尝试，被广泛的应用于计算机彩色图像处理领域。LUV是1964年的CIEUVW的升级，在亮度上做了些许修订，并对色度的一致性做了修正。因为CIELUV和CIELAB 没有明显的优劣，所以这两个颜色空间都经常被使用。

因为LUV的目的是建立与视觉统一的颜色空间，所以它的3个分量并不是都有物理意义。其中L是亮度，u、v是色度坐标。对于一般的图像，u、v的取值范围为-100到+100，亮度为0到100。它的计算公式可以由CIEXYZ通过非线性计算得到[[[8]](#endnote-8)]。图2.3所示为LUV色度坐标图。

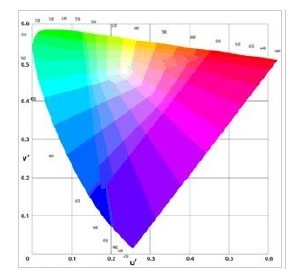


图2.3 LUV空间模型

RGB空间转换到HSI空间[[[9]](#endnote-9)]。对于任何三个归一化到[0,1]范围内的R,G,B值，与其对应的HIS三分量的转换公式如下：

(2.1)

(2.2)

(2.3)

RGB空间到LUV空间的转换是一个非线性变换[[[10]](#endnote-10)]，需要通过一个CIE1931 XYZ色彩空间作为中间变量进行转换来得到。

(2.4)

(2.5)

(2.6)

(2.7)

其中:

为可逆矩阵

(2.8)

(2.9)

,,是标准白光的三色刺激值。

可通过RGB空间到HIS和LUV空间的装换方式间接实现HIS空间到LUV空间的转换。

由于在RGB空间的不同区域，相等的距离所代表的颜色差别与人眼感受到的颜色差别并不一致，所以图像分割中应该选择与人的视觉相一致的色眼空间，一般情况下，选择HIS或者LUV颜色空间。

## 2.2 图像滤波

环境条件和CCD传感器温度等因素容易引起图像噪声。常见的噪声有高斯噪声、瑞利噪声、伽马噪声、指数分布噪声、脉冲噪声、均匀分布噪声和椒盐噪声[[[11]](#endnote-11)]。

噪声滤波应尽量遵循不损害图像中的边缘和细节的原则。图像的滤波器一般分为空域法和频域法两类，示温漆图像一般采取空域法作为图像复原的主要技术途径[[[12]](#endnote-12)]。

均值滤波[[[13]](#endnote-13)]能够降低图像的噪声，但同时会造成整幅图像的模糊，尤其是图像的边缘和细节；中值滤波[[[14]](#endnote-14)][[[15]](#endnote-15)][[[16]](#endnote-16)]虽然能够较好地保护图像的边缘和细节，但是不能够较好的平滑高斯噪声，并且噪声较大时，中值滤波效果比较差。

（1）算术均值滤波器：就是计算由Sxy定义的区域中被干扰图像g(x,y)的平均值。即，这个操作可以用系数为的卷积模板来实现；

（2）几何均值滤波器：其表达式为，这个操作是每一个被复原像素由子图像窗口中像素点的乘积并自乘到次幂来实现；

（3）中值滤波器：是用像素邻域内灰度的中值代替该像素的值，它对于椒盐噪声有较好的噪能力；

（4）中点滤波器：是在滤波器涉及范围内计算最大值和最小值之间的中点;。这种滤波器结合了顺序统计和求平均值。对于高斯和均匀随机分布这类噪声有最好的效果。

Deng.Y等人[[[17]](#endnote-17)]提出了PGF(Peer Group Filtering)滤波法。该方法的基本思想是：(1)分类:对每一个像素点x0(n)的对等组进行分类。假如x0(n)属于脉冲噪声而没有对等组,则窗口内其余像素点构成对等组；(2)替代:用对等组成员的加权平均替换x0 (n)。

正方形邻域同等组滤波算法[[[18]](#endnote-18)]结合了空域的滤波方法和同等组滤波方法。空域的滤波方法主要是通过该点与其邻域点的像素值的差别作为判别依据来进行滤波，而同等组滤波方法是将满足一定要求的像素点分到一个同等组，再用同等组内的像素点进行加权平均来代替原像素点，正方形邻域同等组滤波结合了邻域像素取均值和划分相关像素到一个同等组的思想。正方形邻域同等组滤波技术将像素点正方形邻域内的像素点按照距离要求进行同等组划分，再将同等组内的像素点进行取均值操作，之后利用同等组像素点的均值来替代原来的像素值，实现滤波。实现步骤如下：

（1）计算滤波窗口内像素集合和当前像素f(x,y)的距离，其中 式中，k=w2-1，w为正方形邻域的边长。

（2）取距离小于阀值dT的像素值的均值, , 其中m为满足条件的像素点的个数。

（3）用代替当前像素

另外也可采用阀值与均值相结合的滤波方法[[[19]](#endnote-19)]，以3\*3的滤波窗口为例，对于每一个像素点g(i,j)，其邻域均值:

然后设立双阀值T1，T2，处理公式如下：

(2.10)

