

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.04.04

基于 LabVIEW 实现固定发射率辐射 温度计校准的温度修正

徐含青, 郭智伟, 韦维

(苏州市计量测试研究所 温度检测室, 江苏 苏州 215128)

摘要: 在辐射温度计检定中, 根据规程要求, 需要将辐射温度计的发射率设置为 1, 而在实际校准辐射温度计的过程中发现大量发射率固定且不为 1 的情况, 同样有用户要求校准后给出不同发射率下的辐射温度计修正值, 为实现宽波段任意固定发射率辐射温度计在校准过程中的修正值计算, 文章使用 LabVIEW 的两分法迭代实现 Plank 公式的积分算法, 有效提高校准过程的自动化程度, 文章用实例说明了两分法与普通步进算法的效率区别, 从而高效的实现了任意波段、任意发射率、任意温度点的温度修正值计算。

关键词: 辐射温度计; 发射率; 修正; LabVIEW

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2016)04-0014-03

Realize Calibration Temperature Correction of Radiation Thermometers with Fixed Emissivity Based on LabVIEW

XU Hanqing, GUO Zhiwei, WEI Wei

(Suzhou Institute of Measurement and Testing Technology, Temperature Testing Laboratory, Suzhou 215128, China)

Abstract: In the process of radiation thermometer calibration, according to the verification regulation, the emissivity of radiation thermometer should be set to 1.00, while during the actual calibration process, the correction value of radiation thermometers with different emissivity values is required to give out by customers after the calibration and the emissivity is fixed and not equal to 1.00. In order to realize correction value calculation for wide range radiation thermometers with arbitrary fixed emissivity in the calibration process, the article uses LabVIEW dichotomy iterative to achieve the integral algorithm of the plank formula and improves the degree of automation in the process of calibration effectively. The article verifies the difference of efficiency between dichotomy and common stepping algorithm, so that the correction value calculation could be efficiently implemented in any band, any emissivity, and any temperature point.

Key words: radiation thermometer; emissivity; correction; LabVIEW

0 引言

在对辐射温度计检定中, 按照 JJG 856-2015《工作用辐射温度计检定规程》要求, 需要将辐射温度计发射率设置为 1, 从而匹配黑体辐射源的发射率。而在实际工作中发现, 各个厂家生产的辐射温度计区别很大, 存在大量辐射温度计发射率固定且不为 1 的情况, 同样有很多专业级的用户对不同材料的发射率研究后, 需要通过校准给出不同发射率下的辐射温度计修正值, 针对以上辐射温度计的校准来说, 如果不对辐射温度计发射率不为 1 的情况进行适当的修正, 得出的校准结果对用户来说没有实际的意义。

对于单波段辐射温度计与全辐射温度计来说, 修正过程比较简单, 本文不予讨论, 而对于宽波段的带通响应的辐射温度计, 如大气窗口 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 的固定发射率的辐射温度计修正过程情况较为复杂。

中国计量科学研究院原遵东老师等人通过研究计算, 使用中值定理, 提出了等效波长的概念来简化计算; 北京航天计量测试技术研究所王文革老师通过研究有效波长概念来简化计算。为解决宽波段带通响应, 固定发射率且不为 1 的辐射温度计修正值计算较为复杂的问题,

本文尝试使用虚拟仪器 LabVIEW 图形语言算法, 研究二分算法, 从而高效的实现宽波段带通响应的辐射温度计在任意波段、任意发射率、任意温度点的数

作者简介: 徐含青(1985-), 硕士, 工程师, 从事温湿度计量研究与管理。

据修正计算。

1 辐射测温原理

实际校准过程，采用理想的黑体辐射源作为标准，黑体辐射源发射率偏离 1 的情况本文不予讨论，根据 Plank 定理，辐射温度计的示值 T_{in} 与黑体温度 T_{bb} 的对应关系式为：

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon L_b(\lambda, T_{in}) d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - \varepsilon) L_b(\lambda, T_{am}) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_b(\lambda, T_{bb}) d\lambda \quad (1)$$

式中， λ_1 、 λ_2 为辐射温度计的波长下限值与上限值，辐射温度计发射率设定在 ε ，周围环境稳定时的温度为 T_{am} ，被检辐射温度计的显示值是 T_{in} ，黑体辐射源的温度示值是 T_{bb} ， $L_b(\lambda, T)$ 是温度等于 T 时的黑体光谱辐射亮度。

