

· 红外技术 ·

红外系统NETD测试对比与分析

魏 东, 徐世伟, 王大鹏

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 燕郊 065201)

摘 要:指出传统NETD测试中的不足之处, 并加以改进。提出实验室条件下基于数字图像的精确测量方法, 并对测试结果进行修正。对测试得到的两组数据进行对比分析, 指出该方法更加准确地反映出红外系统的NETD。

关键词:噪声等效温差; 传递函数; 标准偏差

中图分类号: TVN219

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)06-0038-04

Comparison and Analysis on NETD Testing of Infrared System

WEI Dong, XU Shi-wei, WANG Da-peng

(Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Yanjiao 065201, China)

Abstract: The disadvantages of traditional noise equivalent temperature difference (NETD) test method are pointed out and improved by using relative measures. The accurate measurement methods based on digital images in presented laboratory conditions are proposed. And the test results are regulated. Two sets of tested data are compared and analyzed. As a result, NETD of infrared systems can be measured more accurately.

Key words: noise equivalent temperature difference (NETD); modulation transfer function (MTF); standard deviation (Std Dev)

NETD是红外成像系统灵敏度的重要指标, 得到一个精确的NETD值, 可以精确计算红外目标的作用距离, 或利用NETD和探测器测试数据计算红外成像系统扫描效率^[1]。传统模拟端测量的NETD作为系统性能的综合度量尚有不足之处: (1) 由于电路输出端到终端图像之间还有其他子系统; (2) 电路产生的模拟信号降低了红外系统的灵敏度^[2]。

在实验室条件下, 给出了基于数字图像红外系统NETD测试的具体方法和步骤; 并根据实际测试结果, 对比NETD数据从机理上分析它们产生的原因。

1 噪声等效温差(NETD)的定义

描述红外成像系统性能的综合量度是温度分辨率, 包括噪声等效温差、最小可分别温差和最小可探测温差。噪声等效温差(NETD)主要是反映红外系

统的灵敏度, 是最关键指标, 直接影响到系统的目标识别、探测距离等主要功能指标^[3]。

用红外成像系统观察标准试验图案, 图案上的目标与背景之间能够使基准化电路输出端产生的峰值信号与均方根噪声之比为1时的温差, 称为噪声等效温差——NETD。NETD是表征红外成像系统受客观信噪比限制的温度分辨率的一种量度^[4]。

用来测量NETD的标准测量图案如图1所示^[5],

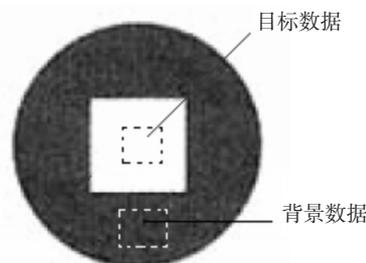


图1 目标图像

目标与背景均为黑体,目标宽度为系统分辨率的数倍,NETD表达式为

$$NETD = \frac{\Delta T}{\Delta v_s / v_n} \quad (1)$$

式中, ΔT 是目标与背景之间的温差; Δv_s 是在温差为 ΔT 时基准电路输出端目标信号与背景信号之差; v_n 是基准电路输出的噪声的均方根值^[6]。

2 影响测量NETD结果的因素分析

根据式(1)看到,NETD受目标与背景之间的温差 ΔT 、目标信号与背景信号之差 Δv_s 及噪声信号的均方根值 v_n 影响。其中 ΔT 精度取决于测试设备的温度控制精度,存在不确定性^[7], Δv_s 和 v_n 与测试选用方法有关。

2.1 噪声模型的选择

目前,在红外成像系统NETD技术指标里经常出现NETD,时间NETD,空间NETD三种表述方法,在NETD测试中,对于不同类型NETD的差异主要由测试时所选取的噪声类型决定。

时间噪声的测试选取了 M 帧图像,对 M 帧图像多点像素的噪声均方根分别进行了计算,该方法消除了空间因素对于噪声的影响。最后求出噪声均方根的平均值作为系统时间噪声。空间噪声的测试选取了 M 帧图像,对 M 帧图像求平均后得到一帧图像,所得图像消除了时间因素的影响,再对选定区域求噪声均方根,得到空间噪声^[7]。这三种方式不同噪声测量,应用于不同条件下,结果相差并不大,说明不了那个更优越。为便于计算,采用时间噪声的测试方法,利用三维噪声 σ_{TVH} 分量的高频部分作为NETD测试中的噪声均方根。假设测试区为正方形每边长含 N 个像素,其表达式为

$$v_n = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N (P_{xy}^i - \overline{P}_{xy}^i)^2}{N \times (N-1)}} \quad (2)$$