其中，为当前处理的像素点的灰度值，为滤波后该像素点的灰度值。

T1，T2的确定可以事先对图像的直方图进行观察研究或者算出图像的平均灰度值来设置合理的阈值，也可在滤波过程中调节阈值T1和T2。注意：(1)如果T1太小就变成了均值滤波，图像会模糊，如果太大又会影响噪声的滤除；(2)T2一般取较大值，对于处在图像边缘细节上的点，特别是屋脊状边缘上的点，它们的灰度差值可能大T2，若取邻域均值作为该点的像素值，则会失去图像边缘信息。这种情况下，上式中的“其他”可根据边缘点的明暗程度用\*2或/2来代替该点的灰度值，以保留更多的边缘信息。

## 2.3 阴影去除



图2.4

目前针对阴影去除的问题，已有不少文献提出了不同的去除方法。但是几乎所有的方法都是分为两个步骤：首先要检测出阴影区域，然后再去除阴影。

阴影检测的方法大致分为两种[[[20]](#endnote-20)]：基于模型的方法[[[21]](#endnote-21)]和基于阴影属性的方法。其中基于模型的方法需要有关场景的三维几何信息、光照情况和目标特征等先验知识[[[22]](#endnote-22)]，通常用来处理有约束条件的特定的场景，如视频监控领域等。然而大多时候光照和场景的三维信息并不知道，所以基于模型的方法具有较大的局限性；基于属性的方法则是利用阴影区域的光谱和几何特性来检测阴影，最早是利用影像上阴影区域的亮度要比周围像素亮度值低的性质，如果灰度直方图成双峰或多峰分布，则采用阈值法[[[23]](#endnote-23)]来进行阴影检测，这样处理的结果是水体、低亮度地物等被当作阴影，而阴影区高亮度地物却被当作非阴影，显然误差较大，对大范围、复杂地形地物影像不适用。Tsai[[[24]](#endnote-24)]通过分析彩色航空图像上阴影区域的亮度和色调属性，基于HSI、HSV、YCbCr 等不变色彩空间提出了一种阴影检测方法，但这种方法易将深蓝色和深绿色地物误检为阴影区域。

基于属性阴影检测的方法主要有以下几种：基于图像的颜色特征不变性对光照不敏感的特点进行阴影检测[[[25]](#endnote-25)]；基于颜色比率的阴影检测[[[26]](#endnote-26)]；基于光照无关图的阴影检测[[[27]](#endnote-27)]；基于对立颜色空间的阴影检测等方法。

颜色特征不变性[19]是用来描述像素点的颜色配置的函数，图像的颜色特征不变性不会因为视角方向的改变、光照条件的改变或存在阴影而受到影响。利用颜色特征不变性对光照不敏感的特点，所以首先把RGB空间的彩色图像变换到颜色特征不变性的空间，然后再进行阴影的检测。常用的颜色特征不变性的颜色空间有3种：归一化的颜色空间[[[28]](#endnote-28)]以及文献[[[29]](#endnote-29)]中定义的l1l2l3空间和c1c2c3。它们通过RGB颜色空间的变换公式如下：

(1) l1l2l3颜色空间

(2.11)

(2)归一化的RGB颜色空间

(2.12)

(3) c1c2c3颜色空间

(2.13)

基本思路：

(1)把图像从RGB颜色空间转换到相应的颜色特征不变性空间；

(2)再将图像从颜色特征不变性空间转换为HSV空间，分离出亮度分量；

(3)得出亮度分量的直方图，通过分析实验，得到最佳阈值。阈值的选取原则是尽可能的包括两个阴影区域，同时还不能引入太多的非阴影区域；

(4)最后通过下面的公式分离出阴影区域；

(5)再把分离出来的阴影区域进行canny边缘检测，然后与原图像叠加，查看检测到的阴影位置的准确度。

(2.14)

其中：为亮度分量的像素值，为最佳阀值。



图2.5 阴影检测

阴影去除的方法主要有以下几种：基于区域补偿的阴影去除；基于二维积分，通过求二维泊松方程的阴影去除；基于颜色比率的阴影去除等方法。

图像的颜色在一个较小的区域内并没有比较剧烈的变化，示温漆图像在局部是平稳的，阴影区域与其邻近的非阴影区域的统计信息是相似的，对图像的细节要求不高。因此采用非阴影区域的信息对阴影区域进行补偿的方法来达到阴影去除的目的。

在检测出阴影后，通过非阴影区域的信息按照一定的策略对阴影区域进行补偿操作来去除阴影。邻近的非阴影区域定义如下：

式中：表示邻近阴影区域的距离在[0,dist]范围内的非阴影区域的集合，表示点p到阴影区域的距离，一般采用的是欧氏距离。

由上式得到非阴影区域后，杨俊[[[30]](#endnote-30)]等采用以下公式的映射策略在RGB颜色空间对阴影区域进行补偿：

(2.15)

式中：表示补偿后阴影区域的像素值，表示补偿前阴影区域的像素值，和表示阴影区域内像素的均值与方差，和表示非阴影区域内像素的均值与方差，为补偿系数。

示温漆图像局部稳定，在阴影区域或者非阴影区域的颜色局部差别不大，所以计算得到的和都接近于0，因此可以舍去方差的运算,可以简化为以下公式：

(2.16)