以上数学模型成立时，光谱响应假设为无选择性带通(矩形)光谱响应，即假设辐射温度计的光谱响应和透过率与 λ 无关。式(1)左边的第一个积分计算的是物体温度为 T_{in} ，发射率为 ε 时的物体热辐射，左边的第二个积分计算的是环境温度稳定在 T_{am} 时，反射率为 $(1 - \varepsilon)$ 的物体热辐射，式(1)左边两个积分之和计算的是环境温度稳定在 T_{am} 时，经过发射率为 ε 且温度为 T_{in} 物体发射出的热辐射量。此时，如果有一台没有示值误差的辐射温度计，将其发射率设为 ε ，该辐射温度计的示值即为被测物体的实际温度 T_{in} 。式(1)右边计算的是黑体辐射源温度为 T_{bb} 时的热辐射量。当等式成立时，可以表示环境温度稳定在 T_{am} 时，发射率为 ε 且温度为 T_{in} 物体和黑体辐射源温度为 T_{bb} ，用同一支辐射温度计测量结果相同。通过以上数学模型中各个量的分析可知，在实际校准中，发射率 ε 、黑体温度 T_{bb} 、环境温度 T_{am} 均已知，需要通过式(1)计算得到温度值 T_{in} 。

2 程序设计

LabVIEW 是美国 NI 公司提供的一款功能强大的图形化编程语言，利用 LabVIEW 提供的 G 语言我们进行了如下程序算法设计及实现过程。

由于对式(1)不能直接求导，而采用固定步长搜索求值的方法，虽然可行，但是计算量随着黑体温度 T_{bb} 与环境温度 T_{am} 相差越大，而急剧增加；因为光谱亮度函数是恒正单调函数，符合自然排序法则，所以本文采用固定步长与二分法查找相结合，快速搜索计算结果。

当黑体温度已知，若黑体温度 T_{bb} 低于环境温度 T_{am} 时，辐射温度计示值 T_{in} 应低于 T_{bb} ；若黑体温度 T_{bb} 高于环境温度 T_{am} ，则辐射温度计示值 T_{in} 应高于 T_{bb} ；本算法首先要确定 T_{in} 的上限值和下限值；以 $T_{bb} > T_{am}$ 为例，先确定目标值 $mPoint = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_b(\lambda, T_{bb}) d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - \varepsilon) L_b(\lambda, T_{am}) d\lambda$ ，令 $T_{bbL} = T_{bb}$ ， $B = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon L_b(\lambda, T_{in}) d\lambda$ ，然后计算 Δ 的值，其中 $\Delta = mPoint - B$ ；以 ΔT 为步长，令 $T_{in} = T_{bbL} + \Delta T$ ， $\Delta T = (T_{bb} - T_{am}) \times factor$ ， $factor$ 为步长系数，系数的大小，影响 T_{in} 的搜索范围和确定 T_{in} 范围所需要的计算次数，而使用二分法查找，搜索范围扩大 100 倍，平均搜索次数增加 $Log_2 100 / Log_2 N < 7$ (其中 $N > 2$)，几乎没有影响。由于辐射温度计显示误差一般不会超过 5%，所以本文选择 0.1 的搜索系数，基本可以一次确定搜索范围，向高温方向搜索计算，若 $\Delta > 0$ ，则 $T_{bbL} = T_{in}$ ，重复计算 Δ ；若 $\Delta < 0$ ，则 $T_{bbH} = T_{in}$ ，当 Δ 符号改变， T_{in} 范围确定，进入二分法查找子程序。

以黑体温度 $T_{bb} = 1200^\circ\text{C}$ ， $T_{in} = 1248.32^\circ\text{C}$ ，发射率 0.95，环境温度 20°C ，波长 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 为例，固定步长法需要 4831 次循环计算，而使用二分算法，只需要 1 次范围确定加上 14 次二分法搜索，共计 15 次循环计算，运算效率明显提高。且发射率越低、黑体温度与环境温度相差越大，本算法的优势就越明显。以下是程序运行流程图

3 结果验证

通过程序计算得到 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 、 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 的辐射温度计进行在固定发射率 0.95、0.7，环境温度为 20°C 下的结果如下，计算结果与国家计量院数据完全一致，且计算效率均为毫秒级：

表 1 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 固定发射率下示值 $^\circ\text{C}$

黑体温度 T_{bb}	发射率 0.95 辐射温度计示值 T_{in}	发射率 0.7 辐射温度计示值 T_{in}
-40	-45.09	-128.74
-20	-22.76	-46.63
0	-1.19	-10.14
60	61.80	74.03
100	103.26	125.15
200	206.59	250.70
400	413.64	506.28
800	830.05	1038.84
1200	1248.32	1587.66
1600	1667.54	2144.58

