

文章编号: 0253-2239(2009)05-1281-04

红外 CCD 在线温度场测量误差分析

杨军伟 胡仲翔 时小军 钱耀川

(装甲兵工程学院装备再制造工程系, 北京 100072)

摘要 红外 CCD 是通过采集高于绝对零度物体发出红外线并转化为图像来进行在线温度场测量的, 得到的图像与物体的本身有一定的对应关系。由于受到很多干扰因素的影响, 得到的温度场信息并不完全准确。造成的误差有很多, 包括光学系统的误差、CCD 器件本身带来的误差, 还有就是红外辐射的干扰。对于前两者通过图像处理方法可以消除一部分误差, 而红外辐射的干扰随机性比较大, 利用一般的图像处理不能够完全解决。采用预埋热电偶的方法实时监测几个固定点的温度, 然后利用这几个点的温度与 CCD 测的温度相比较, 从而实时来校准系统的发射率。并利用修正后的系统发射率来计算被测物体的温度场分布, 为了防止温度只是由于突然改变的系统的发射率发生突变。由此设计了温度场实时校准数学模型和修正系统, 消除了部分温度场在线测量误差和突变, 实现了红外 CCD 在线温度场的准确测量。实验结果表明, 利用温度场实时修正系统来消除红外 CCD 温度场实时测量误差是可行的。

关键词 光学测量; 误差; 图像处理; 温度场; 红外 CCD

中图分类号 TP202.2 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092905.1281

Error Analysis of on-Line Temperature-Field Measurement by Infrared CCD

Yang Junwei Hu Zhongxiang Shi Xiaojun Qian Yaochuan

(Department of Equipment Remanufacture Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072 China)

Abstract The temperature-field information collected by infrared CCD is usually interfered by various measurement errors, including optical system error, CCD error and infrared radiation interference. Errors induced by optical system and CCD can usually be controlled by image processing techniques. However, these techniques can hardly deal with infrared radiation interferences due to their high randomness. To solve this problem, a series of thermo-couples were preset to monitor temperatures at fixed points, which were used to calibrate the system emissivity. Real-time measurement of temperature field was thus achieved based on the modified system emissivity. The mathematical model and system of calibration are established to prevent the sudden change of temperature with system emissivity. Error and mutation of the on-line temperature field measurement are eliminated. The test results show the feasibility of the calibration system of on-line temperature-field measurement.

Key words optical measurement; error; image processing; temperature field; infrared CCD

1 引 言

CCD (Charge coupled device 电荷耦合器件) 是 20 世纪 70 年代初发展起来的新型半导体集成光电器

件, 现在 CCD 器件及其应用技术的开发研究取得了很大的进展, 已成为集光学、电子学、精密机械与计算机技术为一体的综合性技术。当前 CCD 的应用特别

收稿日期: 2008-09-28; 收到修改稿日期: 2008-10-15

基金项目: 国家自然科学基金(50735006)资助课题。

作者简介: 杨军伟(1977—), 男, 博士研究生, 讲师, 主要从事机械制造及其自动化等方面的研究。

E-mail: yangjunwei@126.com

导师简介: 胡仲翔(1944—), 男, 教授, 主要从事装备涂覆层加工及信息化等方面的研究。

E-mail: hfybx@sohu.com

广泛,如摄像机、传真机、数码相机等,由于工业 CCD 摄像机具有寿命长、图像清晰度高、工作稳定可靠、对震动和冲击损伤的抵抗能力强、体积小、重量轻等优点,已经广泛运用于工业诊断和过程监视中。

任何高于绝对零度物体都会对外发出红外线,而红外 CCD 是通过采集这些红外线并转化为图像来进行在线温度场测量的。这些图像与物体的温度本身有一定的对应关系。由于受到很多干扰因素的影响,得到的温度场信息并不完全准确。造成的误差的因素有很多,包括光学系统的误差、CCD 器件本身带来的误差,还有就是在温度标定时带来的误差。

