

文章编号: 1006-9941(2007)03-0273-04

数字图像处理技术在火焰测试中的应用

张 硕, 王宁飞, 张 平

(北京理工大学机电工程学院, 北京 100081)

摘要: 开发了基于 VC++ .NET 的红外图像识别系统。应用该系统对固体推进剂发动机排气羽焰图像进行了数字图像处理, 得到了排气羽焰的亮度分布, 实现了固体推进剂发动机排气羽焰的分析与参数识别。处理结果表明, 该系统达到了对固体推进剂发动机排气羽焰图像总体分析与参数识别的目的, 为固体推进剂发动机排气羽焰的分析与参数识别提供了一种全新的方法。

关键词: 航空宇航推进理论与工程; 红外图像识别系统; 固体推进剂; 亮度分布; 参数预估

中图分类号: TJ76; V435

文献标识码: A

1 引 言

固体推进剂发动机排气羽焰的亮度分布、长宽比、复杂度等是固体推进剂的重要性能参数。准确捕捉推进剂火焰的轮廓, 分析排气羽焰特征参数并测定排气羽焰亮度分布, 可为分析燃烧机理、建立燃烧数学模型提供数据, 对推进剂配方的设计有一定指导意义。推进剂燃速与压强指数除了与推进剂的组成有关外, 还与燃烧波结构有密切关系。测定火焰亮度分布是研究推进剂燃烧波结构的必要手段^[1,2]。固体推进剂发动机排气羽焰的图像通常不对称且分布不均匀, 提取火焰轮廓存在较大困难, Roberts^[3]通过图像增强、梯度显示及小波分析和数学形态学等处理算法清晰地得到火焰的结构参数、位置和轮廓以及火焰图像的亮度分布, 可以判断出不良燃烧区域火焰的稳定、临界、熄火和点火故障区域。测量推进剂火焰温度分布的方法很多, 如热电偶法、等离子体法、光纤测温法、谱线反转法、发射吸收法、喇曼光谱法、微波衰减法、红外辐射法、多光谱测温法、全息法^[4]等。

尽管数字图像处理技术在火焰图像处理方面有着广泛的应用, 但采用数字图像处理技术分析推进剂火焰温度即亮度分布的相关文献并不多。本文分析了固体推进剂发动机排气羽焰主区域的基本参数, 提出了一种用于固体推进剂发动机排气羽焰测试的新方法。

2 红外图像识别软件及应用

为了解决固体推进剂发动机排气羽焰图像的提

取、亮度分布预估与参数识别问题, 作者基于 VC++ .NET 平台以及 GDI+ API 模块, 自行开发了红外图像识别系统。DOT NET 集成开发环境具有功能强大, 编写代码少等特点。GDI+ 是新一代的图形设备接口, 它是与 DOT NET Framework 中的图形设备接口进行交互的入口。GDI+ 完全面向对象, 具有代码简单, 易于操作等特点^[5]。

红外图像识别软件具有如下功能: 几何变换(旋转、移动、放大、缩小、剪裁等), 灰度变换, 图像位数变换, 亮度对比度调节, 单通道分离, 图像分割, 中值滤波, 边缘检测, 图像匹配, 图像增强, 参数计算与识别, 平滑, 锐化, 傅立叶变换, 小波变换, 相反转, 形态学处理, 音视频播放, 绘图, 编辑, 打印等功能。

应用红外图像识别软件, 对固体推进剂发动机排气羽焰目标检测与参数识别的基本步骤是: ① 对固体推进剂发动机排气羽焰图像进行预处理, 使图像增强; ② 通过图像分割及边缘检测, 提取出火焰的区域; ③ 对火焰区域进行亮度分布预估和参数识别。

3 固体推进剂发动机排气羽焰图像的预处理及图像分割

图像分割就是按图像特征, 如图像的灰度特征、纹理特征和运动特征等将图像分割成若干特定的区域, 使同一区域的像素满足同一性质。图像的分割方法很多, 有基于区域、基于边缘以及基于模糊技术的图像分割法^[6]。本文基于区域的分割方法, 采用全局自适应阈值分割法, 对不同的区域自动调整阈值。图 1 为固体火箭发动机排气羽焰(其中图 1a 为原始图像, 图 1b 为图像分割后的效果图)。通过图像分割, 得到了较为清晰的火焰轮廓, 初步确定了推进剂火焰的形状以及位置。

