

文章编号:1002-2082(2006)04-0323-04

红外热成像系统调制传递函数(MTF)测试研究

李旭东, 惠渭生, 胡铁力, 付建明

(西安应用光学研究所, 西安 710065)

摘要: 为了能对红外热成像系统的性能进行准确的评价,必须对其MTF进行准确测试。利用高精度双黑体反射靶标评估系统,并依据刀口靶测试原理,首先在计算机中进行微分运算,获得线扩展函数,然后再进行傅里叶变换,最终获得MTF。通过对CEDIT II A型热像仪MTF的测试和分析,发现MTF的测试主要受输入差分信号强度,脉冲电平的去与不去,以及采集到的信号是否滤波等因素的影响。该测试评估系统能保证背景辐射的均匀性和稳定性,且受环境温度变化的影响极小,因此可大大提高测量的准确性和可靠性。

关键词: 红外热成像系统;调制传递函数(MTF);热像仪测试

中图分类号:TN21-34

文献标志码:A

Research on MTF measurement for thermal imaging systems

LI Xu-dong, XI Wei-sheng, HU Tie-li, FU Jian-ming

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to accurately evaluate the performance of an infrared thermal imager, it is necessary to test its modulation transfer function (MTF). In this paper, a CEDIT II A thermal imaging system is measured and analyzed by the equipment with dual blackbody and reflective target system. The new testing method utilizes the theory of edge target test. The edge is differentiated to obtain the line spread function and Fourier-transformed to get the MTF. It is discovered that the primary factors which affect MTF test are the signal intensity for the testing system incidence, impulse noise suppression and acquisition filtering, etc. The equipment can keep even and steady radiation, and is not affected by ambient temperature, so the accuracy and reliability of measurement can be improved.

Key words: thermal imager; modulation transfer function (MTF); thermal imager measurement

引言

红外成像系统的MTF是光学MTF和电学MTF之乘积,它不包含任何信号强度的信息,是系统精确再现场景的一个测量值,是系统设计、分析和规范的基本参数。当和三维噪声参数相结合时,MTF能独立地定义系统特征。如果眼睛的探测阈值能被精确模拟,那么可用它来计算最小可分辨率

温差和最小可探测温差。对于过密采样(大于采样频率)系统,截止频率是MTF接近于零的位置。对于过疏采样系统来说,截止频率就是能奈斯特频率(采样频率1/2的位置)。

由于MTF具有频率独立性,所以可用来描述系统特性,而最小可分辨率温差(MRTD)可作为一个单一值来描述系统特征。测试结果中MTF曲

收稿日期:2005-09-28; 修回日期:2006-01-12

基金项目:国防军工计量“九五”技术基础项目

作者简介:李旭东(1975—),男,山西晋城人,博士,主要从事红外辐射计量研究工作。E-mail:Lixd008@163.com

线下方的面积通常可作为像质的一个评价量,所以系统空间截止频率的微小变化通常并不影响系统像质的定义,但当给出一条单一的曲线时,MTF可能就不是一个非常好的评价量。也就是说,对于视场的不同部分和不同方位,MTF可能不同。通常情况下,垂直和水平方向的MTF并不相同。

红外热成像系统MTF的测试通常有3种方法:1)建立在正弦信号和条带目标响应基础上的直接法;2)建立在对所测量的线扩展函数傅里叶变换计算基础上的间接法;3)由相干激光束或激光散斑法产生的杨氏干涉条纹法。这3种方法各有优缺点,正弦目标虽然在视觉上非常有效,但对红外系统来说,正弦目标不易被生成。人们常用四杆靶来获得CTF,然后在数学上采用一系列近似变换生成正弦响应的MTF,但CTF并不是对MTF的代替,而只是给出了一种方便的测量技术。MTF的第2种常见测试方法是通过刀口靶获得扩展响应函数(ESF),它亦称作边缘响应、刀口响应或台阶响应。使用刀口靶目标有2

个优点:1)目标比狭缝做起来更简单;2)不像狭缝技术那样需要对MTF进行修正。刀口靶先通过微分运算来获得线扩展函数,然后再进行傅里叶变换得到MTF。然而对噪声限系统来说,微分运算增强了噪声,这就使合成的MTF含有掺杂。在相干激光束或由激光散斑法产生的杨氏干涉条纹法中,由于激光是单一波长,因此,结果生成的MTF不能代表多色MTF,但这种方法对系统比较分析非常有用。本文采用刀口靶对热成像系统MTF进行了测试。