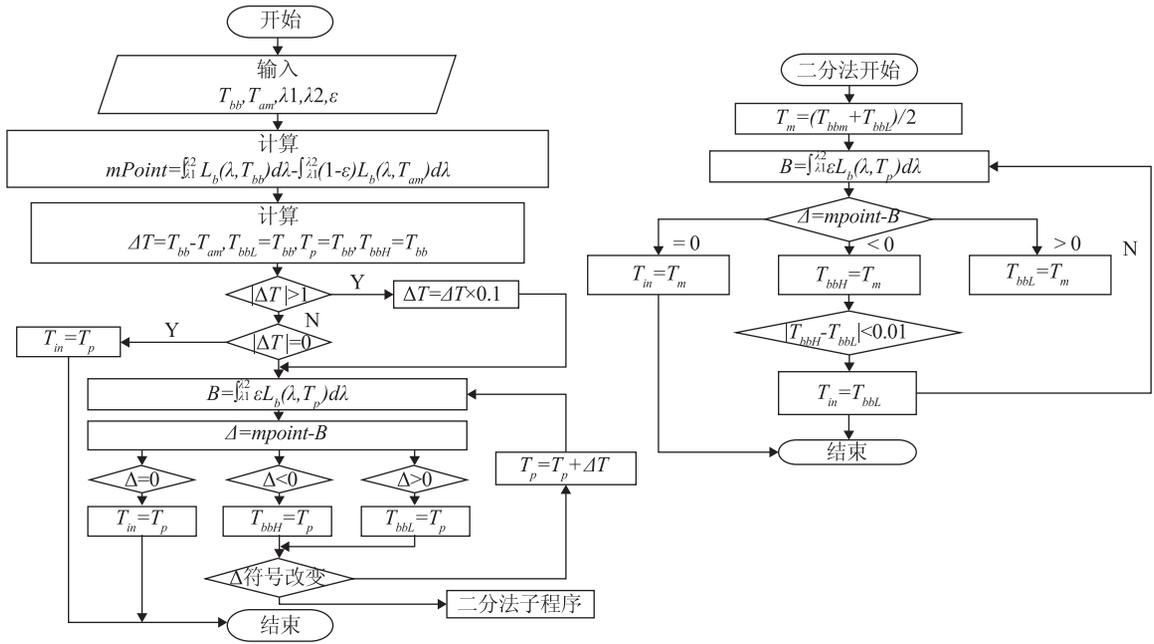


图1 程序设计流程图

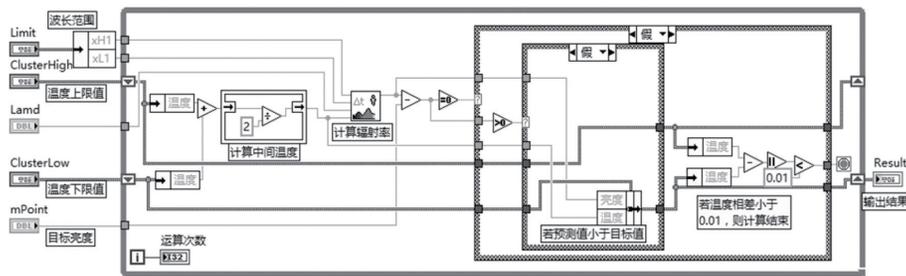


图2 G语言程序图

表2 3~5μm 固定发射率下示值 ℃

黑体温度 T_{bb}	发射率 0.95		发射率 0.7	
	辐射温度计示值 T_{in}		辐射温度计示值 T_{in}	
500	508.31		561.48	
800	815.30		915.36	
1000	1020.91		1159.26	
1200	1227.14		1408.58	
1500	1537.47		1791.01	
2000	2056.65		2445.60	
2500	2577.57		3115.32	
3000	3099.68		3795.34	

4 结束语

本文讨论了基于 LabVIEW 实现对宽波段带通光谱响应的辐射温度计在校准时如何进行由发射率偏差引起的温度修正值的计算方法。对于工作波段为 8~14μm、3~5μm 的辐射温度计进行在固定发射率 0.95、0.7 处进行修正计算,从而可以对任意波段、任意发射率、任意

温度点给出修正值,大大提高实际应用能力和效率,为计量校准及日常实际测量提供了有益探索。

参考文献

- [1] 原遵东, 段宇宁, 王铁军, 邢波. 发射率设定值不为 1 的辐射温度计的校准[J]. 计量技术, 2007(5): 43-46.
- [2] 原遵东. 辐射温度计的等效波长及其应用[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(2): 374-379.
- [3] 崔志尚. 温度计量与测试[M]. 北京: 中国计量出版社, 1998.
- [4] 张海涛. LabVIEW8.20 程序设计从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [5] 原遵东邢波, 柏成玉, 傅承玉, 陈桂生. 有效亮度温度测量中发射率影响的修正[J]. 计量学报, 2014, 35(6): 578-582.
- [6] 原遵东. 黑体辐射源发射率对辐射测温准确度的影响及修正方法[J]. 计量学报, 2007, 28(3A): 19-22.
- [7] 王文革. 固定发射率辐射温度计校准中的温度修正计算方法[J]. 宇航计测技术, 2006, 26(2): 17-23.