收稿日期: 2006-07-06; 修回日期: 2006-10-11

作者简介: 张硕(1983-), 男, 博士, 主要从事固体火箭发动机排气羽焰测试及对制导信号衰减预估的研究。

e-mail: zsfalcon@vip.sina.com

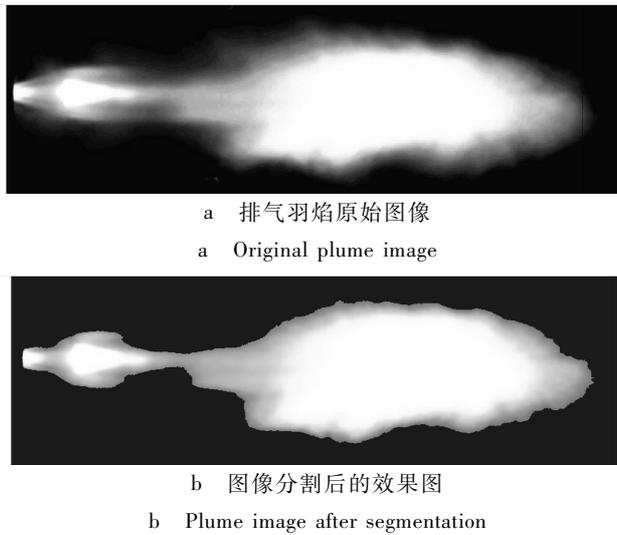


图 1 固体火箭发动机排气羽焰图像分割

Fig. 1 Segmentation of plume image of SRM ground experiment

4 固体推进剂发动机排气羽焰图像轮廓的提取

边缘检测与轮廓提取算法是以原始图像为基础,对图像中的每一个像素,分别考察它的邻域内灰度的变化情况,利用边缘邻域的一阶或二阶方向导数变化规律来检测边缘^[4]。例如,Roberts 算子即是一种利用局部差分算子来寻找边缘的算子,它在邻域(见图 2a 的模版)上计算对角导数。

$$g(x,y) = |f(x,y) - f(x+1,y+1)| + |f(x,y+1) - f(x+1,y)| \quad (1)$$

式中, $g(x,y)$ 为 Roberts 交叉算子, $f(x,y)$ 为平面图像连续函数。



a Roberts 边缘检测算子的模板
a Roberts operator model

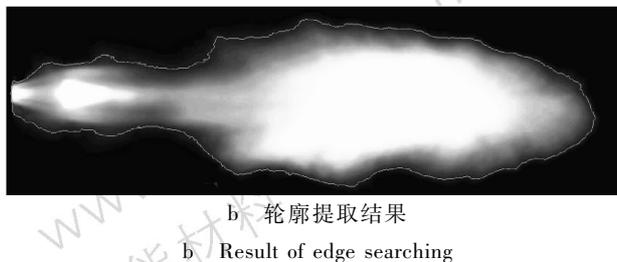


图 2 Roberts 算子模板及边缘提取结果

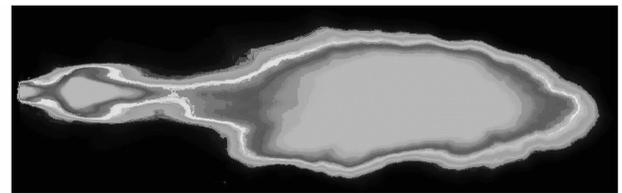
Fig. 2 Roberts operator model and result of edge searching

由图 2a 所示的两个模板对图像分别进行卷积运算后,再由式(1)求出图像的梯度幅值,然后取阈值,

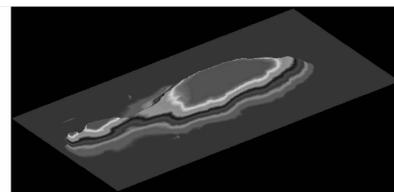
判断是否大于此阈值:大于此阈值则判定此点为边缘点,否则判别为非边缘点^[7]。如此对图像上所有像素进行处理,火焰轮廓提取结果如图 2b 所示。

5 固体推进剂发动机排气羽焰图像增强

伪彩色增强是将一个波段或单一的黑白图像变换为彩色图像,从而把人眼不能区分的微小的灰度差别显示为明显的色彩差异,以便解译和提取有用信息。伪彩色增强的方法主要有以下三种:①密度分割法;②空间域灰度级-彩色变换;③频率域伪彩色增强。采用伪彩色对火焰温度场的识别远高于真彩色。而表面拓扑方法,是对图像中不同亮度的区域按照不同的高度以不同的等级梯度显示,类似于 GIS 系统中的拓扑结构一样,这种方法不但显示直观,而且易于理解。对于固体推进剂发动机排气羽焰图像,较为简单的密度分割方法就可以得到较为满意的结果。通过伪彩色显示及表面拓扑显示,可以很清晰地看到火焰稳定、临界、熄火以及故障区域的位置与分布,为火焰的分析与处理,如故障区域的提取,温度的分布情况,温度较高区域(二次燃烧)的判断,有着重要的意义。固体火箭发动机排气羽焰伪彩色图像增强显示结果如图 3a 所示,更好地体现了火焰的不对称性。表面拓扑显示结果如图 3b 所示。



a 伪彩色增强显示
a Pseudo color intention display



b 火焰表面拓扑显示
b Flame surface topology display

图 3 固体推进剂发动机排气羽焰伪彩色增强及表面拓扑显示结果

Fig. 3 Pseudo color intention and flame surface topology display of solid propellant

