

图像处理技术在火焰彩色测温软件中的应用

赵 洋 程晓舫 (中国科学技术大学热科学和能源工程系 合肥 230027)

摘要:根据彩色测温理论开发的现有彩色测温软件存在测温区域不完整现象,本文分析了产生的原因,利用图像处理技术对软件进行了改进,实现了发光火焰区域完整的温度测量。

关键词:颜色 温度 图像恢复

1 引言

根据光学成像理论、彩色三基色原理、普朗克定律建立的火焰彩色测温理论,我们在 CIE1931r-g 色度坐标系中建立起了彩色测温坐标系^[1],如图 1,可以实现由像素的颜色反演温度且不需要标定测量系统。由此编写的彩色测温软件思路如图 2。

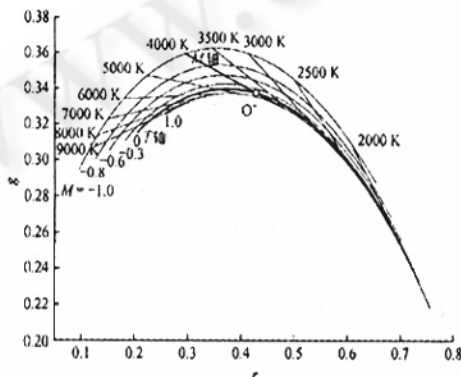


图 1 辐射测温坐标系

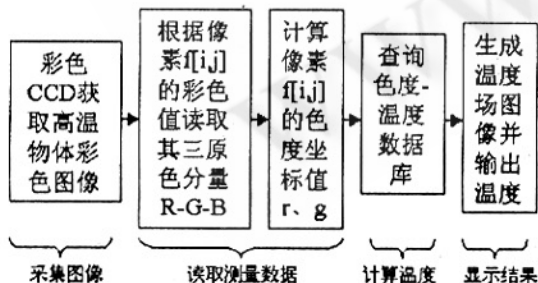


图 2 原测温软件流程

通过计算发现,仅仅依据彩色测温原理而编写的测温软件的实际效果并不是很好。如图 3 所示幅面为 121×421 暗室无风蜡烛火焰,总像素为 50941 个,利用原测温软件对其进行分析,所得到的火焰温度场分布如图 4,有效测温点仅为 8834 个。测温图像明显不饱满,无法满足研究需要。

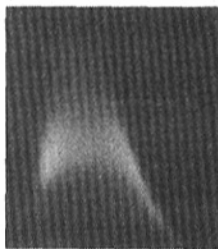


图 3 火焰照片



图 4 目前温度分布

2 原因分析

通过分析发现,导致温度计算图像不饱满的原因是计算像素色度分布时出现了图 5 所示的情况,一部分像素计算的色度分布超出了 $M(-1, +1)$ 的理论测温区域^[1],因此原有测温软件将这些点判做无解点。

根据色度学理论^[1],像素的 R-G-B 分量决定了像素点在 r-g 色度坐标中的位置。因此判断是在成像过程中像素的色彩偏离造成了火焰像素的色度分布处于测温坐标系的理论域外。

$$r = \frac{R}{R+B+G} \quad g = \frac{G}{R+B+G} \quad (1)$$

出现这种情况的主要原因是:①影像设备彩色 CCD 的实际光谱响应函数与标准色度三刺激函数不

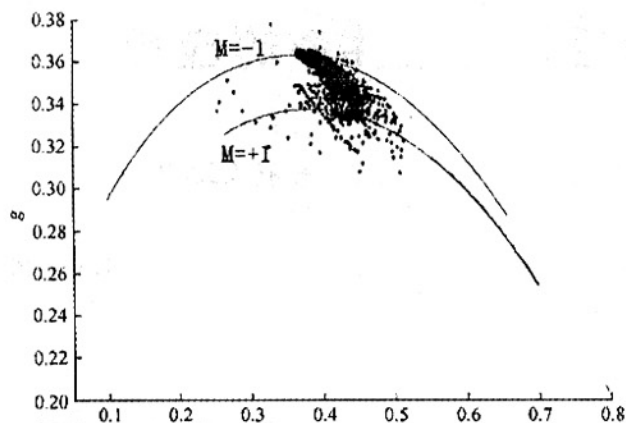


图 5 实际的火焰伪彩色分布

同,这可对实际光谱响应函数进行标定予以纠正;②构成影像阵列的各 CCD 像素的光谱响应函数存在制造误差,这可通过降低制造误差予以纠正。③测温软件使用的色度-温度数据库精度的有限,也会造成理论域外色度点的出现,这可以通过提高测温数据库的精度来改进。

