

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.01.06

# 基于虚拟仪器的火焰尺寸测量系统设计

牛群峰, 陈生生, 王莉

(河南工业大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 针对可燃物燃烧过程中难以实时测量火焰尺寸的实际难题, 本文基于虚拟仪器平台开发实现了一种实时测量火焰尺寸的非接触测试系统。该系统采用 USB1080P 高清摄像头实时采集火焰图像, 对火焰图像进行目标区域划定及图像处理、边缘点检测。基于圆点基准图建立像素距离与实际尺寸关系, 实时获取火焰的真实尺寸。实验结果表明, 该系统具有快速实现对火焰尺寸的测量、图形化显示、数据存储, 实时观察火焰尺寸变化及 WEB 发布等功能。

**关键词:** 虚拟仪器; 火焰; 图像处理; 尺寸测量

**中图分类号:** TB22; TP39; TP751

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2016)01-0025-05

## Design of Flame Size Measurement System Based on Virtual Instrument

NIU Qunfeng, CHEN Shengsheng, WANG Li

(College of Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Aiming at the difficulties of real-time measurement of the actual size of the flame in fuel combustion process, a non-contact testing system was developed to achieve the real-time measurement of the flame size based on virtual instrument platform. The system uses a USB1080P HD camera to capture flame image in real time, set region of interesting for flame image, process the image and extract the edge of flame. The establishment of the relationship between actual size and pixels is based on the dot reference diagram, and the system can access the real size of the flame in real time. Experimental results show that the system can quickly realize the measurement of the flame size, graphical display, data storage, real-time observation of the flame size change, and WEB publishing.

**Key words:** virtual instrument; flame; image processing; size measurement

## 0 引言

国家对蜡烛、打火机等危险品燃烧时的火焰高度有着严格的要求, 产品出厂之后要进行火焰高度测量。此外, 火焰尺寸随时间变化情况是判断可燃物燃烧特性的重要指标之一, 在评定可燃物燃烧特性时需要知道火焰尺寸随时间变化情况, 这也对火焰尺寸测量提出了需求。传统的火焰测量方法依靠法, 有很大的局限性, 测量精度低, 测量过程费时费力又难以满足对火焰实时测量的要求<sup>[1]</sup>。现在主要通过基于光敏管设计的火焰检测器对火焰高度进行检测, 但检测器结构相对复杂, 对光照条件和测试环境要求较高, 并且光

敏管随着工作时间的增加其灵敏度和光敏特性也会发生变化。随着计算机技术的发展, 基于图像的测量技术得到了很广泛的应用, 特别是针对在一些不方便或者无法直接测量的对象, 基于图像的测量方法显示出很大的优势。

虚拟仪器采用可视化的图形语言, 功能强大并且灵活性高, 极大地方便了用户操作, 减少了任务复杂性, 大大缩短了开发周期。因此, 本文基于虚拟仪器和图像处理技术设计了一种火焰尺寸测量系统, 解决了实时精确测量火焰尺寸的难题。

## 1 测量系统组成及原理

测量系统主要由摄像头和计算机及虚拟仪器软件平台组成, 系统框图如图 1 所示。

其中, 摄像头为奥尼剑影高清摄像头, 硬件像素 1920×1280, 支持高清 1080P 拍摄, 最大传输速率 30 帧/s。计算机为联想 ThinkPad E50。虚拟仪器软件平台

收稿日期: 2015-12-17; 修回日期: 2015-12-25

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金资助项目(14B460026)

作者简介: 牛群峰(1974-), 男, 博士, 硕士生导师, 研究方向为检测技术与工业自动化; 陈生生(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为检测技术与自动化装置、测控技术。

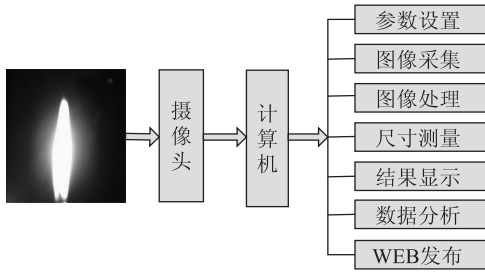


图1 火焰尺寸测量系统框图

及工具: Labview2013 中文开发环境、视觉采集模块 VAS2013、视觉开发模块 VDM2013。

摄像头实时采集火焰图像, 图像经过 USB 接口传送给计算机, 在计算机上完成参数设置、图像采集和处理、尺寸测量、结果显示等功能, 经过虚拟仪器软件分析和处理, 实现实时测量火焰尺寸并 WEB 发布。