1 测试系统装置

图1为双黑体红外热像仪主要参数校准装置原理框图。该装置由标准辐射准直系统、系统控制与输出系统、待测系统、以及图像数据采集与存储系统4部分组成。标准辐射准直系统在控制系统的控制下提供一个标准的差分信号给待测系统,图像数据采集与存储系统接收处理来自待测系统的电压信号并给出最终的测试结果。

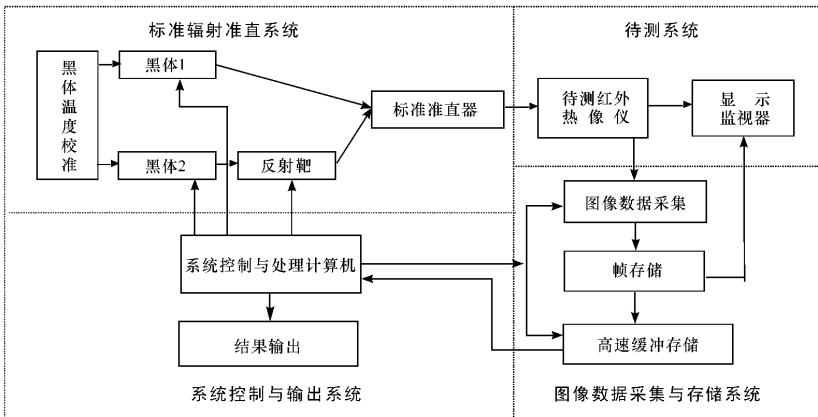


图1 红外热像仪主要参数校准装置原理框图

Fig. 1 The block diagram of calibration equipment for primary parameters of infrared imaging system

2 测试原理

整套测试系统由计算机控制。计算机发送指令给高精度温控器和靶轮,受温控器控制的目标黑体和背景黑体产生稳定的差分信号 ΔT ,经靶标、反射镜和离轴抛物面镜反射后形成无限远的温差信号供待测热成像系统接收。图2为待测热像仪接收到的刀口图像。

在待测热成像系统中,标准辐射准直系统提供的红外入射通量经过光学系统聚焦在探测器上,把

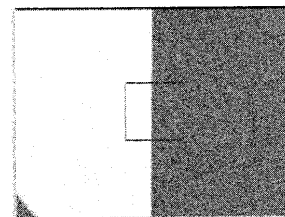


图2 刀口图像

Fig. 2 Image of edge target

光信号转换成电信号,经后续电路放大和处理后,再被显示在监视器上形成一幅灰度图像。图3给出了用刀口靶测试待测系统MTF的数据处理流程图。计算机先采集从待测热像系统传来的电信号,然后差分接收到的刀口信息,再经过计算机的傅里叶变换以及归一化,最终生成图中的MTF函数。所测量的MTF包括从辐射源到计算机的所有子系统的MTF,其中傅里叶变换用计算机完成。假定待测系统是线性相变换系统,则

$$MTF_1 = \frac{MTF_2}{MTF_3 MTF_4 MTF_5} \quad (1)$$

式中, MTF_1 为待测热成像系统的调制传递函数, $MTF_1 = MTF_x \cdot MTF_y$,其中 MTF_x 和 MTF_y 分别为待测系统水平和垂直方向的调制传递函数; MTF_2 为测量到的总调制传递函数; MTF_3 为准直系统的调制传递函数; MTF_4 为靶标的调制传递函数; MTF_5 为图像采集系统的调制传递函数。如果准直仪孔径比成像系统孔径更大且焦距比成像系统焦距更长,那么可以忽略掉准直仪的MTF。如果靶标的反射率足够高,且数据采集电路性能足够好,那么靶标的MTF和数据采集系统的MTF也可以忽略。在测试过程中,辐射源、靶标、准直仪和红外成像系统均应放置在隔离振动的光学平台上。