图2.6 阴影去除

## 2.4 高光去除

图像中的高光反映的主要是光源的特征,却以物体表面特征的形式出现，这对计算机视觉算法是一个很大的干扰.针对这一问题,许多计算机视觉的算法都基于漫反射假定,即假定图像中没有高光。示温漆图像采集中，对于如果被测工件为抛光的金属件，没有刷上示温漆的部位可能产生高光。

高光去除一般分为两个步骤：高光检测与高光去除。



图 2.7 存在高光的图片



图 2.8 高光检测



图 2.9 高光去除

Klinker[[[31]](#endnote-31)]提出了一个根据Shafer的两色反射模型( Dichromatic Reflection Model )[[[32]](#endnote-32)]去除单张图像中高光的算法。Klinker发现，在RGB颜色空间中，漫反射像素和高光像素形成一个T形分布。对漫反射区域和高光区域分别作主成分分析，拟合出漫反射和光源颜色向量，利用这两个向量作投影，就可以快速地去除高光。然而，高光像素簇通常都因为物体表面粗糙程度、几何形状[[[33]](#endnote-33)]等原因被扭曲。因此，主成分分析对光源颜色的估计通常都是不精确的，从而降低了该算法的适用性。

光照约束补色算法[[[34]](#endnote-34)]通过比较高光和漫反射光(diffuse)的色度特性的不同，给出了一种交互检测单色物体表面高光区域的方法，与一般补色方法不同，该算法充分利用了高光区域含有的信息来指导补色过程，将通常的补色(Inpainting)方法与光照约束条件相结合，通过综合利用观测到的像素值、光源的色度分析(Illumination Chromaticity Analysis)、光源颜色的平滑性等来约束补色过程，保证了算法能够克服一般的补色方法无法保持物体表面细微明暗变化的缺点。与以往的去除单张图像高光的方法相比，该算法能够提供更好的光源色度估计，从而得到更准确的结果。

文献[[[35]](#endnote-35)]提出一种实时的单幅照片高光去除算法，基于最大漫反射色度局部平滑[[[36]](#endnote-36)]这个性质，利用线性模型对最大漫反射的值进行扩散传播，从图像中的漫反射像素传播到镜面反射像素，最终求出图像中每个像素的漫反射分量，从而达到高光去除的效果。

# 图像量化分割

## 3.1 色彩量化

由于彩色图像包含颜色种类较多，将相似的颜色归为一类并不影响分割的结果，但图像量化的效果将影响分割结果的正确性。图像色彩量化正是在不显著降低图像质量的情况下，抽取一些有代表性的颜色表示图像，从而达到降低存储空间和提高处理速度的目的。因此好的色彩量化对既快又好的分析图像内容是非常重要的。目前常用的方法主要有一下几种：

统一量化法[[[37]](#endnote-37)]：直接对色彩空间进行划分，挑选一组红、蓝、绿颜色分布均匀的色彩表为调色板颜色，然后按照颜色最相近的原则，用调色板中的颜色代替。

频度序列法[[[38]](#endnote-38)]：是以图像色彩直方图为基础。首先选择图像中使用频率最高的K种色彩作为调色板，然后再把其余颜色按最小距离准则映射到调色板中。

中位切割法[[[39]](#endnote-39)]简称中分法。该方法试图选择一个色彩均衡的集合来表示图像. 其基本思想是: 把色彩空间正方体分成K个包含相等数量像素的长方体, 选择每个长方体的中心作为调色板。

同中位切割法类似，中值裂分法[[[40]](#endnote-40)]也是一种分裂法。但它是在像素集合中，选取红、绿、蓝分量中方差最大的那个分量的中值作为裂分标准，不断地把颜色空间裂分成越来越小的区域，直至最终得到K个集合，各集合中心点的颜色即为调色板的色彩。

Gervatuz[[[41]](#endnote-41)]提出基于八叉树结构的色彩量化算法，为色彩量化开辟了新的途径。该算法的主要思想是：顺序读入图像文件中的像素，并以先被读入的前K种不同色彩作为初值一旦不同颜色的数量超过K时，则将出现频率最小的颜色同相近的颜色归并，以保证色彩数目不超过K。在这种方法中，借助于八叉树实现代表色彩选择，每当处理源图像文件中的一个新色彩时，若其颜色数目小于K，就在色彩八叉树上插入一个新叶子结点。若颜色数超过K，则在八叉树上进行相邻色彩归并运算，以减少叶子结点数目，保证其叶子结点数目不超过K。

之后人们又对八叉树量化算法做了一些改进，频度优先的八叉树量化算法[[[42]](#endnote-42)]，在保证深度优先的前提下，尽可能保留图像中出现次数较多的色彩；改进型八叉树色彩量化算法[[[43]](#endnote-43)]，增强了八叉树量化算法的实时性，缩短图像量化的时间。