2 光学系统的误差

对于一个理想的镜头的光学系统应该满足以下几点:物空间中一点对应与像空间中唯一的一点,这一点称为共轭点;物空间中一条直线对应于像空间中唯一的一条直线,这一对对应的直线称为共轭线;如空间一点位于直线上,其在像空间中的共轭点必须位于该直线的共轭直线上;不论物点上所发出的光含有多少不同波长的复色光,这些不同波长的复色光都要成像在一点上。但是现实的光学镜头很难达到以上几点,由此可能带来误差。

2.1 镜片不均匀所造成的光学畸变

对于理想的光学镜头,在一对共轭的物像平面上,放大率是常数。但对于实际的镜头的光学系统,仅当视场较小时具有这一性质,而当视场较大或很大时,像的放大率就要随视场而异,这样就会使像相对于物体失去相似性。这种使像变形的成像缺陷称为畸变,如图 1 所示,(a)图为原始图像,(b)图和(c)图是发生观雪畸变后的图像。畸变后的图像上的点的位置与原图发生了一定的变化,但是这不影响每个点的温度信息,因此可以通过图像处理的方法将图像进行恢复即可。

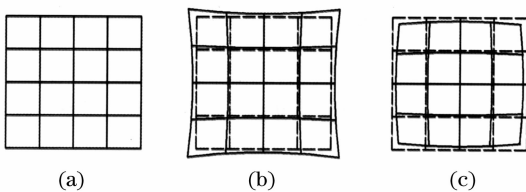


图 1 光学畸变

Fig. 1 Optical distortion

2.2 光程差造成的误差

由于垂直于光轴的平面上的光线通过透镜聚焦于一点各自的光程是不同的,就导致了不在光轴上

的点的灰度值要小于光轴上的点。一般认为在没有斜光束渐晕时,随着像方视场角 ω 的增加,像平面光照度按 $\cos \omega$ 的四次方降低^[2]。

2.3 复色光带来的误差

任何实际光学材料,对于不同颜色的光折射率是不同的,因而一个透镜对不同颜色的光将有不同的焦距。这样引起的实际光学成像与近轴光学成像的像差为色差。彩色 CCD 摄像机的色度学基础是三基色学说。三基色学说是在配色实验基础上建立的。其主要观点是人眼中有红、绿、蓝三种色感细胞最大感光灵敏度分别落在红色、绿色和蓝色区域。因而景物的任何彩色都可以用红、绿、蓝三种基色来配制。1931 年国际照明技术委员会 C. L. E. 规定:三基色的红光是 700 nm,绿光为 546.1 nm,蓝光为 435.8 nm。彩色 CCD 的任务就是把来自景物的入射光分解为 R、G、B 三基色,经过摄像器件转换成相应的 R、G、B 三个亮度值的数字信号。在彩色 CCD 的靶面上,设置有滤色器,通过滤色器便可以将彩色景物分解成 R、G、B 三个单色图像。对于彩色 CCD 来说,它本身获取的信息中就包含着单色的图像。因而,选择其中两个适当的单色图像,便可以计算出温度场。

3 CCD 器件本身带来的误差

CCD 器件的作用是完成光电转化的任务,因此在转换过程影像信号经 A/D 转换时就会产生的影像几何偏差,它主要包括行同步偏差,场同步偏差和像素采样偏差。这种偏差不仅影响像素的几何位置,同时也影响像素的灰度值,即表现为像点灰度的畸变及像点的移位。

同时 CCD 器件的工作时,其器件光谱响应特性影响单色辐射度的测量,噪声值和暗电流大小影响电压输出产生失真,另外当温度过高会产生输出电压饱和。

4 温度标定误差

利用 CCD 可以得到的红外辐射的图像,并不能直接得出温度信息,因此需要按照辐射理论建立相应的关系。由普朗克辐射定律可知,一个绝对温度为 T (单位为 K) 的物体的光谱辐射度为

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

式中 $\epsilon(\lambda)$ 为设备的发射率; C_1 为第一辐射常量,其值为 $3.7418 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^2$; C_2 为第二辐射常量,其值