式中, P_{xy}^i 为视频采集图像相应帧对应像数的灰度级; \overline{P}_{xy}^i 为相应帧的平均值。

$$\overline{P}_{xy}^i = \frac{\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N P_{xy}^i}{N^2} \quad (3)$$

2.2 传统NETD测试过程中引入的额外噪声

从广义上讲,任何不需要的信号成分都可以定义为噪声。红外系统噪声不可能仅仅是由光子的随机运动引起,必然要引入其他的分系统。而目标经系统成像后一般都是能量减少、对比度降低和信息衰减。根据线性滤波理论,对于由一系列具有一定频率特性(空间的或时间的)的分系统所组成的红外成像系统,只要逐个求出分系统的传递函数,其乘积就是整个系统的传递函数^[7]。假设各系统的传递函数分别为:光学系统的 MTF_o ,探测器的 MTF_d ,探测器电路的 MTF_e ,大气扰动的 MTF_{om} ,基准电路输出后数、模转换电路的 MTF_{da} ,模拟图像数字化电路的 MTF_{ad} 。则系统的传递函数 MTF_{analog} 表达式为

$$MTF_{analog} = MTF_o \cdot MTF_d \cdot MTF_e \cdot MTF_{om} \cdot MTF_{da} \cdot MTF_{ad} \quad (4)$$

由于传统的NETD测试中,测试设备只能测试红外系统的模拟视频信号,因此较红外系统正常工作时多引入了另外两个分系统函数:数模转换电路 MTF_{da} 和模拟图像数字化电路 MTF_{ad} ,在测试端降低了红外系统的灵敏度,加大了NETD误差。对于试验测试的红外系统,基准电路输出端数字图像为14 bit特精度,经DA转换到模拟视频后精度降到8 bit,在测试设备端经AD变换到8 bit的数字图像。信号经过DA、AD两次变换后,系统的传递函数 MTF 降低,目标信号与背景信号之差 Δv_s 减小及噪声信号的均方根值 v_n 增大,从而影响了测量的红外系统NETD结果。

2.3 基于数字图像的NETD测试方法

在基于数字图像的NETD测试中直接选取基准电路输出端的14 bit数字图像进行计算,避免引入 MTF_{da} 和 MTF_{ad} 这两个分系统,使测量的NETD是一个更加客观的数据,此时系统的传递函数 MTF_{data} 表达式为

$$MTF_{data} = MTF_o \cdot MTF_d \cdot MTF_e \cdot MTF_{om} \quad (5)$$

由式(4)、式(5)得

$$\frac{MTF_{data}}{MTF_{analog}} = \frac{1}{MTF_{da} \cdot MTF_{ad}} \quad (6)$$

可见采用数字图像的系统传递函数提高 $1/MTF_{da} \cdot MTF_{ad}$

3 基于数字图像的NETD测试步骤与测试修正

测试设备包括:FPAT-2000-B焦平面测试系统。FPAT-2000产生能够在时间和空间分布上精确控制输入到焦平面阵列上的红外辐射。FPAT-2000-B焦平面测试系统包括CDT1500平行光管、TCB-4D黑体(包括CTCB温度控制器)、MRW-8靶轮、方孔靶与计算机组成测试系统、制冷型HgCdTe红外推扫系统与成像PC机,所成图像大小为640×480。成像电路板直接通过以太网将图像的灰度级信息传入计算机。

测试步骤如下:(1)热像仪直接输出数字信号,通过以太网传输到PC机上。在计算机上成像并完成数据统计;(2)调整FPAT-2000-B焦平面测试系统中的CDT1500平行光管摆放位置,靶标在计算机显示图像中心位置;(3)放置大的黑体覆盖图像的视场,依据式(2)、式(3)完成噪声 v_n 均方根统计;(4)放置方孔靶黑体,设置偏置(offset);(5)选择目标区与背景区,记录温度 T ,完成的目标与背景的平均值数据统计。设置7次温度,每次温度增加0.25 K,记录7组数据;(6)对数据进行整理,得到 ΔT 、 Δv_s 和 v_n ,计算NETD并修正,公式如下

$$NETD = v_n \times \frac{\Delta T}{\Delta v_s} \times 1000 \times 0.92 \times 0.97 \text{ (mK)} \quad (7)$$