聚类[[[44]](#endnote-44)]的方法选择若干个样本点向各个聚类中心聚合，从而得到新的分类，若新的分类不合理，则修改分类直到合理为止。聚类算法是色彩量化技术中采用的主要方法，如K-means及其改进聚类算法[[[45]](#endnote-45)]和和模糊C均值(FCM)及其改进聚类算法[[[46]](#endnote-46)]。

K-means算法主要思想如下：

Step1 在原图像中选取Ｋ个色彩作为初始的聚类中心；

Step2 根据色彩相似准则（如在ＲＧＢ色彩空间中，两个色彩的欧式距离越近，它们就越相似）将原图像中的色彩进行归类，即划到不同的子聚类族中；

Step3 重新计算各子聚类族的聚类中心，此处可用各子聚类族中色彩的均值来表示新的聚类中心；

Step4 检查各子聚类中心是否发生变化，如果所有的聚类中心不再发生变化，则完成聚类过程。否则将重复Step2、Step3，直到所有的聚类中心不再发生改变为止；

Step5 根据最终的色彩聚类中心点来组成新的调色板，从而重新构建原图像。

传统的基于K-means算法在实现过程中采用循环迭代的方法，实现时比较费时。同时，对于初始聚类中心的选择也会影响量化的结果。

文献[[[47]](#endnote-47)]中提出的快速K-means算法通过引入三角形等式和按平均距离顺序的局部代码搜索技术，在图像量化过程中能减少计算时间。

文献[[[48]](#endnote-48)]中日出的改进的FCM算法ASFCM在一定程度上解决了图像量化过程中噪音数据的影响和重要颜色着色不正或丢失的问题，同时量化前后图像偏差较小。

FCM算法主要思想如下：

Step1 确定聚类类别数c，,n是数据个数；确定加权数m，，计算欧式距离dik；

Step2 随机初始化模糊分类矩阵U(0),是其满足上式中的约束条件；

Step3 根据下式计算聚类中心：

(3.1)

Step4 根据下式计算价值函数。如果它小于某个确定的阈值，或它相对

上次价值函数值的改变量小于某个阈值，则算法停止：

(3.2)

Step5 用下式计算新的U矩阵，返回Step3：

(3.3)

文献[[[49]](#endnote-49)]中提出了一种基于邻域灰度值聚类的像素色彩量化算法，在色彩一维灰度化处理过程中，通过设计不同颜色分量的比重，来应对人们对不同颜色敏感度不同的视觉特性。

文献[[[50]](#endnote-50)]中提出了一种新的K-means算法。首先，将原图像转换到HSI色彩空间。在HSI色彩空间中利用色调Ｈ来对原图像中的色彩进行粗分类，即具有相似色调的色彩被聚为一大类。其次，根据各子类的大小来确定各子类中应该拥有的初始聚类中心的数目。然后，结合HSI色彩空间的亮度分量和色彩的饱和度来确定各子类的初始聚类中心。再将色彩空间转换到对应的RGB色彩空间，并通过合并算法以及迭代算法来求取最终的聚类中心。最后，重构新的图像。

## 3.2 图像分割

图像分割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。这里的特性可以是像素的灰度、颜色、纹理等，预先定义的目标可以对应单个区域，也可以对应多个区域。

令集合R代表整幅图像的区域，对R的分割可看成将R分成N个满足以下五个条件的非空子集R1,R2……,RN[9]：

1. ;
2. ;
3. ;
4. ;

其中表示集合中具有相同性质的逻辑谓词。

条件(1)指出分割应将图像中的每个像素都并进某个子区域中。条件(2)指出

在分割结果中各个子区域是互不重叠的。条件(3)指出分割结果中属于同一个区域中的像素应该具有某些相同的特性。条件(4)指出在分割结果中属于不同区域的像素应该具有不同特性。条件(5)指出同一子区域内的像素应当是连通的。

目前广泛使用的图像分割方法有一下几种：

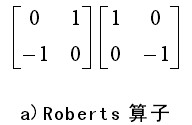
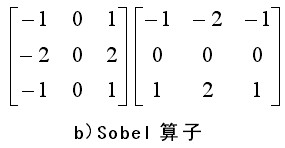
基于区域分割[[[51]](#endnote-51)]的方法有区域生长法、分裂-合并方法等。区域生长的基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域，而区域分裂技术则是将种子区域不断分裂为4个知形区域，直到每个区域内部都是相似的为止。区域合并通常和区域生长、区域分裂技术相结合，以便把相似的子区域合并成尽可能大的区域。因此当图像区域的同一性准则容易定义时，这些方法分割质量较好，并且不易受噪声影响。

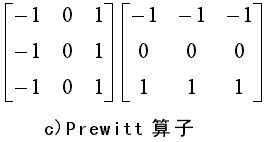
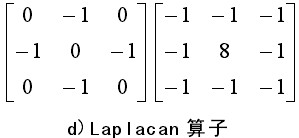
但区域分割的结果很大程度依赖于种子点(seed points)的选择，常常会造成图像欠分割或过分割的问题。Horowitz[[[52]](#endnote-52)]首次将分裂-合并思想用于图像分割，但由于算法的局限性难以实现小区域的有效连接。有些学者提出利用边缘生长的技术进行图像分割[[[53]](#endnote-53)]，先对图像进行边缘检测，然后用有向势能函数对边缘进行粗略的封闭，最后用区域生长的技术进行细分割。边缘生长是一种基于边界的检测方法，借鉴了区域生长和边界跟踪的思想。