但是,设想获取 CCD 阵列中每一像素的光谱响应函数来再次进行精确的计算是不可能的,过高的追求数据库的精度也会使计算量加大,导致测温速度下降。因此决定立足于已计算出温度的像素信息,使用图像处理的方法对测温软件进行改进。

3 解决方案

通过分析图 4 可以看出,未能计算出的那部分像素,即超出理论测温分布区域的像素分布在可计算温度的像素之间;且根据传热学可以判断,开放的处于稳定燃烧的火焰的温度分布梯度是连续的^[2],因此,改进软件采用基于邻域信息的图像恢复技术来给出关联温度。

改进后的测温软件思路如图 6。

第一步:确定图像源中需要测温的发光火焰区域,程序思路如下。

选择阈值

二值化图像

去除游离于火焰区域外的噪声点

确定需要测温的区域

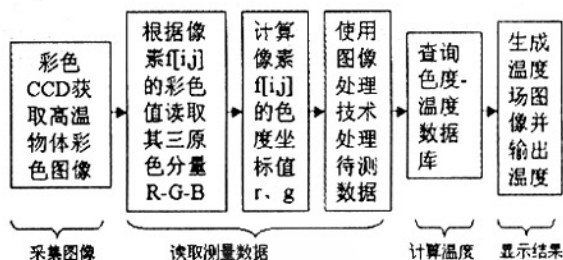


图 6 改进后软件流程

第二步:对于需求解区域内的未能计算出温度值的像素点 $f[i,j]$,在图 7 的恢复窗口中,使用邻域平均算法,程序思路如下。

$$\begin{pmatrix} f[i-1, i-1] & f[i, i-1] & f[i+1, i-1] \\ f[i-1, i] & f[i, i] & f[i+1, i] \\ f[i-1, i+1] & f[i, i+1] & f[i+1, i+1] \end{pmatrix}$$

图 7 图像恢复窗口

if $f[i, i] \neq \text{background}$ then $T[i, i]$ 不变;

else then begin

统计 $f[i, i]$ 8 邻域已测温点数 K ;

$R[i, i] := (f[i, i]$ 8 邻域中的已测温点的 r 值之和) / K ;

$G[i, i] := (f[i, i]$ 8 邻域中的已测温点的 g 值之和) / K ;

$B[i, i] := (f[i, i]$ 8 邻域中的已测温点的 b 值之和) / K ;

利用 $R[i, i]$ 、 $G[i, i]$ 、 $B[i, i]$ 合成 $f[i, i]$ 的 $R-G-B$ 值;

计算 $f[i, i]$ 的 $r-g$ 色度值;

end;

第三步:使用处理后的图像数据查询色度-温度数据库获得 $f[i, i]$ 的 $T[i, i]$;

使用图像处理技术后得到的温度场如图 8。完成测温像素由 8834 个增加到 16999 个,温度场分布图像均匀饱满,经过与中国计量科学研究院光学处 BB3200pg 黑体炉实验对比,误差在 1% 之内。

(下转第 54 页)



图 8 最终恢复 2 图

4 结论

将数字图像处理技术运用于彩色测温软件系统解决了测温数据源的误差问题。它利用可直接测温像素点的数据,恢复出了不可直接测温像素点的数据,恢复点的色度也在正确的彩色测温色度分布区域内,并且满足传热学理论,从而保证了总体测温值的真实性和

准确性。可以说,运用图像处理技术是彩色测温软件实用化中不可缺少的手段。

参考文献

- 1 程晓舫、符泰然、范学良, 谱色测温原理, 中国科学 G 辑, 2004 年 6 期。
- 2 弗兰克·P. 英克鲁佩勒, 传热的基础原理, 安徽教育出版社, 1985 年。
- 3 陆少松、程晓舫、王安全, 发光火焰温度的彩色测量方法, 燃烧科学与技术, 2003 年 4 月。
- 4 K. R. Castleman 数字图像处理, 电子工业出版社, 2002 年。
- 5 刘骏主编, Delphi 数字图像处理及高级应用, 科学出版社, 2003 年。
- 6 李汉舟、张敏贵、潘泉、张洪才, 基于面阵 CCD 图像的温度场测量研究, 仪器仪表学报, 2003 年 12 月。