

基于 LabVIEW 的比色温度测量的实现^①

冯 驰¹, 高晓成¹, 陈瑞斌²

¹(哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001)

²(中国船舶重工集团公司 第 703 研究所, 哈尔滨 150036)

摘要: 传统的测温方法不能对高温物体进行测量, 但是不同温度下物体的热辐射特性不一样, 因此可以根据测量辐射光线来计算物体的温度。比色测温通过两个不同波长光的辐射强度来计算物体的温度, 减小了发射率以及信号传输等因素造成的误差。采用虚拟仪器技术开发测量系统可以大大缩减开发周期, 同时也可以提供良好的人机交互界面。在虚拟仪器技术平台上开发的比色测温系统不仅能对温度实行实时监控, 还能够通过以太网接口接入网络, 传输温度数据和控制信号。

关键词: 热辐射; 比色测温; 虚拟仪器; LabVIEW; 曲线拟合

Realization of Colorimetric Temperature Measurement Based on LabVIEW

FENG Chi¹, GAO Xiao-Cheng¹, CHEN Rui-Bin²

¹(College of Information and Communications Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

²(No.703 Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Harbin 150036, China)

Abstract: The traditional temperature measurement methods are not suitable for high-temperature objects. However, objects at different temperature have different characteristics of thermal radiation, so it is a practical approach to calculate the temperature of the object according to the radiation light. The colorimetric temperature measurement is calculated by radiation intensity of two different wavelengths lights, and it reduces the errors which are created by the emission rate and signal transmission. It can greatly reduce the development cycle and provide a good interactive interface by using the virtual instrument for development of measurement system. The colorimetric temperature measurement which is developed on the virtual instrument technology platform not only implement real-time monitoring of temperature, but also transfer temperature data and control signals by accessing network via Ethernet interface.

Keywords: thermal radiation; colorimetric temperature measurement; virtual instrument; LabVIEW; curve fitting

随着科技的发展, 越来越多的生产, 实验过程都需要在很高的温度下进行, 而且温度的趋势是越来越高。温度的精确测量以及控制成为制约技术发展的关键因素之一, 它不仅决定生产的安全性, 还决定了产品的质量。采用美国 NI 公司的虚拟仪器技术, 根据比色测温原理, 使用 LabVIEW 语言设计一个实时温度测量系统, 这个系统具有良好的稳定性, 可靠性, 可移植性以及可扩展性等, 而且可以自定义用户界面。

1 比色测温原理

根据热辐射现象可知, 任何物体只要其温度在绝

对零度以上, 它就会向外辐射一定能量的电磁波。辐射电磁波的波长包括红外区、可见光区和紫外区。当物体的温度较低时, 物体辐射的大部分能量在红外区, 随着温度的升高, 辐射波长逐渐减小, 移向可见光区和紫外区^[1]。

根据普朗克定律可知, 单位面积的绝对黑体在温度为 T 时在半球面上辐射波长为 λ 时的辐射出射度为^[2]:

$$M_0(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (1)$$

式中, T 为绝对温度; C_1 为第一辐射常数, 值

① 收稿时间:2010-06-10;收到修改稿时间:2010-07-13

为 $3.7418 \times 10^{-16} \text{W} \cdot \text{m}^2$; C_2 为第二辐射常数, 值为 $1.4388 \times 10^{-2} \text{m} \cdot \text{K}$ 。

当黑体的温度小于 3000K 时, 并且选取的辐射波长 λ 小于峰值波长 λ_m 时, 根据普朗克定律, 黑体的光谱辐射亮度可以近似的表示为:

$$L_0(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T}\right) \quad (2)$$

选取两个波长 λ_1 和 λ_2 , 根据维恩位移定律可得:

$$\frac{L(\lambda_1, T)}{L(\lambda_2, T)} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{-5} \exp\left[\frac{C_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)\right] \quad (3)$$

将式(3)整理可得:

$$T_c = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)}{\ln A + 5 \ln \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad (4)$$