Tremeau[[[54]](#endnote-54)]等提出了一种将区域生长和区域合并技术相结合的彩色图像分割方法。该方法利用RGB颜色空间的欧氏距离定义了3个色彩同一性准则，并将其分别用于两个相邻像素之间、某个像素与己定义的相邻区域内像素之间以及其均值的比较。分割时，先利用基于颜色相似度和空间相近度的准则进行区域生长，然后根据基于色彩相似性的全局同一性准则来对区域生长形成的区域进行合并，以生成空间分离。

阈值分割法[[[55]](#endnote-55)]是简单的利用一个或几个阈值将图像直方图分成几类，图像中灰度值在同一个灰度类内的像素属于同一个类。其过程是决定一个灰度值，用以区分不同的类，此灰度值称为“阈值”。Lim[[[56]](#endnote-56)]等把直方图和阈值化相结合用于彩色图像分割，并分为粗分和细分两个阶段。Lopes[[[57]](#endnote-57)]等针对Lim的方法提出了进一步改进，其分割效果有效的提升。

采用梯度算子的分割方法主要是根据图片的背景颜色与目标颜色的边界处，像素点的颜色特征值发生突变。因此根据像素点颜色特征值是否发生突变可以将背景与目标区分开。由于边缘为图像中灰度发生急剧变化的区域边界，微分运算也就成为边缘检测与提取的主要手段。如Roberts算子，在Robert算子基础上改进得到的Sobel算子，Prewitt算子，Laplacan算子。

由于微分运算会增加图像中的噪音，因此可以通过平滑滤波减少噪音的影响。Marr和Hildresh[[[58]](#endnote-58)]提出一种先平滑后求导的方法：先使用高斯函数进行平滑，再使用拉普拉斯算子进行求导，判定导数的零交叉点为边缘点。这种方法又称为 LOG算子，采用LOG 算子的图像Canny从最优滤波器的角度提出了三个最有准则，并从这三个准则得到一组最优滤波器。相对于LOG算子的过零点，Canny 检测的边缘是算子输出的局部极值。

基于RGB模型颜色相似性的分割[[[59]](#endnote-59)][[[60]](#endnote-60)]，首先比较各种颜色模型的优势与不足, 然后根据RGB颜色空间的颜色信息和亮度信息提出一种计算在RGB空间下颜色相似性的方法, 再结合提出的图像颜色分量计算方法, 从而形成颜色分类地图, 最后根据颜色分类图进行像素划分, 得到分割结果。

# 温度识别

温度识别主要有两种识别方式[18]，一种是点识别，一种是区域识别。

识别方法也有两种：

(1)模拟人眼识别的方法直接是利用样本数据库实现温度识别的一种方法，此类方法是一种最简单的示温漆温度识别方法。

首先，计算示温漆彩色图像上一点(x,y)的颜色值C[R,G,B]；然后计算点（x,y)的颜色值与样本数据库中的每一种颜色C0,C1,…,Cn-1的距离Di：

(4.1)

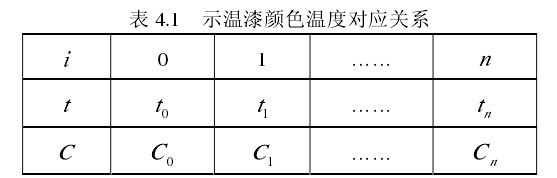
(4.2)

通过比较查找距离，得到距离最小值以及该最小值所对应的颜色值温度值即可被认为是点(x ,y)的温度值。此种方法的优点是计算量小，便于实现，但识别的准确性有限，因此只适用于精度要求不高的场合。

虽然在不同的颜色空间都可以实现此算法，如RGB空间、LUV空间，但实验表明，不同的颜色空间对于该算法的性能有一定的影响，表现为：由于环境光改变引起图像颜色偏差时，在LUV空间时，直接判读法仍能保持较高的识别准确率，但是，在RGB空间时，该算法的识别率明显下降。

(2)颜色温度曲线识别法[[[61]](#endnote-61)]根据示温漆颜色渐变以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，这种性质比其它插值方式优越的多。

假设一组样本示温片包括n+1个颜色样品，其温度表示为T1,T2,……,Tn，颜色数据表示为C1，C2，……，Cn。我们采用RGB颜色空间表示颜色，则Ci=[Ri,Gi,Bi]，i=0,1,……，n。



RGB空间中不考虑R、G、B分量之间的相关性，设想各颜色分量值分别是温度T的函数。根据表4.1中的数据能够得到示温漆图像数据的颜色温度特性曲线。我们一般选择三次样条插值法进行曲线拟合，该方法比较稳定，适用于等距和非等距插值节点的情况，所形成的插值曲线比较光滑[19][[[62]](#endnote-62)]。

一条三次参数曲线是把x，y，z 分别表示成某个参数 t 的三次多项式。为了不失一般性，可令 0≤t≤1。用矢量形式表示成：

p(t)=at3+bt2+ct+d 0≤t≤1 (4.3)