测试与计算过程中需要注意以下两点:

(1)平行光管内的黑体设置温度时,与其周围的背景的温度还存在一定的差值。需要CTCB温度控制软件设置偏置(offset)做修正,使它们的灰度级相同。当这个差值在零左右做正负变化时为宜。

(2)任何黑体的发射率都不是100%的,红外波段的光在平行光管内折射传输也存在一定的传输损失。测试采用靶的黑体发射率为 0.97 ± 0.01 ,光传输损失为0.08。所以计算得到的NETD值,需要乘以 0.97×0.92 做修正。

4 实验结果与特性分析

实验选用长波(8~12 μm)480×6制冷型HgCdTe材料探测器,像元尺寸为28 $\mu\text{m} \times 38 \mu\text{m}$;探测器配备焦距为100 mm的光学镜头。测试环境温度为18.65℃,分别采用基于传统模拟及数字图像的NETD测试方法进行测试,得到两组数据。图2是采用模拟视频测得的7组 ΔT 、 Δv_s 数据,图3是采用数字视频

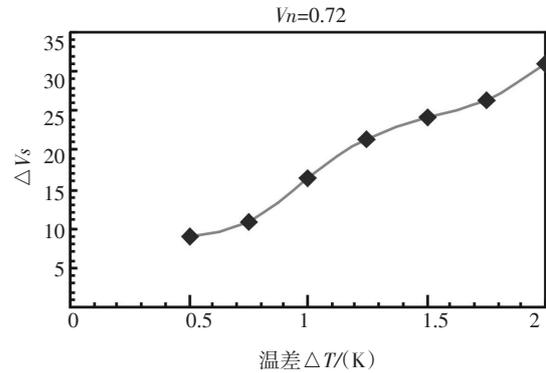


图2 采用模拟图像测试的 Δv_s

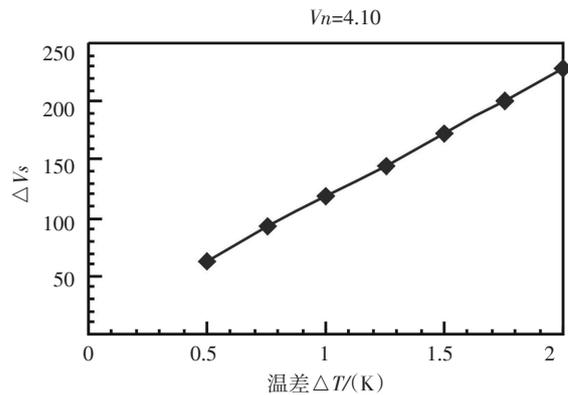


图3 采用数字图像测试的 Δv_s

测得的7组 ΔT 、 Δv_s 数据。

图2模拟图像测试数据组是经数模、模数变换后的8 bit精度数据,图3数字图像测试数据组是原始的14 bit精度数据。依据图2、图3数据,利用式(7)计算得出NETD数值随温度变化曲线图5。

随 ΔT 增加,噪声等效温差NETD随温度增加逐渐增大。当温差从0.5 K升到2 K时,噪声 v_n 保持不变,背景灰度级值不变。分析制冷HgCdTe探测器的温度响应曲线“S”的线性区 $T1 \sim T3$ 响应灰度值,如图4所示,在此范围内并不是一个严格意义上的直线,而是从斜率 $K2$ 逐渐增加到最大值 $K1$ (温度 $T2$),然后再逐渐减小的过程。从式(1)中看出NETD与 $\Delta T / \Delta v_s$ 成正比, $\Delta T / \Delta v_s$ 即反映了温度响应曲线的斜率变化情况^[8]。所以测试的温度落在 $T2 \sim T3$ 范围内,使得温度响应的斜率随温度升高由大变小,测试得到的NETD初始值最小,但其变化量并不是很大。所以 ΔT 取值范围不能太大,太大会使得灰度响应进入更深的非线性区,经验取值范围应该是设计NETD值的10~20倍之间,实验取在0.5~2 K之间的数值。要得到最小的NETD值,就要找到响应曲线中的 $T2$ 温度值,在此温度下的NETD值为理论极值。