火焰尺寸测量原理: 经过数字图像处理把图像转化为灰度图像, 根据火焰和背景的灰度值之间的明显差别可以成功提取出火焰图像<sup>[2]</sup>。经过形态学处理并通过边缘检测算法获取图像边缘轮廓, 获得火焰图像水平和垂直方向上的像素尺寸, 根据由基准图确立的像素尺寸与实际距离的关系计算出火焰真实尺寸。

## 2 软件设计流程

系统程序设计流程图如图 2 所示。

经过初始化, 加载一些设置好的参数, 完成硬件连接和配置, 测试之前先抓拍校准图, 确立基准信息即像素尺寸和真实尺寸的关系, 完成这些之后重新初始化, 开始后续图像处理、尺寸测量、数据存储等步骤。

## 3 火焰图像处理

采集的彩色火焰首先经过灰度变换转化为灰度图像, 图像尺寸为  $1920 \times 1280$ , 其中火焰在整幅图像中所占比例很小, 利用 IMAQ vision 中的算子划定合适的目标区域, 目标区域的划定要根据实际情况而定, 但是要保证火焰一直处于目标区域内。图像经过初步处理之后只保留了对我们有用的部分, 同时并不改变整幅图像尺寸大小, 这样做不但提取了有用的图像信息, 只对目标区域内的部分进行后续处理, 大大缩短了图像处理的时间, 图 3 展示了目标区域前后的变化。

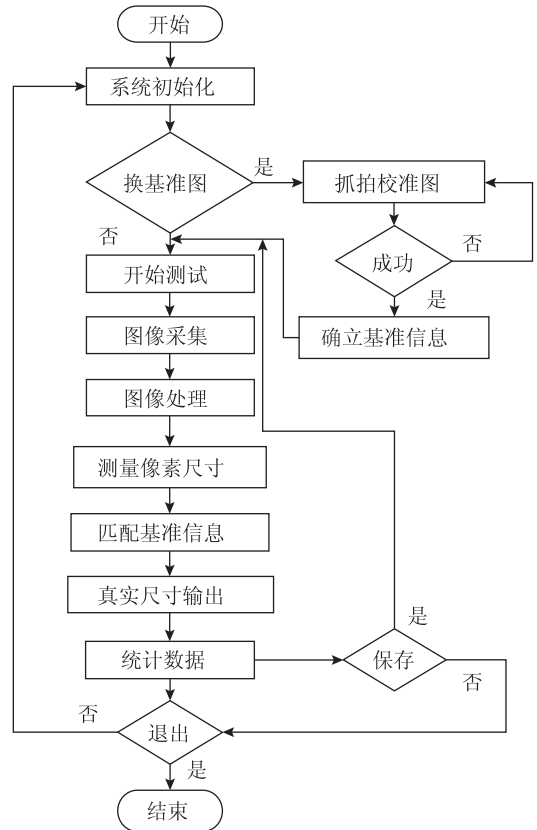
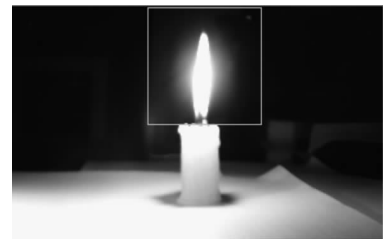
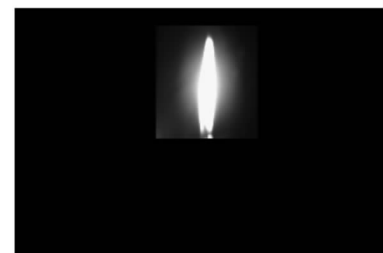


图2 程序流程图



(a) 原始图像的灰度图像



(b) 划定目标区域后

图3 划定目标区域效果图

### 3.1 滤波

图像在采集和传输过程中包含了很多噪声, 噪声对图像的成像质量会产生很大影响, 最终引起测量结果的不准确<sup>[3]</sup>。常用的滤波方法是均值滤波和中值滤波算法。均值滤波算法能有效抑制噪声干扰, 但会使

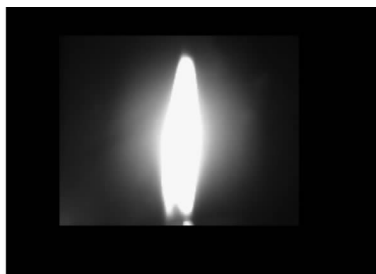
得边缘尖锐不连续的部分变得模糊。中值滤波算法最大的优点在于不仅对脉冲干扰和点状噪声有很好的滤除作用,同时一定程度上减少边缘信息的损失,图像的细节清晰<sup>[4]</sup>。系统对火焰边缘信息要求较高,中值滤波算法非常适合系统的需要。