对于给定的一组控制点Q0,Q1,……,Qn,寻找到n段如上式所示形式的三次曲线并拼接起来，求出n组如上式所示方程系数。

求解算法为：

设与之间的三次曲线段为,则在与处有：

(4.4)

(4.5)

将上述各式带入到式(4.1)中，解得：

(4.6)

将上式所得系数代入到式(4.1)中，得到：

(4.7)

根据三次样条曲线在任一点都有二阶导数连续性的特点，因此点处的二阶段数是连续的，故有：

以上三式可以得到关于点的方程：

(4.8)

上式中，i可以是所有控制点的任一点，因此可以得到n−1个这样的方程，联立方程并用矩阵形式表示。

一般根据边界条件再补充两个附加条件，边界条件分为三种：（1）固支边界条件，即给定边界点的一阶导数；（2）自然边界条件，即给定边界点的二阶导数；（3）周期性边界条件。选取固支边界条件，即指定两端点和的切线向量和为已知。

利用追赶求出。追赶计算公式是：

(4.9)

其中，为矩阵右边列的各系数，追赶过程：

(4.10)

其中=, 求出后，代入矩阵，求出各曲线段的三次多项式系数

样条插值是用低次分段多项式去逼近被插值函数，能够满足对光滑性的要求，又无需给出每个节点处的导数值，除了要给出各节点处的函数值外，只需再提供两个边界点处的导数值。图 4.1对给定的n+1个离散点，绘制出n段三次参数样条曲线，并且连接成一条光滑曲线的实例。

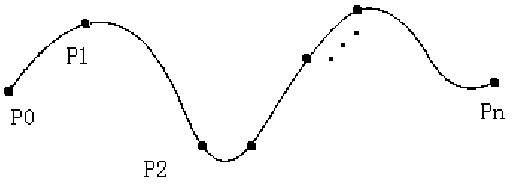


图4.1 三次样条插值曲线

利用三次样条插值曲线的构造方法，根据示温漆温度样本值在 LUV(或者HSI) 空间构造示温漆颜色温度特性曲线。

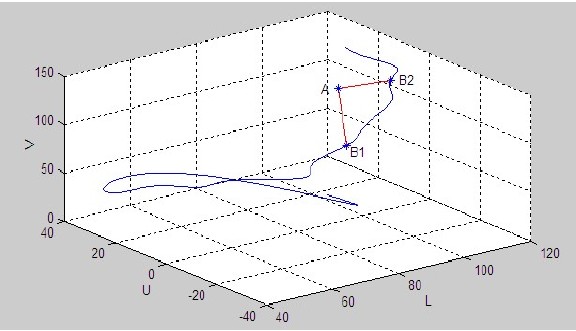


图4.2温度特性曲线

对于空间中任意一点 A和曲线上的两点B1、B2，若AB1 < AB2，则认为A点的颜色与B1点的颜色接近。在整个空间曲线上寻找与A点距离最近的一点B\*，可以认为B\*点对应的温度值t\*即为 A点所反应的温度。此种温度判别方法按照距离最小原则进行判断。这个判断的准确性可以用AB\*的长度来表示：AB\*越小，说明A与B\*的颜色越接近，从而说明判断结果越精确。

# 结论

目前为止，国内示温漆的识别技术主要还是局限于实验室。主要问题在于，量化分割的正确性和识别精度的不足。如何正确的对图像进行量化分割，如何对于温度进行识别，如何减少图像提取过程中产生的噪声，对于相关领域的研究者来说，还需要做大量的工作。