6 固体推进剂发动机排气羽焰图像的参数计算

固体推进剂发动机排气火焰的主要计算参数有:

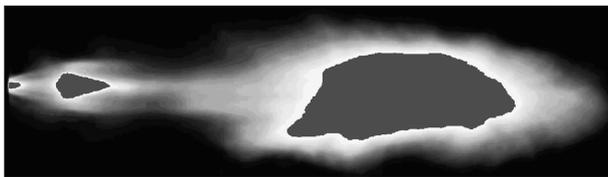
火焰量值, 像素长宽比, 均值对比度, 亮度最大的像素点, 对比度, 推进剂火焰区域各像素点亮度与火焰总体像素点亮度平均值的均值差, 标准偏差, 最亮像素点数与目标总像素点数的比值以及紧凑度。

针对不同的火焰参数, 开发了相应的计算模块, 该模块可快捷方便地计算火焰的亮度分布及各参数值, 为火焰的故障检测、辐射区域判断和辐射强度分析提供保证。

通过区域扫描方法, 即通过对固体推进剂发动机排气羽焰图像的纵向和横向扫描计算得到与火焰相切的最小图像区域, 并在此基础上可以计算火焰的长度、宽度及火焰的周长、面积等其它参数。对裁切后的图像进行灰度变换, 用于最大亮度点的捕捉。区域裁切及灰度变换结果如图 4a 所示。最大亮度点的显示可以用于分析温度最高区域的位置及范围, 对排气羽焰中第一马赫盘区域及可能发生二次燃烧的区域做出准确的判断。最大亮度点显示结果如图 4b 所示。



a 区域裁切及灰度变换结果
a Results of cut-out and gray transformation



b 最大亮度点显示结果
b Results of maximum luminance points display

图 4 固体火箭发动机排气羽焰图像裁切、灰度变换及最大亮度点显示结果

Fig. 4 Cut-out, gray transformation and display of maximum luminance points of flame image of solid rocket plume

为了更为清晰地显示全火焰域的亮度分布即温度分布情况, 软件中还开发了火焰量值分布饼图显示模块。在饼图的显示过程中, 要先通过全图像的亮度值,

判断出背景的亮度值, 本文中选用的背景亮度值是 5。滤除背景亮度区域, 则其它部分为火焰的亮度区域, 最后进行饼图显示, 显示结果如图 5 所示。排气羽焰各参数计算结果见表 1。

7 结 论

(1) 基于 VC + + .NET 开发环境及 GDI + 模块自行开发了红外目标识别系统。软件功能较为齐全, 几何变换、灰度变换、火焰亮度分布提取、边缘提取、图像增强等方法对固体推进剂发动机排气羽焰图像前处理及特征分析十分理想。

(2) 应用自适应阈值分割法对图像进行了分割, 得到了较好的固体推进剂发动机排气羽焰轮廓, 并分别应用密度分割法和表面拓扑法对火焰图像进行了增强; 应用 Roberts 算子方法对图像进行了边缘捕捉; 应用饼图等手段对排气羽焰的亮度分布进行了精确显示。

(3) 设计了排气羽焰的亮度分布及特征参数的计算方法, 并编制了软件模块, 计算得到了用于推进剂火焰特征分析的参数。本研究开发的数字图像处理技术, 也可推广应用于固体推进剂火焰等其它火焰的研究中。

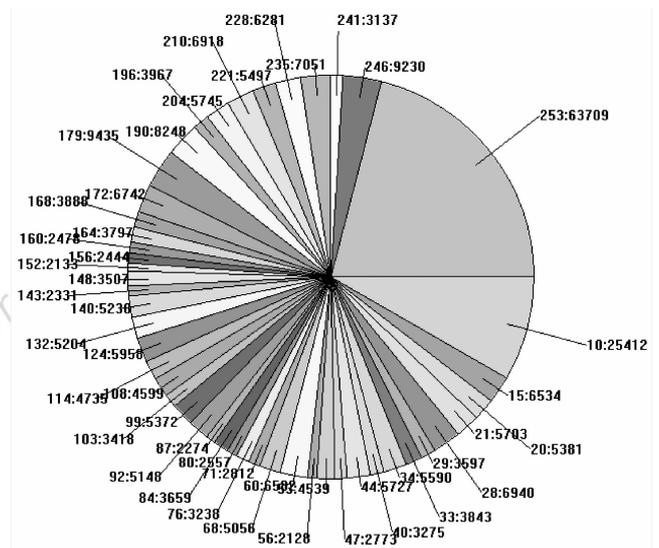


图 5 固体火箭发动机排气羽焰图像亮度分布饼图

Fig. 5 Luminance distribution of flame image of solid rocket plume

表 1 固体火箭发动机排气羽焰各参数的计算结果

Table 1 Calculation results of solid rocket plume parameters

parameters	complication	ratio of length to width	average contrast	contrast	compaction	residual daily mean value	standard deviation
results	0.0234	4.3641	23.8571	8.4333	0.5575	160.0000	78.5351