中值滤波算法原理<sup>[5]</sup>:中值滤波器是一个包含奇数个点的滑动窗口,把窗口正中间的值定为该点的像素值。假设原始图像在 $(x, y)$ 处灰度值为 $M(x, y)$ ,经过中值滤波之后的灰度值为 $N(x, y)$ ,则有

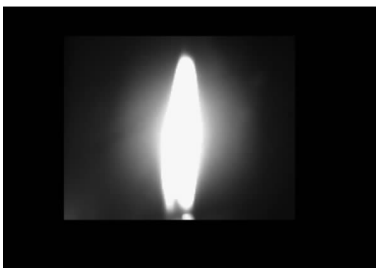
$$N(x, y) = \text{median}\{M(x-k, y-l), k, l \in W\}$$

式中: $W$ 是选定的窗口大小的值。

例如:一维序列 $\{7, 3, 9, 5, 1\}$ ,经过重新排序之后为新的序列 $\{1, 3, 5, 7, 9\}$ , $\text{median}\{1, 3, 5, 7, 9\} = 5$ ,即经过滤波之后该点的灰度值为5。对于二维图像,则使用二维的中值滤波窗口中必须保证有奇数个像素,常见的一般为 $3 \times 3$ , $5 \times 5$ 窗口,一般为矩形、十字形等。通常模板越大,计算时间越长,在达到预期滤波效果的情况下,模板越小越好。本系统采用的是 $3 \times 3$ 模板。滤波效果如图4所示。



(a) 滤波前



(b) 滤波后

图4 滤波前后图像对比

### 3.2 阈值分割

经过滤波去噪之后的图像是灰度图像,各个像素点灰度值为 $0 \sim 255$ ,要想获取目标火焰图像,需要把灰度图像做二值化处理,采用双峰法<sup>[6]</sup>设定合适的阈值,从而确定图像中哪些部分是火焰部分,哪些是背

景。设有灰度图像 $f(x, y)$ ,阈值为 $T$ ,分割后的图像为 $g(x, y)$ ,则有

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & (\text{目标})f(x, y) \geq T \\ 0 & (\text{背景})f(x, y) < T \end{cases} \quad (1)$$

因为火焰图像和背景有着明显的亮度区别,灰度分布相对较为明显,系统在双峰法的基础上确定阈值,来提取火焰图像。双峰法原理:图像中目标和背景有着明显的灰度差异时,图像的灰度直方图会出现明显的双峰特性,在两峰之间的波谷处取阈值可以很好地提取目标灰度图像。火焰图像灰度直方图如图5所示,经过阈值分割后的图像如图6所示。

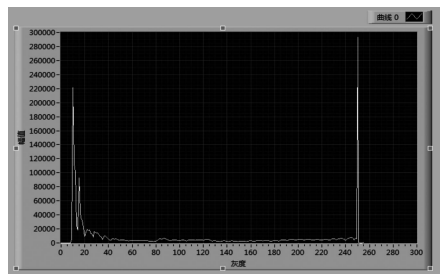


图5 火焰图像灰度直方图

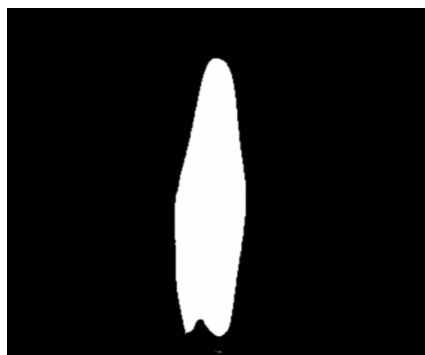


图6 阈值分割后的火焰图像

由直方图上可以看出,目标火焰和背景之间的区分度很明显,基于此图,取阈值为242。

### 3.3 形态学处理

形态学<sup>[7]</sup>处理指的是腐蚀和膨胀算法。简单来说,腐蚀就是用一个结构元素和图像进行比较,用结构元素中的每一个元素和结构元素覆盖的目标图像进行与运算,如果都为1,则该像素值为1,否则为0。膨胀同样也是进行与操作,如果结果都为0,则该像素为0,否则为1。腐蚀的作用是消除边不连续的噪声点,缩小目标,膨胀是将和背景接触的背景点与目标合并,在消除空洞方面有着很好的效果。