# 参考文献

1. [] 李扬，李志敏. 航空发动机涡轮叶片温度测量技术现状与发展[C]. 航空发动机设计、制造与应用技术研讨会论文集; 2013年. [↑](#endnote-ref-1)
2. [] OglesbyDM, UpehurehBT, SealeyBS, etal. Development of temperature Sensitive paint for the detection of small temperature differences[R]. Instrumentation in the Aerospace lndustry: Proeeedings of the International Symposium, 1997, 329-337. [↑](#endnote-ref-2)
3. [] 李勇，陈洪敏，熊庆荣. 不可逆示温徐料的发展及应用[J]. 中国涂料, 2010(5): 16-19. [↑](#endnote-ref-3)
4. [] Doyle W, Operations useful for similarity-invariant pattern recognition[J]. JACM, 1998,9(2):259-267. [↑](#endnote-ref-4)
5. [] Parke F I. Computer Generated Animation of Faces[J]. Proceedings ACM ANN Conference, 1972,4(1):451-457. [↑](#endnote-ref-5)
6. [] Fu K S, Mui J K, A survey of image segmentation[J]. Pattern Recognition , 1981, 13(1):3-16. [↑](#endnote-ref-6)
7. [] 张志龙，曹承倜．示温漆颜色温度特性分析与温度识别系统[J]．计算机自动测量与控制，2001，9 (3)：20-24. [↑](#endnote-ref-7)
8. [] Liu J Q, Yang Y H. Multiresolution Color Image Segmentation. IEEE Transactionson Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 16(7): 689–700 . [↑](#endnote-ref-8)
9. [] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京：电子工业出版社，2007. [↑](#endnote-ref-9)
10. [] 马春武, 姜斌, 陈复扬．示温漆温度自动判读与数字图像处理系统[J]．航空发动机, 2007, 33(2):11-14． [↑](#endnote-ref-10)
11. [] 杨立瑞，周济. 二值图像的多结构元数学形态学滤波[J].信号处理，1996, 12(2): 215-222. [↑](#endnote-ref-11)
12. [] Ko S J, Lee Y H. Center Weight Median Filter and their Application to Image Enhancement[J]. IEEE Trans circ Syst, 1991,38(9):984-993. [↑](#endnote-ref-12)
13. [] 关新平，赵立兴，唐英干．图像去噪混合滤波方法[J]．中国图像图形学报，2005,10 (3)：332-337． [↑](#endnote-ref-13)
14. [] 刘积平，余英林. 一种简易的图像去噪方法[J]. 华南理工大学学报, 2000, 28(2):60-63. [↑](#endnote-ref-14)
15. [] 秦鹏, 丁润淘. 一种基于排序阈值的开关中值滤波方法[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(4):412-416. [↑](#endnote-ref-15)
16. [] Loupas T. An adaptive weighted median filter for speckle suppression in medical Ultrasonic image[J]. IEEE Trans on Circuits System, 1989, CAS-36(1): 129-135. [↑](#endnote-ref-16)
17. [] Y.Deng, S.Kenney, M.S.Moore and B.S.Manjunath. Peer group Filtering and perceptual color image quantization[J]. Proe. IEEE International Symposium on Circuits and Systems VLSI, (ISCAS,99), Orlando, FL, vo14, PP.21-4, June 1999. [↑](#endnote-ref-17)
18. [] 王美玲. 基于彩色图像处理的示温漆温度识别系统[D]. 南京：南京航空航天大学，2009 [↑](#endnote-ref-18)
19. [] 龚巍. 示温漆彩色图像分割与温度识别系统[D]. 绵阳：西南科技大学，2007 [↑](#endnote-ref-19)
20. [] Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Shadow identification and classification using invariant color models[C]. ICASSP, 2001:1545-1548. [↑](#endnote-ref-20)
21. [] Li Y, Gong P, Sasagawa T. Integrated shadow removal based on photogrammetry and image analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(18): 3911-3929. [↑](#endnote-ref-21)
22. [] Massalabi A，He D C. Restitution of information under shadow in remote sensing high space resolution images: application to Ikonos data of Sherbrooke city[J]. ISPRS 2004 International Society for Photogrammetry and Remote Sensing，2004，35(B7)：173-178. [↑](#endnote-ref-22)
23. [] Nagao M，Matsutyama T，Ikeda Y. Region extraction and shape analysis in aerial photographs[J]. Computer Vision, Graphics and Image Process, 1979, 10(3): 195-223. [↑](#endnote-ref-23)
24. [] Tsai V J D. A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models[J]. IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing，2006，44(6): 1661-1671. [↑](#endnote-ref-24)
25. [] Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Cast shadow segmentation using invariant color features[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 95(2):238-259. [↑](#endnote-ref-25)
26. [] Levine M D, Bhattacharyya J. Removing shadows[J]. Pattern Recognition Letters, 2005,(26):251-265. [↑](#endnote-ref-26)
27. [] Finlayson G D, Hordley S D, Lu C, et al. Removing shadows from images[C]. European Conference on Computer Vision, 2002:823-850. [↑](#endnote-ref-27)
28. [] Huang Jianjun, Xie Weixin, Tang Liang. Detection of and compensation for shadows in colored urban aerial images[A]. Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation [C]. Hangzhou, China：IEEE，2004：3098-3100. [↑](#endnote-ref-28)
29. [] Gevers T, Smeulders AWM. Color-based object recognition[J]. Pattern Recognition, 1999,32:453-464. [↑](#endnote-ref-29)
30. [] 杨俊,赵忠明.基于归一化RGB色彩模型的阴影处理方法[J].光电工程, 2007, 34(12): 92-94. [↑](#endnote-ref-30)
31. [] KLINKER G J, SHAFER S A, KANADE T. The measurement of highlights in color images[J]. International Journal of Computer Vision, 1990, 2: 7-32. [↑](#endnote-ref-31)
32. [] SHAFER S A. Using color to separate reflection components[J]. COLOR Research and Application, 1985, 10(4):210-218. [↑](#endnote-ref-32)
