

仿真用红外动态场景模拟器现场校准技术

郭凯¹, 孙红胜², 张虎², 张玉国², 魏树弟², 孙广尉²

(1. 海装军械部, 北京 100081; 2. 北京振兴计量测试研究所, 北京 100074)

摘要: 现今红外成像导引头在武器系统中的应用越来越广, 在其研制过程中普遍采用红外动态场景模拟器作为实验室内的仿真测试设备, 但目前国内还没有红外动态场景模拟器的计量标准, 无法保证测试结果的准确可靠。文中设计了一种仿真用红外动态场景模拟器现场校准装置, 实现对红外动态场景模拟器光谱范围、帧频特性、辐射温度、非均匀性、畸变等性能参数的现场校准, 并取得了较好的试验结果。

关键词: 动态场景模拟; 帧频; 非均匀性; 畸变

中图分类号: TN21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)05-1380-05

Field calibration technology of dynamic infrared scene simulator for simulations

Guo Kai¹, Sun Hongsheng², Zhang Hu², Zhang Yuguo², Wei Shudi², Sun Guangwei²

(1. Ordnance Department of the Navy Equipment, Beijing 100081, China;

2. Beijing Zhenxing Institute of Metrology and Measurement, Beijing 100074, China)

Abstract: The application of infrared imaging seeker in weapons systems is becoming wider. In its development process, a dynamic infrared scene simulator test equipment is commonly used in laboratories, but there is still no measurement standard of dynamic infrared scene simulators, thus the accuracy and reliability of test results can not be guaranteed. A calibration device for dynamic infrared scene simulators was presented in this paper, which realized calibration for spectral range, frame rate characters, radiation temperature, non-uniformity and distortion of dynamic infrared scene simulator, and achieved good results.

Key words: dynamic scene simulation; frame rate; non-uniformity; distortion

0 引言

红外成像导引头由于抗干扰能力强、制导精度高,在现代导弹武器系统中应用越来越广,国内多家科研单位以红外成像导引头为末制导系统的多个导弹型号已从预研阶段转为研究和批产阶段^[1]。在红外成像导引头进行实验室内仿真测试过程中,红外动态场景模拟器是其中应用到的最重要的仿真测试设备,其技术在国内发展已有一段时间,存在诸如红外液晶光阀、红外电阻阵列、红外 CRT、红外 DMD 等方法,北京振兴计量测试研究所、昆明物理研究所和哈尔滨工业大学等单位都已研制出中波与长波红外动态场景模拟器。在利用红外动态场景模拟器对各型红外成像导引头进行仿真测试时,红外动态场景模拟器本身特性都必须要进行校准,典型的如红外动态场景模拟器的光谱特性、辐射温度特性、目标空间几何特性、均匀性特性等,以使得仿真出的红外景象与真实的红外景象特性相同,保证仿真测试的准确度^[2]。而目前在国内,关于这些红外动态场景模拟器的校准装置却一直没有建立,也未形成校准规范,尤其缺乏对其进行现场校准的标准装置。

文中设计一套标准计量型动态场景模拟器校准装置,实现对红外动态场景模拟器参数的现场校准,并取得了较好的试验测试结果。

1 仿真用红外动态场景模拟器

仿真用红外动态场景模拟器主要工作原理为红外照明系统可以进行温度控制,产生均匀的红外辐射照亮成像器件^[3],成像器件由计算机控制产生校准用的标准测试靶型和灰度对比级别,通过红外成像光学系统形成准直红外图像投射出去。由于照射在成像器件反射面的高温辐射源和低温辐射源温度可以精确控制,因此现场校准装置可以产生不受环境温度变化影响的标准的红外靶标供红外成像器完成灵敏度技术指标测试。

2 仿真用红外动态场景模拟器校准装置

该校准装置包括可测量红外动态场景模拟器成像、帧频特性的信号探测系统、可测量红外成像辐射特性和光谱特性的红外成像辐射计及测控系统。该

装置的功能组成可用图 1 的框图表示。

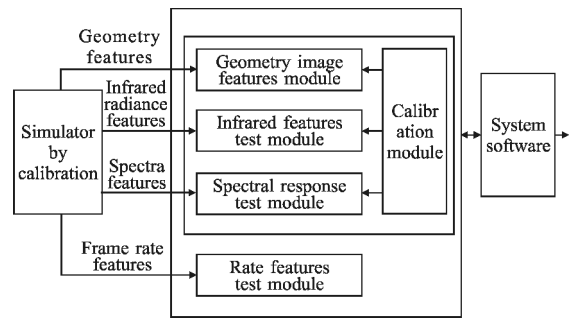


图 1 红外动态场景模拟器现场校准装置原理框图

Fig.1 Infrared dynamic field simulator calibration device diagram

校准装置分为硬件和软件两个组成部分,硬件部分主要包括几何成像特性测量模块、红外辐射特性测量模块、光谱响应特性测量模块、帧频测量模块及定标模块,软件部分包括数据采集、系统控制、校准数学模型、结果输出等模块。采用成像测量模块可对红外动态场景模拟器生成的红外景象进行实时全场景成像,得到其空间几何特性,如视场角、畸变、分辨率等,同时可以通过各像素点的灰度信息得出红外景象中对应位置的辐射温度。将成像测量模块切换为光谱响应特性测量模块,可对红外仿真景象的光谱特性进行测量。红外仿真景象的帧频特性可通过一个高精度的频率信号采集系统来精确测量。系统软件的主要功能是实现对双档变焦镜头、成像和光谱测量模块的切换控制,以及红外成像辐射计的校正,包括非均匀性校正和辐射校正^[4]。利用接收到的红外仿真图像几何信息和灰度信息,根据测量数学模型对采集到的信号进行分析处理,得出辐射温度、对比度、光谱响应、畸变、非均匀性和视场角等校准结果。