式中, A 为波长 λ_1 和 λ_2 分别对应的辐射亮度的比值, T_c 为黑体的比色温度。

根据文献[3], 比色测温原理测得的比色温度 T_c 与物体的真实温度 T 之间的误差如式(5)所示, $\varepsilon(\lambda, T)$ 为物体在温度为 T 时, 波长为 λ 的光谱发射率。由此可见, 为了尽量减小

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_c} = \frac{\ln \frac{\varepsilon(\lambda_1, T)}{\varepsilon(\lambda_2, T)}}{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)} \quad (5)$$

误差, 应该使物体在波长 λ_1 和 λ_2 的光谱发射率尽量相等, 这就要求所选的两个波长应尽量接近, 这样就可以近似的认为比色温度和物体真实温度相等。

2 数据的采集、处理及显示

2.1 数据采集硬件环境

温度测量系统的结构框图如图 1 所示, 采用光纤探头作为传感器, 将测温现场的辐射光线吸收并通过光纤进行传输。光纤末端接上 Y 型耦合器, 将传输的光信号分成两路, 并且每一路都有一个窄带干涉滤光片, 这样就可以近似得到两路不同波长的光信号。然后再将光信号进行光电转换, 并进行一定的信号调理操作(例如放大, 滤波等)使信号便于后续的采集、处理、分析。

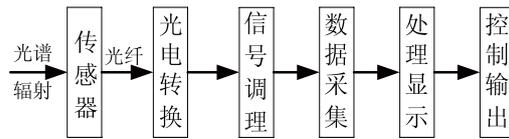


图 1 温度采集系统框图

数据采集卡对调理之后的信号进行采集, 该系统采用美国国家仪器(NI)公司的 PXI-6123 数据采集卡。PXI-6123 数据采集卡具有全差分的 8 通道同步采样输入功能, 每通道最大采样率为 500kS/s, 采样精度为 16bits, 两个 24 位最大运行频率为 20MHz 的定时器, 8 位可硬件定时的最大通信速率为 10MHz 的双向数字 I/O 接口, 64MB 的存储空间。PXI-6123 数据采集卡能够测量电压、频率、数字信号以及计算正交编码, 因此它能够用于高速连续的数据采集和存储, 瞬态测量以及雷达、声纳、超声、高能物理等领域。

2.2 测温系统软件设计

温度测量系统软件采用 LabVIEW 语言编写。LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)的全称是实验室虚拟仪器集成环境, 它是一种图形化语言, 采用图形模块构成的结构框图构建程序代码。LabVIEW 结合了图形化编程方式的高性能和灵活性, 使测试、测量与自动化控制应用设计具有更高的性能; 增强了构建科学和工程系统的能力, 提供了实现仪器编程和数据采集系统的便捷方式, 因此被广泛的应用于航空航天、交通运输、电信、实验室等^[4]。

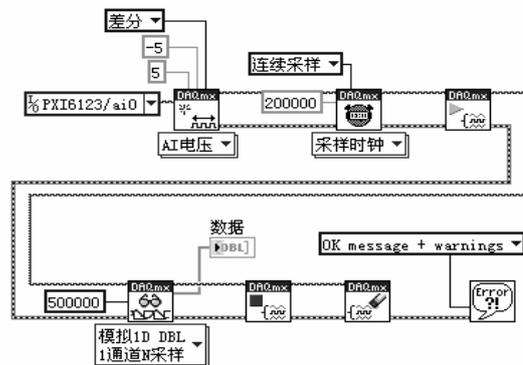


图 2 数据采集卡配置程序

采用数据采集卡对温度信号进行采集, 采集信号前必须先对数据采集卡进行驱动, 并且在 Measurement

& Automation Explorer 中对相应的设备进行设置, 然后在程序面板调用 DAQ 基本函数进行数据的采集, 具体的程序如图 2 所示。

在 DAQmx 创建通道函数中需要确定的参数包括物理通道端口, 输入的电压范围, 输入接线端的配置方式, 模拟输入信号的类型等。程序调用了定时采样函数, 可以根据实际的需要给出触发信号对信号进行采样, 同时设置通道采样模式和采样率等参数。DAQmx 读取函数需要配置缓存大小, 缓存的设置需要根据实际情况决定, 当程序为连续采样时需要设置合适的缓存空间, 否则会造成数据的覆盖, 读取采样数据无效。采集的数据通过数组的形式输出, 如果是多通道采样, 输出的将是多维数组。