33. [] NOAK C L, SHAFER S A. Anatomy of a color histogram[C]. Proc of the IEEE Computer Vision and Pattern Recognition. 1992:599-605. [↑](#endnote-ref-33)
34. [] 谭平, 杨杰. 用于去除单张图像高光的光照约束补色[J]. 软件学报, 2004, 15(1): 33-40. [↑](#endnote-ref-34)
35. [] 周伟，张明敏. 实时单幅图片高光去除算法[J]. 计算机工程与应用，2011, 47(26): 200-202. [↑](#endnote-ref-35)
36. [] Tan R, Ikeuchi K. Separating reflection components of textured surfaces using a single image[J]. IEEE Trans PAMI, 2005, 27(2): 178-193. [↑](#endnote-ref-36)
37. [] Heckbert P. Color imagequantization for framebuffered display [J]. Computer Graphics, 1982, 16(2): 297-307. [↑](#endnote-ref-37)
38. [] Geng Guo-hua, Zhou Ming-quan. Analyzing the quality of some common used algorithms of color quantization[J]. Mini-Micro Systems, 1998, 19(9): 46-49. [↑](#endnote-ref-38)
39. [] Andread, Browne M. A. Image pixel classification by chromatic-ity analysis[J]. PatternRecognition Letters. 1990, (11): 52-58. [↑](#endnote-ref-39)
40. [] Orchard MT, Bouman C A. Color quantization of image[J]. IEEETrans Signal Processing, 1991, 39(12): 2677-2690. [↑](#endnote-ref-40)
41. [] Gerrautz M, Purgathofer W. A simple method for color quantization: octree quantization[C]. Proceedings of CG International 88, 1988, 219-230. [↑](#endnote-ref-41)
42. [] 李忠明, 李忠明. 基于频度严格优先的八叉树色彩量化算法[J]. 兰州大学学报, 2013, 49(2): 255-259. [↑](#endnote-ref-42)
43. [] 刘青, 钱伟. 一种八叉树色彩量化算法的改进[J]. 电子技术, 2010. [↑](#endnote-ref-43)
44. [] Ling Ling. Research on color image quantization methodes[J] . Journal of South China University of Technology ( Natural Science Edition ), 2000, 28(1): 81-85. [↑](#endnote-ref-44)
45. [] Yining Deng, Charles Kenney, Michael S etc. Peer Group Filtering and Perceptual Color Image Quantization[J]. IEEE Circuits and Systems, 1999, 14(9): 879-883. [↑](#endnote-ref-45)
46. [] Yang J.F. , Hao S.S., Chung P.C. Color image segmentation using fuzzy C-means and eigenspace projections[J]. Signal Proeessing 2002,1:461-472. [↑](#endnote-ref-46)
47. [] Hu Y C, Su B H. Accelerated k-means clustering algorithm for color image quantization[J]. The Imaging Science J, 2008, 56(1): 29-40. [↑](#endnote-ref-47)
48. [] Liew A W C, Yan H, Law N F. Image segmentation based on adaptive clusterprototype estimation[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2005, 3(14): 444-451. [↑](#endnote-ref-48)
49. [] 肖满生, 吴卫, 王宏. 基于邻域灰度值聚类的图像色彩量化[J]. 控制与决策, 2013, 28(6): 935-939. [↑](#endnote-ref-49)
50. [] 姜月秋. 一种新的基于K均值聚类的色彩量化算法研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(11): 375-377 . [↑](#endnote-ref-50)
51. [] Peng B, Zhang L, Zhang D. Automatic image segmentation by dynamic region merging. Image Processing, 2011,20(12):3592-3605. [↑](#endnote-ref-51)
52. [] Horowitz S, Pavlidis T, Picture segmentation by a tree traversal algorithm[J]. JACM, 1976, 23(2):368-388. [↑](#endnote-ref-52)
53. [] Maeda J et al. Segmentation of natural images using anisotropic diffusion and linking of boundary edges[J]. Pattern Recognition Letters, 1998, 31(12): 1993-1999. [↑](#endnote-ref-53)
54. [] Tremeau A, Borel N. A region growing and merging algorithm to color segmentation[J]. Pattern Recognition, 1997,30(7):1191-1203. [↑](#endnote-ref-54)
55. [] Underwood S A，Aggarwal J K. Interactive computer analysis of aerial color infrared photographs[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1977,6(1):1-24. [↑](#endnote-ref-55)
56. [] Lim Y W, Lee S U. On the color image segmentation algorithm based on the thresholding and fuzzy c-mean techniques[J]. Patter Recognition,1990(23): 935-952. [↑](#endnote-ref-56)
57. [] Lopes NV, Bustince H, Melo-Pinto P, Pedro AM. Automatic histogram threshold using fuzzy measures. Image Processing, 2010,19(1):199-204. [↑](#endnote-ref-57)
58. [] Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. Digital Image Processing(Second Edition) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 581~585. [↑](#endnote-ref-58)
59. [] Wang S. Color image segmentation based on color similarity. American: IEEE, 2009:1-4. [↑](#endnote-ref-59)
60. [] 杨康叶, 邬春学. 基于RGB模型颜色相似性的彩色图像分割. 计算机系统应用, 2013, 22(3): 128-131. [↑](#endnote-ref-60)
61. [] Wang Ronghua, Du Pingan. Automatic recognition algorithm for temperature sensitive paint’s temperature based on isotherm temperature identification[J]. Journal of electronic measurement and instrument, 2010, 24(6):542-547. [↑](#endnote-ref-61)
62. [] Peng Xia, Tatsuki Tahara. Performance comparison of bilinear interpolation, bicubic interpolation, and B-spline interpolation in parallel phase-shifting digital holography[J]. Springer, 2013-2. [↑](#endnote-ref-62)