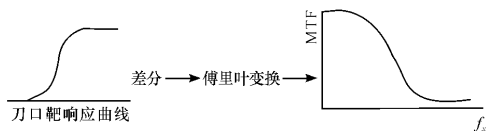


图3 刀口靶测试MTF数据处理流程图

Fig. 3 Flow chart of data processing for testing MTF of UUT with edge target

3 测试结果

使用刀口靶测试待测热像系统MTF时,必须把输入的差分信号控制在探测器响应的线性区域。为了得到更准确的结果,应对各种输入差分信号的MTF进行测试。如果系统在非线性区域内运行,那么,在测量精度范围内MTF依赖于输入信号差分温度。表1为测试的环境条件。图4为探测器响应线性区域内输入差分信号温度分别为5℃,10℃和20℃时的MTF曲线。表2为相应的测试数据。从图4可以看出,当输入差分信号温度较小时,噪声对MTF测试结果影响较大(测试曲线中出现了许多不规则的峰值);当输入差分信号温度为20℃时,MTF曲线发生了变形,即信号输入接近探测器的

饱和响应。因此,对待测热像仪进行测试时,输入差分信号温度值应选取合适,输入差分信号温度通常在探测器线性响应区的中部取值。

表1 MTF的测试条件

Table 1 Testing conditions of MTF

| 室温 /C | 相对湿度/% | 靶标 | 是否去除脉冲电平 | 是否滤波 | 差分信号输入值/C | 透过率 | 帧平均 |
|-------|--------|-----|----------|------|-----------|------|-----|
| 20 | 61 | 半月靶 | 否 | 否 | 5,10,20 | 0.97 | 7 |

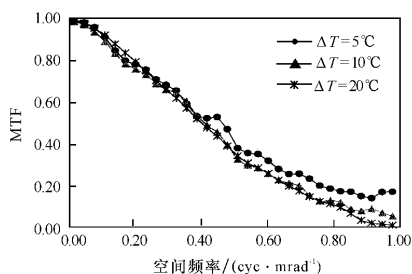


图4 MTF测试曲线

Fig. 4 Testing curve of MTF

表2 MTF的测试数据

Table 2 Testing data of MTF

| 输入信号 $\Delta=5^\circ\text{C}$ | | 输入信号 $\Delta=10^\circ\text{C}$ | | 输入信号 $\Delta=20^\circ\text{C}$ | |
|-------------------------------|-------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| 频率 | 原始MTF | 频率 | 原始MTF | 频率 | 原始MTF |
| 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.000 |
| 0.030 | 0.996 | 0.030 | 0.985 | 0.030 | 0.992 |
| 0.060 | 0.974 | 0.060 | 0.951 | 0.060 | 0.969 |
| 0.090 | 0.927 | 0.090 | 0.905 | 0.090 | 0.937 |
| 0.120 | 0.863 | 0.120 | 0.849 | 0.120 | 0.896 |
| 0.150 | 0.815 | 0.150 | 0.801 | 0.150 | 0.853 |
| 0.180 | 0.799 | 0.180 | 0.776 | 0.180 | 0.811 |
| 0.210 | 0.774 | 0.210 | 0.749 | 0.210 | 0.767 |
| 0.240 | 0.728 | 0.240 | 0.707 | 0.240 | 0.721 |
| 0.270 | 0.702 | 0.270 | 0.679 | 0.270 | 0.678 |
| 0.300 | 0.675 | 0.300 | 0.665 | 0.300 | 0.638 |
| 0.330 | 0.613 | 0.330 | 0.624 | 0.330 | 0.591 |
| 0.360 | 0.554 | 0.360 | 0.558 | 0.360 | 0.541 |
| 0.390 | 0.545 | 0.390 | 0.511 | 0.390 | 0.498 |
| 0.420 | 0.551 | 0.420 | 0.478 | 0.420 | 0.459 |
| 0.450 | 0.493 | 0.450 | 0.418 | 0.450 | 0.413 |
| 0.480 | 0.403 | 0.480 | 0.349 | 0.480 | 0.366 |
| 0.510 | 0.380 | 0.510 | 0.321 | 0.510 | 0.332 |