### 3.4 边缘检测算法

数字图像边缘灰度值有明显的不连续性,并且像

素灰度有明显的方向性，边缘检测算子检测图像像素点邻域，检测灰度变化并进行量化，从而达到边缘检测的目的。常用的边缘点检测算子有 Robert, Sobel, Prewitt, canny 算子等，每个算子都有不同的特点<sup>[8]</sup>。Canny 边缘检测算子<sup>[9-10]</sup>基于最优化解算子的检测算子，精度和信噪比都比较高，在检测较细边缘信息时有一定优势，边缘连续性较好。图 7 为 Canny 算子提取的结果。

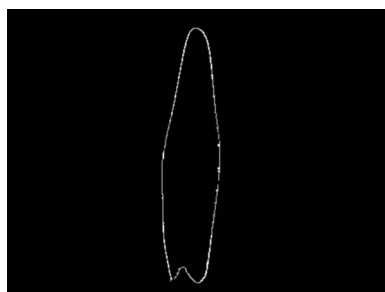


图 7 火焰边缘轮廓

### 4 建立像素点与实际尺寸关系

要想得到火焰真实尺寸，就要知道像素点个数与实际尺寸的关系。系统初始化之后，首先拍摄一张圆点基准图，对基准图进行处理，确立像素点和真实距离之间的关系。然后在同一距离拍摄火焰图像即可。设圆点基准图在长度为  $L$  mm 的距离上所占像素点个数为  $n$ ，那么每一个像素点所代表的真实尺寸就是  $L/n$  mm，如果火焰图像某一方向所占像素点个数为  $k$  个像素点，那么火焰真实尺寸  $y = k \times L/n$  mm。基准图是由一系列圆点方阵构成，两个圆点中心之间距离为 10 mm，图 8 为圆点基准图。拍摄时保证圆点水平和垂直分布，圆点要覆盖摄像头视场圆点大小至少占据  $3 \times 3$  像素面积以便 IMAQ 函数能够过检测到。

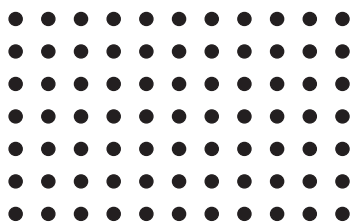


图 8 圆点基准图

### 5 测量系统界面及 WEB 发布

主界面显示了原始图像和经过处理之后的二值图像、图形化的火焰高度和宽度以及最大值统计结果，

并且具有状态指示、时间显示等功能。可通过 WEB 发布功能实现远程控制，即使远程计算机没有安装虚拟仪器软件也能通过网络实现在线远程查看或操控。嵌入的方式发布 VI，则远程计算机可以通过请求控制权来实现远程操控。在浏览器中输入访问地址就能进入到 WEB 界面，以嵌入的方式发布 VI 的效果如图 9 所示，点击鼠标右键可进行相应操作。

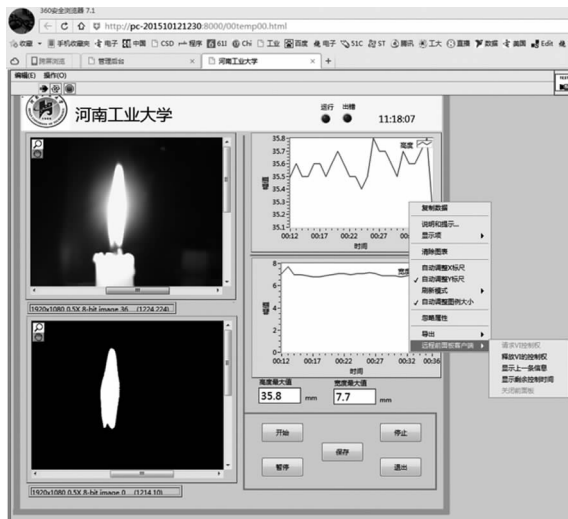


图 9 系统前面板 WEB 发布界面

### 6 实验及结果分析

实验中测试火焰尺寸时 10 mm 距离上占了 101 个像素点，每个像素点代表的实际距离  $L/n$  约为 0.1 mm。通过虚拟仪器中的算子检测到火焰图像水平和垂直方向上 4 个边缘点的坐标  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ ,  $(x_4, y_4)$ ，火焰高度为  $0.99(y_2 - y_1)$  mm，宽度为  $0.99(x_4 - x_3)$  mm。从结果中可以得到火焰燃烧时高度和宽度的最大值信息以及火焰燃烧时的实时情况，不但获取了火焰尺寸，还能观察到火焰燃烧时的波动情况，为分析火焰燃烧特性提供直观的数据支持。