依据贝塞尔公式(8)可以求得测试NETD标准

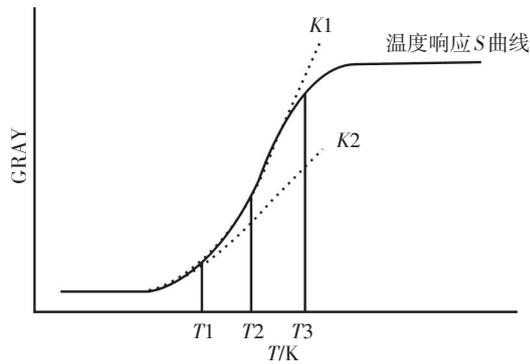


图4 探测器的温度响应曲线

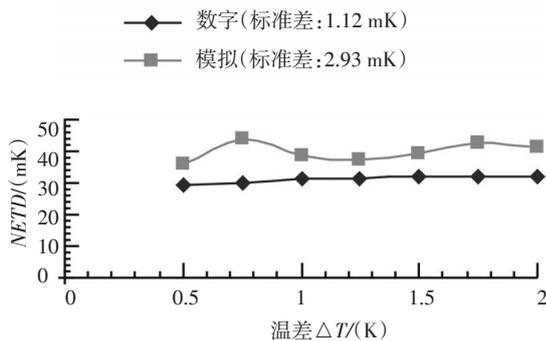


图5 两种模式下计算得出的NETD数据

偏差

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (8)$$

利用样本数据求得模拟方法测试的NETD标准偏差为2.93 mK,数字方法测试的NETD标准偏差为1.12 mK。除红外系统、测试系统噪声外造成偏差的因素还包括 ΔT 的不确定性^[9]。

数字图像测试数据组得到的NETD数值较低,是由于去除了 MTF_{da} 、 MTF_{da} 两个传递函数的影响,使测量的NETD更加接近真实的数据。同时较模拟图像测试数据组的数据随温度变化更加稳定,标准偏差

也更低。可以看出同一测试条件下NETD变化有其规律性,NETD测量值的差异跟测试条件有关^[10]。

5 结束语

通过对同一红外系统分别测试模拟图像、数字图像的NETD,分析是由于去除了 MTF_{da} 、 MTF_{da} 两个传递函数的影响,数字图像测试数据组得到的NETD数值较低,同时数据更加趋于稳定,标准偏差也更低,更能准确地反映红外系统的灵敏度。对同组的NETD也进行了分析,指出了NETD的变化规律。

参考文献

- [1] 王忆锋,毛京湘.利用NETD和探测器测试数据计算红外成像系统扫描效率[J].激光与红外,2008,38(11):1097-1099.
- [2] 宋丰华.现代空间光电系统及应用[M].北京:国防工业出版社,2004:243-250.
- [3] 刘彤宇.红外系统作用距离计算方法研究[J].光电技术应用,2008,23(3):30-32.
- [4] 杨宜禾,岳敏,周维真.红外系统[M].北京:国防工业出版社,2004:165-174.
- [5] HOLST GC.Electro-Optical Imaging System performance [M]. Winter Park:JCD Publishing,1995:362-367.
- [6] 钟文辉,李文书,周起勃.焦平面热像仪NETD参数的自动测量[J].激光与红外,2006,36(7):565-567.
- [7] Ronald G Driggers,Paul Cox,Timothy Edwards. Introduction to Infrared and Electro Optical[M]. ARTECT HOUSE, 1999: 249-255.
- [8] HOLST GC.Testing and Evaluati of Infrared Imaging systems [M]. Winter Park:JCD Publishing,1993:131-134.
- [9] 万英,祁蒙.热成像系统NETD自动测量方法研究[J].红外与激光工程,2007,36(6):414-417.
- [10] 安成斌,万英.热成像系统的NETD测试分析[J].激光与红外工程,2010,39(3):414-417.

欢迎利用期刊网站浏览本刊已发表文章

为了满足读者对《光电技术应用》期刊文章的快速、方便、阅读需求,《光电技术应用》期刊网站(网址为:<http://www.gdjsyy.com>),为读者提供了《光电技术应用》期刊2009~2012年已发表文章的在线浏览。读者可在过刊目录下,查阅2009~2011年期刊各期目录,点击文章题目或摘要,阅读文章全文。欢迎广大读者登陆期刊网站,及时了解《光电技术应用》期刊已发表文章的最新信息。

《光电技术应用》编辑部