(续表2)

| 输入信号 $\Delta=5\text{ }^{\circ}\text{C}$ | | 输入信号 $\Delta=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ | | 输入信号 $\Delta=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ | |
|---|--------|--|--------|--|--------|
| 频率 | 原始 MTF | 频率 | 原始 MTF | 频率 | 原始 MTF |
| 0.540 | 0.375 | 0.540 | 0.309 | 0.540 | 0.309 |
| 0.570 | 0.343 | 0.570 | 0.282 | 0.570 | 0.282 |
| 0.600 | 0.304 | 0.600 | 0.252 | 0.600 | 0.250 |
| 0.630 | 0.280 | 0.630 | 0.237 | 0.630 | 0.223 |
| 0.660 | 0.282 | 0.660 | 0.224 | 0.660 | 0.199 |
| 0.690 | 0.259 | 0.690 | 0.180 | 0.690 | 0.172 |
| 0.720 | 0.226 | 0.720 | 0.153 | 0.720 | 0.151 |
| 0.750 | 0.212 | 0.750 | 0.155 | 0.750 | 0.139 |
| 0.780 | 0.200 | 0.780 | 0.147 | 0.780 | 0.122 |
| 0.810 | 0.198 | 0.810 | 0.116 | 0.810 | 0.094 |
| 0.840 | 0.177 | 0.840 | 0.107 | 0.840 | 0.063 |
| 0.870 | 0.168 | 0.870 | 0.117 | 0.870 | 0.050 |
| 0.900 | 0.198 | 0.900 | 0.098 | 0.900 | 0.045 |
| 0.930 | 0.199 | 0.930 | 0.083 | 0.930 | 0.040 |

4 结论分析

由于待测红外热成像系统受其自身光学系统、电子线路、探测器和制冷器等各种因素的影响,加

之评估系统受其本身测试精度和环境变化等的影响,因此造成MTF波动的原因很多。当MTF的测试结果出现波动时,有时并不能对造成波动的可能因素做出准确的评价,为此,作者在前人工作的基础上总结出所测热成像系统MTF可能产生波动的原因:1)待测热像仪的聚焦不理想;2)输入差分信号在探测器的线性响应区之外;3)黑体温度或环境温度在测试期间发生了变化;4)振幅没有被合适归一化;5)频率因子不太精确,等。

参考文献:

- [1] 李旭东,胡铁力,岳文龙,等. 红外热成像系统SiTF测试研究[J]. 应用光学,2005,26(5):21-24.
- [2] Holst G C. Testing and evaluation of infrared imaging systems [M]. 2nd ed. Bellingham WA: SPIE Optical Engineering Press,1998.
- [3] Holst G C. Electro-optical imaging system performance [M]. 2nd ed. Bellingham WA: SPIE Optical Engineering Press,2000.
- [4] IRWIN A, GAULTNEY P, WHITE S, *et al.* Discussion of IR testing using IR windowsTM2001[EB/OL]. [2002-04-09]. <http://www.sbir.com/techinfo.htm>

飞机自保护安全系统

据英国《防务新闻》2006年4月20日报道,雷声公司综合防务系统(IDS)部最近向美国空军交付了飞机自保护安全系统(ASPSS)的首套原型系统。该系统采用接近物体探测传感器(NODS)技术,能为机场停机坪或外场停放的飞机周围提供电子安全警戒。

另外,雷声公司还开发了一种称为“警惕鹰”机场保护系统的装置,能在飞机起飞和着陆时抵御便携式空防系统的威胁。这2种系统互为补充,“警惕鹰”系统保护动态飞机安全,而ASPSS为静止飞机提供保护。

NODS技术包括3个组成部分:1台1本书大小的接近物体探测传感器、1个通信组件和1台个人数字助理(PDA)类似的警告和显示装置。接近物体探测传感器和通信组件呈三角形摆放在停放的飞机周围。PDA型显示器和另1个通信组件综合称为报警器,由安全人员携带。每个接近物体探测传感器负责约120°范围,能探测到100m甚至更远的人和车辆。

ASPSS带4种传感器,是一种低成本、便携式系统,美空军在埃格林空军基地进行试验后接受了该系统。4个传感器能为单架飞机提供360°范围的警戒,更多传感器系统将能为停放在一起的多架飞机提供保护。据雷声公司IDS工程副总裁Mark Russell称,雷声IDS将很快向空军交付3个传感器系统,随后将为多架飞机提供保护的型号产品。

Russell称,除了保护飞机外,该技术还有广泛应用前景,可用于围墙、固定设施等的防卫上。

(无为 供稿)