经过数据采集卡获得的数据具有一定的噪声和误差, 所以需对采集的数据进行滤波处理。LabVIEW 提供多种滤波函数, 包括 Butterworth 滤波器, Chebyshev 滤波器, 椭圆滤波器, 贝塞尔滤波器等, 该系统采用 Butterworth 滤波器, 需要设置滤波器类型, 截止频率, 滤波器阶数等参数。由于物体的温度变化相对比较缓慢, 所以采用低通滤波器, 滤波器的截止频率根据具体的温度变化情况来确定。滤波程序如图 3 所示, 滤波前后数据对比如图 4 所示。

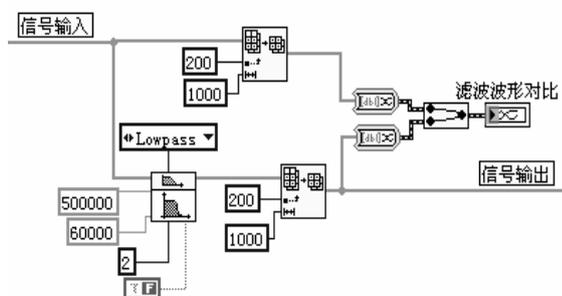


图 3 Butterworth 滤波程序

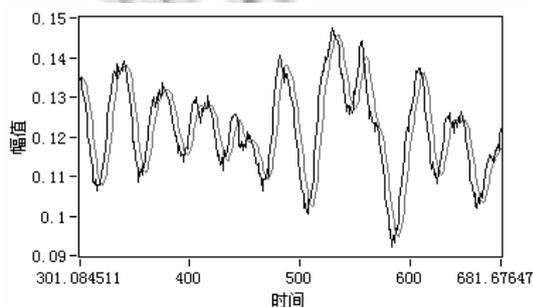
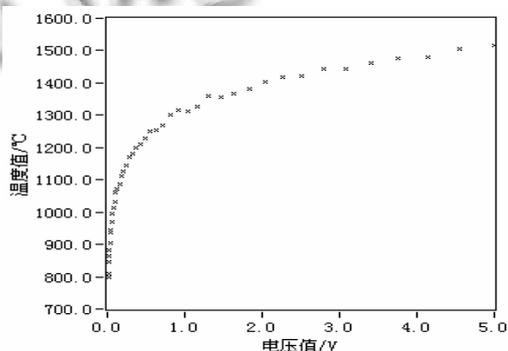
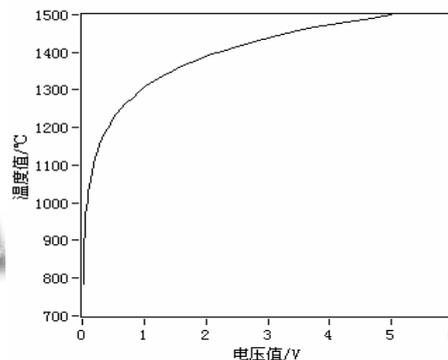


图 4 滤波前后的数据对比

处理后的数据是电压信号, 需要温度标定把它转换成相应的温度值。温度的标定首先需要精确的温度测量设备, 在已知温度的情况下, 测量物体辐射强度并转换成电信号, 将测得的值与温度值一一对应并记录, 这样可以记录下 N 组数据。将所测得的数据拟合成一条曲线, 然后再根据这条拟合的曲线将测得电压转换为温度值。LabVIEW 提供多种拟合方式, 包括线性拟合, 指数拟合, 三次样条拟合等等。系统采用广义多项式拟合, 需要设置多项式阶数, 最佳拟合算法, 观测点的权重系数等等, 拟合后函数将给出多项式系数, 方差等参数。根据测试点拟合的效果图如图 5 所示。