为了进一步检验系统测试的精度，首先制作做几个遮光板，遮光板覆盖一层吸光布来减少反光造成的干扰。把遮光板置于火焰前方，调整好遮光板位置，使得火焰垂直方向能够完全覆盖圆孔孔径，摄像只能测量这段，这样就相当于截取了一段已知真实尺寸的火焰，与通过火焰测量系统测量这段的火焰测量值进行对比就能得到测量系统的误差。实验中设置 5 组孔径，每组测试值结果为测量 20 次的平均值。具体实验数据如表 1 所示。

表1 火焰测量实验数据 mm

孔径	测量值	误差
12.0	11.6	0.4
15.0	14.7	0.3
18.0	17.7	0.3
22.0	21.6	0.4
25.0	24.7	0.3

从实验结果中可以看到,测量系统较为稳定,实际的测量误差在0.4 mm以内。国家对蜡烛、打火机等规定的火焰高度范围用毫米表示<sup>[11-12]</sup>,所以我们将误差也定位在毫米级别,此次设计要求测量误差在1 mm以内,可见0.4 mm的误差满足设计要求。

经过分析,误差来源主要有:摄像头镜头会产生一定的畸变和硬件分辨率不足;去噪算法不能完全滤除噪声干扰;实验环境不够理想,有杂光干扰;系统安装过程和拍摄基准图过程中的偏差造成的系统误差等。以后的研究除了采用像素更高的摄像头进行实验外,重点应当放在图像处理算法以及完善实验条件等方面。

## 7 结论

通过摄像头采集火焰实时图像,利用虚拟仪器软件平台、IMAQ vision 进行图像处理、阈值分割、形态学处理、边缘检测,尺寸测量,实时测量和显示火焰尺寸信息,这种测量火焰尺寸的方法有很好的应用和研究前景,可用于对蜡烛火焰、打火机火焰以及可燃物燃烧特性分析等方面进行火焰尺寸精确测量。系统具有参数设置、图形化显示、状态提示、WEB 发布、数据存储等功能。实验结果显示,系统测量精度较高,

工作性能稳定,基于 Labview 的测试程序修改方便,可根据后续的研究需要,快速的完成程序编写和功能完善,方便后续的研究工作。

## 参考文献

- [1] 巨新刚,倪晋平.火焰长度的图像测量方法研究[J].应用光学,2006,27(6):524-527.
- [2] 毛翠丽,马卫红,孟立庄,等.基于数字图像处理的火焰长度计算方法[J].光学仪器,2007,29(1):27-31.
- [3] Oten R, de Figueiredo R J P. Adaptive alpha-trimmed mean filters under deviations from assumed noise model [J]. IEEE Transactions on image processing, 2004, 13(5): 627-639.
- [4] 高世平.基于机器视觉的双联齿轮尺寸精密测试系统[D].广州:广东工业大学,2013.
- [5] 曹静娴,顾国华,隋修宝,等.一种中值与邻域比较的滤波算法及硬件实现[J].激光与红外,2011,41(6):644-648.
- [6] 杨修国.图像阈值分割方法研究与分析[D].上海:华东师范大学,2009.
- [7] 范壮.机械零件尺寸视觉检测系统的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- [8] 石冬晨.基于虚拟仪器的几何尺寸非接触测量技术研究[D].西安:西安工业大学,2010.
- [9] 全太锋,牟颖.基于小波去噪的改进型 Canny 边缘检测法[J].四川大学学报(自然科学版),2008,45(6):1387-1389.
- [10] 梅跃松,杨树兴,莫波.基于 Canny 算子的改进的图像边缘检测方法[J].激光与红外,2006,36(8):501-505.
- [11] 国家发展和改革委员会. QB/T2119-2007 普通蜡烛[S].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB25722-2010 打火机安全与质量[S].北京:中国标准出版社,2010.

## 新书《聚焦超级核能》锁定核辐射及其计量

本刊讯:2011年3月11日,日本大地震、海啸引发的核泄漏事件吸引了全世界对核安全的关注,人们不得不再次对核能的研发和利用进行全面的思考。为了让更多的读者了解核方面的知识和发展现状,了解核辐射的来源、特点、危害和防护,作者容超凡(国防科技工业电离辐射一级计量站原副站长)历时两年编著了《聚焦超级核能》一书,现已由北京出版社出版,全国新华书店经销。此书是北京市科技协会组织编写的系列科普丛书“科学家在做什么”中的一个分册,全书共4章,其中第3章详细介绍了核辐射的准确测量问题,从核辐射测量什么、核辐射与物质的相互作用、测量所用设备、测量仪器的检定和校准、测量结果的准确表述等方面做了通俗易懂的讲解,阅读这本书,对于从事计量测试技术的科研人员定能有所收获。