为 $1.4388 \text{ cm} \cdot \text{K}$; $M(\lambda, T)$ 单位为 $[\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \mu\text{m})]$ 。

由普朗克辐射定律和其它导出的定律可以知道,如果在确定了设备的发射率等参数后,就可以将所得到的图像和温度建立起一定的关系来。通常设备发射率在测量开始前是利用其它的测温手段来标定确定的,而在测温过程中是不改变的。在测温的对象变化不是很剧烈的情况下,设备的发射率变化是很小的,因此对测量的结果也是影响不大的。但是对于测温过程中测温对象的条件发生剧烈变化时,系统的发射率受环境的影响很大。图 2 所示的是一个电弧喷涂成形过程中的温度场分布图,在这个过程中会有大量的烟尘、飞溅以及强的弧光产生,而且干扰是没有规律的,因此不可能根据算法去解析。为了准确地得到实时温度场信息,就必须实时准确地改变设备的发射率。

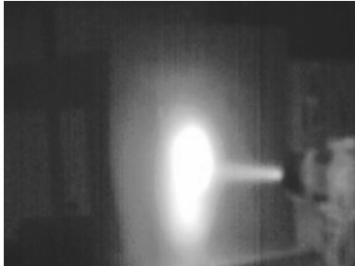


图 2 温度场分布图

Fig. 2 Temperature-field distribution

为了得到准确的设备发射率,就必须进行实时温度的标定,因此在测量前采用预埋热电偶的方法实时监测几个固定点的温度。然后利用这几个点的温度与 CCD 测的温度相比较,从而实时得到准确的设备发射率。利用修正后的系统发射率来计算被测物体的温度场分布。

实时温度场测量是为了利用温度场信息实时对目标进行控制。如果由于别的原因,温度场信息发生突然改变有可能造成控制系统的误动作。为了防止温度只是由于突然改变的系统的发射率发生突变,由此设计了温度场实时校准数学模型和修正系统。系统采用先用中值滤波算法滤除采样值中的脉冲性干扰,然后把剩余的各采样值进行平均滤波。连续采样 N 次,剔除其最大值和最小值,再求余下 $N-2$ 个采样的平均值。显然,这种方法既能抑制随机干扰,又能滤除明显的脉冲干扰。具体算法如图 3 所示,首先计算出第一个值 X_1 。然后让总和 S 、最大值 X_{\max} 以及最小值 X_{\min} 都等于 X_1 。利用 i 作为变量递增得到一组序列 $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_i\}$,在此过程中,

如果某个值大于最大值 X_{\max} 或者小于最小值 X_{\min} ,就立即更新最大值 X_{\max} 或者最小值 X_{\min} ,同时 $S = \sum X_i$ 。当 i 等于所选取的数列长度 L 后,输出一个数值 A

$$A = \frac{S - X_{\min} - X_{\max}}{L - 2}$$

得出 A 值后,此时系统发射率就会被实时改变成 A 。

而下一次发射率的改变重复以上的过程,但在采集新的数据的过程需要利用刚才的一组序列 $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_i\}$ 。而是将新的一个数加入到此序列中去,去除最开始得到的一个数 X_1 ,如图 3 所示。