(a) 样本数据



(b) 拟合曲线效果图

图 5 电压-温度实验数据曲线拟合

2.3 比色测温的实现

单色测温需要矫正发射率, 而物体的发射率与材质, 温度以及波长等都有关系, 所以矫正发射率是比较困难的事情。同时由于现场辐射光的散射, 传感器对光的吸收损耗以及光路的传输损耗等等都会影响单色测温的精度。

比色测温是将两路信号的强度做比值, 因此辐射光的散射以及传输损耗等都可以消除掉, 唯一需要注意的

是尽量保证所选择的两个波长的光的发射率相等，根据式(5)可知，这样能最大限度的消除误差。标定方法是根据电压信号的比值和温度值拟合的曲线来实现的。

实验时选取波长分别为 800nm 和 900nm 的辐射光，分别测得两辐射光强度对应的电压值，并通过计算和标定得到相应的比色温度，实验数据如表 1 所示，其中电压值 V1 对应于波长为 800nm 的辐射光，电压值 V2 对应于波长为 900nm 的辐射光。通过表 1 可看出，测温的精度可以达到 $\pm 7^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 比色测温数据，温度单位 $^{\circ}\text{C}$ ，电压单位 mV

真实温度 T	电压值 V1	电压值 V2	色温 T_c
800	67.32	44.66	796
900	98.81	53.87	898
1000	154.73	79.13	1005
1100	217.59	96.34	1107
1200	581.13	227.46	1194
1300	883.33	311.82	1299
1400	1131.04	368.87	1404
1500	1316.57	391.06	1507

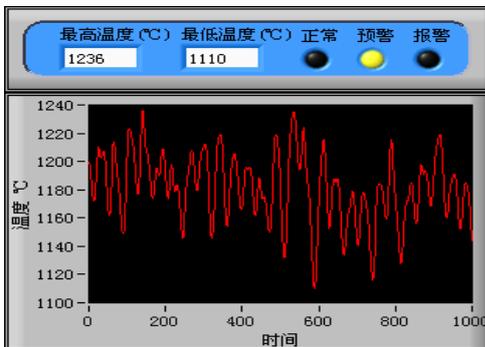


图 6 比色测温系统界面

该系统在实时测温的同时还不停的监测并记录物体出现过的最高温度和最低温度，这样可以更好的检测物体的状态，同时系统还具有预警和报警功能。当物体的温度超出正常的范围但在允许温度范围内时，系统将给出预警信号；当温度超过允许范围时，系统直接报警。该系统的用户界面如图 6 所示。

3 结束语

在虚拟仪器技术平台上开发测量系统可以方便，直观的实现用户需要的功能，因为 LabVIEW 语言是图形化的高级语言，并且 LabVIEW 程序执行效率和文本语言编写的程序执行效率相差无几。通过实验证明，比色测温精度高，而且成本低，实现方便。在单色测温的基础上稍加改进即可实现比色测温，进而降低了系统升级的成本，同时提高了系统的性能。比色测温适用于高温高压的恶劣工作现场，因此在工业生产、航空、航天等领域具有很大的实用价值。

参考文献

- 1 周涛. 光纤高温测量研究[硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
- 2 雍占锋. 基于图像处理的火焰检测与燃烧诊断技术[硕士学位论文]. 北京: 北京化工大学, 2007.
- 3 王玉田, 史锦珊, 王莉田. 新型比色式光纤温度测量仪的研究. 电子测量与仪器学报, 1993: 1-3.
- 4 王磊, 陶梅. 精通 LabVIEW 8.0. 北京: 电子工业出版社, 2007: 56-118.