3 参数测量校准方法

对红外动态场景模拟器进行各参数的现场校准必须首先研究各参数的测量校准方法,才能够指导本装置的研究,并进一步保证达到研究目标,满足红外动态场景模拟器现场校准的需求。下面对各参数测试方法分别进行论述。

(1) 光谱范围:在保证校准装置的视场角、分辨率、温度测量范围和帧频均能够覆盖被校准动态场景模拟器的前提下,通过目标图像通过不同透过波

段的滤光片后的信号探测结果进行测量。

(2) 帧频:使红外动态场景模拟器输出图像,利用一个标准红外探测器直接接收动态场景模拟器的输出图像,标准红外探测器输出信号经前置放大电路放大后接示波器,可以由示波器观测信号,以测量红外动态场景模拟器的帧频。标准探测器的探测率、响应波段、频率特性等指标应满足测试需求,前置放大器应具有足够的增益,并且其频率特性应满足测试要求,即大于被测动态场景模拟器的频率,示波器的带宽应大于被测红外动态场景模拟器的帧频数。

(3) 辐射温度范围:控制动态场景模拟器分别输出全黑和全白图像,并使用校准装置进行辐射温度测量,拍摄的图像进行分析,利用温度测量软件求出全黑图像的平均温度,记为 T_1 ,然后求出全白图像的平均温度,记为 T_2 ,则红外动态场景模拟器的模拟温度范围为 $T_1 \sim T_2$ 。

(4) 对比度:控制动态场景模拟器输出半黑半白图像,利用专用软件求出全黑部分图像的平均温度,记为 T_1 ,然后求出全白部分图像的平均温度,记为 T_2 ,根据下式计算红外动态场景模拟器的输出图像对比度^[5]:

$$D = \frac{M_{T_2}}{M_{T_1}} \quad (1)$$

式中: D 为红外动态场景模拟器的输出图像对比度; M_{T_1} 为全黑部分图像在相应波段的积分辐射出射度; M_{T_2} 为全白部分图像在相应波段的积分辐射出射度。

(5) 非均匀性:控制动态场景模拟器输出灰度均匀的图像,将拍摄到的图像进行灰度级分析,图像中灰度级的平均值为 G ,标准偏差为 S_g ,则可按下式计算出红外动态场景模拟器的输出图像能量非均匀性:

$$g = \frac{S_g}{G} \times 100\% \quad (2)$$

(6) 畸变:控制动态场景模拟器在全视场内生产矩形白色图像,对拍摄到的图像进行分析,分别从图像的左上角和左中部画一条水平线至图像的右边缘,两条线的像素数分别记为 l_1 和 l_2 ,则图像畸变可用下式表示^[6]:

$$J = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100\% \quad (3)$$

(7) 视场角:控制动态场景模拟器在全视场内输出全白图像,对拍摄到的图像进行分析,校准装置横向视场角记为 α ,纵向视场角 β ,横向像素数记为 A ,

纵向像素记为 B ;拍摄到的图像纵向占据像素数为 a ,纵向占据像素数为 b ;按下式计算出动态场景模拟器的横向视场角和纵向视场角:

$$\alpha' = \frac{a}{A} \times \alpha \quad \beta' = \frac{b}{B} \times \beta \quad (4)$$

式中: α 为动态场景模拟器的横向视场角; β 为动态场景模拟器的纵向视场角。

4 校准装置测试验证

使用研制的仿真用红外动态场景模拟器现场校准装置,对实验室现有的中波红外动态场景模拟器及其他单位的动态场景模拟器进行校准测试验证^[7-8],具体测试数据如下所示。

(1) 光谱范围测试数据

通过观测十字靶标在不同波段滤光片下的成像结果,进行光谱范围校准。光谱校准图像如图 2 所示,光谱校准数据见表 1。

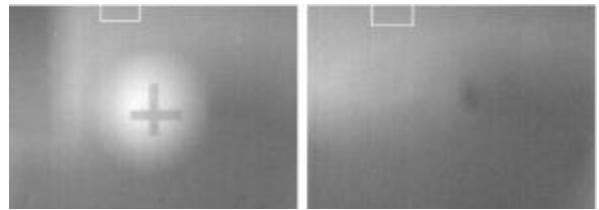


图 2 光谱校准图像

Fig.2 Image of spectral calibration

表 1 光谱校准数据

Tab.1 Spectral calibration data

Filter wavelet	3.0 μm	3.8 μm	4.4 μm	5.0 μm	5.5 μm
Visible or not	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Spectral range	3.0~5.0 μm				