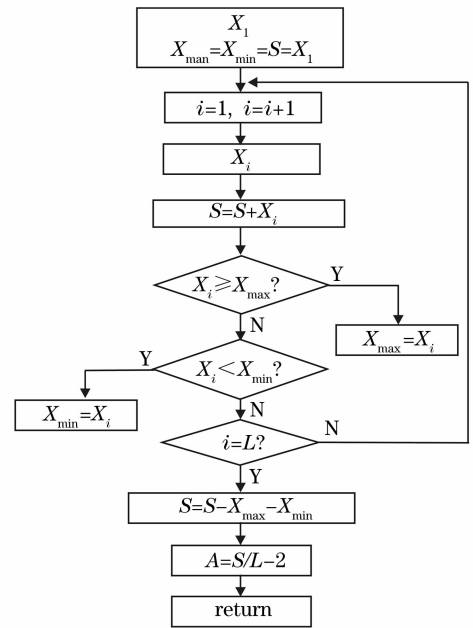


图 3 温度场实时校准修正系统

Fig. 3 System of on-line correction of temperature field

5 结 论

红外 CCD 在线温度场测量过程造成的误差的因素有很多,包括光学系统的误差、CCD 器件本身带来的误差,还有就是在温度标定时带来的误差。利用图像处理的方法来消除一部分误差,但是不能完全解决。因此设计的温度场实时校准数学模型和修正系统,消除了部分温度场在线测量误差和突变,实现了红外 CCD 在线温度场的准确测量。实验结果表明,利用温度场实时修正系统来消除红外 CCD 温度场实时测量误差是可行的。

参 考 文 献

- and its application in edge location[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1): 99~104
- 丁晓华,李 由,于起峰等. CCD噪声标定及其在边缘定位中的应用[J]. *光学学报*, 2008, **28**(1): 99~104
- 2 Xia Shouzhi, Guo Ya. Research on the measuring precision of the flame temperature field using CCD [J]. *J. Wuhan Inst. Technol.*, 2008, **30**(3): 118~121
- 夏守之,郭 焱. 应用 CCD 测量火焰温度精度问题的研究[J]. *武汉工程大学学报*, 2008, **30**(3): 118~121
- 3 An Liansheng. Applied Optics[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2000. 111~121
- 安连生. 应用光学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2000. 111~121
- 4 Zhao Zhenbing, Gao Qiang, Li Ran *et al.*. Near-infrared thermal imaging on-line monitoring based on a monochrome CCD sensor [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2005, **29**(8): 83~86
- 赵振兵,高 强,李 然等. 基于黑白 CCD 传感器的近红外热像在线监测方法[J]. *电力系统自动化*, 2005, **29**(8): 83~86
- 5 Yu Jun, Lin Jiaming, Yang Jianyu *et al.*. Distortion measurement and calibration technology for CCD camera system based on new target board [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(8): 1440~1442
- 余 俊,林家明,杨建宇等. 基于新型靶的 CCD 摄像系统畸变测量与校正[J]. *光学学报*, 2007, **27**(8): 1440~1442
- 6 Zhao Chunhui, Chen Ting. Error analysing in calibration on CCD temperature measuring system [J]. *J. Zhuzhou Institute of Technology*, 2008, **30**(3): 118~121
- 赵春晖,陈 婷. 数字图像测温系统温度标定过程中的误差分析[J]. *株洲工学院学报*, 2004, **18**(2): 66~69
- 7 Lei Yutang, Luo Hui, Ma Juan. Inherent errors of the CCD camera and their testing methods [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2004, **2**(4): 48~50
- 雷玉堂,罗 辉,马 娟. CCD 摄像机的误差及其检校[J]. *光学与光电技术*, 2004, **2**(4): 48~50
- 8 Rong Changjun, Zhao Huichao, Han Weihua *et al.*. Correction of CCD lens [J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2007, **22**(4): 18~20
- 荣长军,赵会超,韩卫华等. 面阵 CCD 镜头畸变校正[J]. *光电技术应用*, 2007, **22**(4): 18~20
- 9 Ying Chaofu, Jin Hongzhen, Li Yong. Linear CCD prism spectrometer and its analysis of error [J]. *Optical Instruments*, 2001, **23**(1): 26~30
- 应朝福,金洪震,李 勇. 线阵 CCD 棱镜光谱仪以及误差分析[J]. *光学仪器*, 2001, **23**(1): 26~30
- 10 Gao Fengduan, Wang Zhiqian, Qian Yanfeng *et al.*. The scheme on digital distortion correction in real time measurement [J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2008, **19**(1): 83~86
- 高峰端,王志乾,乔彦峰等. 一种实时测量中畸变数字校正方案[J]. *光电子·激光*, 2008, **19**(1): 83~86