(2) 帧频校准测试数据

帧频校准测试数据见表 2。

表 2 帧频校准数据

Tab.2 Frame rate calibration data

Frame rate/Hz	Results/Hz					
	1	2	3	4	5	6
50	49.2	49.3	49.4	49.3	49.2	49.4
55	54.4	54.5	54.4	54.3	54.5	54.4
60	59.8	59.7	59.6	59.7	59.8	59.6
80	79.3	79.4	79.2	79.3	79.1	79.1
100	100.8	100.4	99.9	99.8	100.2	100.4

(3) 被测中波红外动态场景模拟器辐射温度范围测试数据

辐射温度校准数据见表 3。

表 3 辐射温度校准数据

Tab.3 Radiation temperature calibration data

Black body temperature/K	Highest or not	Lowest or not	Image	Radiance temperature/K
343 K	Yes	No	White	308.61
303 K	No	yes	Black	295.40
Radiance temperature range		295.40~308.61 K		

(4) 被测中波红外动态场景模拟器对比度校准数据

图 3 为对比度校准图,对比度校准数据见表 4。



图 3 对比度校准图像

Fig.3 Image of contrast calibration

表 4 对比度校准数据

Tab.4 Contrast calibration data

Results						
1	2	3	4	5	6	Average
1:1.41	1:1.40	1:1.42	1:1.45	1:1.43	1:1.42	1:1.42

(5) 被测中波红外动态场景模拟器非均匀性校准数据

图 4 为非均匀性校准图像,非均匀性校准数据见表 5。



图 4 非均匀性校准图像

Fig.4 Image of non-uniformity calibration

表 5 非均匀性校准数据

Tab.5 Non-uniformity calibration data

Results						
1	2	3	4	5	6	Average
2.79%	3.01%	2.89%	2.91%	3.11%	2.96%	2.95%

(6) 被测中波红外动态场景模拟器畸变校准数据

图 5 为畸变校准图像,畸变校准数据见表 6。

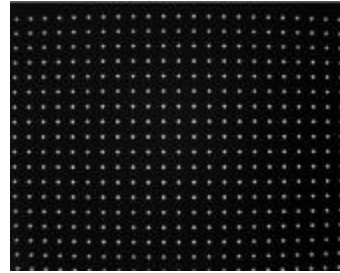


图 5 畸变校准图像

Fig.5 Image of distortion calibration

表 6 畸变校准数据

Tab.6 Distortion calibration data

Results						
1	2	3	4	5	6	Average
0.31%	0.33%	0.32%	0.30%	0.32%	0.31%	0.32%

(7) 被测中波红外动态场景模拟器视场角校准数据

图 6 为视场角校准图像,视场角校准数据见表 7。



图 6 视场角校准图像

Fig.6 Image of field calibration

表 7 视场角校准数据

Tab.7 Field angle calibration data

Results							
Number	1	2	3	4	5	6	Average
Lateral field	4°30'	4°29'	4°31'	4°30'	4°29'	4°30'	4°30'
Vertical field	3°20'	3°22'	3°21'	3°22'	3°21'	3°22'	3°21'

5 结 论

文中研制出一台仿真用红外动态场景模拟器现场校准装置,解决了动态场景模拟器现场校准难题,实现包括波段范围、帧频特性、非均匀性、畸变等参数的现场校准,并取得了良好的测试结果。

参考文献:

- [1] Zhang Kai, Sun Siliang. Design of infrared dynamic scene target simulator system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 26(12): 2173. (in Chinese)
- [2] Gan Xinji, Fu Youyu, Guo Jin. The luminous source design of the space scene simulator [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2010, 6(4): 89-91. (in Chinese)
- [3] Lu Xianghong, Chen Rujun, He Zhanxiang. The design of frequency calibration system for OCXO based on FPGA [J]. *Application of Electronic Technique*, 2010, 2(7): 122-125. (in Chinese)
- [4] Zhao Yuhuan, Yan Feng, Zhou Yue, et al. Research on measuring technique for surface uniformity of the ultraviolet ICCD detector [J]. *Optical Technique*, 2008, 11(6): 80-82. (in Chinese)
- [5] Su Xiaohua, Zhao Jiguang, Li Jianfeng. A remedy method of radial distortion of CCD camera [J]. *University Physics*, 2004, 6(8): 110-122. (in Chinese)
- [6] Li Jinhui, Han Huangpu. Calibrating aberrations and visual angles in the CCD imaging optical system [J]. *Xi'an Industry University Journal*, 2012, 12(2): 151-155. (in Chinese)
- [7] Qu Haitao, Gu Haifeng, Zhu Chengxi. Application of CF card in infrared scene simulation instrument [J]. *Laser & Infrared*, 2009, 10(7): 101-102. (in Chinese)
- [8] Zhang Lingxu, Xu Guangming, Ma Baohong, et al. Research and implementation of moving emitter scene simulation [J]. *Aerospace Electronic Warfare*, 2012, 5 (1): 212-213. (in Chinese)