

## 斜缝法热像仪 MTF 参数测量的探讨和实践

李 华,陈良友,雷 刚,曲卫东,王 非,张红林

(中国人民解放军 63880 部队,河南 洛阳 471003)

**摘 要:**结合红外热成像系统调制传递函数参数测试系统的研制,分析了斜缝法调制传递函数参数测试的理论,给出了其测量步骤和方法,以及相应的测试结果和分析对比数据。指出采取基于斜缝匹配的测量方法可以对探测器和光学系统分辨率等技术指标的要求适当降低。最后对影响测量结果的主要因素进行了分析。

**关键词:**红外热像仪; 调制传递函数测试; 斜缝法

**中图分类号:** TN21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)02-0201-03

### Analysis and implementation on canted slit-method for the test of MTF of infrared imaging systems

LI Hua, CHEN Liang-you, LEI Gang, Qu Wei-dong, WANG Fei, ZHANG Hong-lin  
(63880 Army Unit, PLA, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** This paper is based on the construction of the infrared static parameter test systems, which is designed to test modulation transfer function (MTF) of IR imaging systems. The fundamental theories of the canted slit-method to the measurements of MTF are analyzed. The testing method and steps are also given. After analyzing the method of data processing, the testing results and compared data corresponding to this method are provided. At last, the factors that influence accuracy and characters of the test system are also discussed.

**Key words:** Infrared thermal imaging systems; MTF test; Canted slit-method

## 0 引 言

调制传递函数(MTF)能客观地反映热成像系统的空间频率响应特性,是标志红外热成像系统性能的主要指标之一。虽然测量 MTF 的方法不断出现,用

狭缝测定线扩展函数(LSF)的方法以其实用、客观的特点具有重要应用价值,但该方法仍存在一定的缺点,如采样点数不足、采样效率低、需要采取精确定位措施(掩模法、“+”字靶标校准法)等,因此在测量精度和测量成本方面均存在局限性。

收稿日期:2003-05-09; 修订日期:2003-09-18

作者简介:李华(1969-),男,河南新乡人,高级工程师,工学硕士,主要从事光电检测和光电对抗试验总体工作。

## 1 狭缝法 MTF 参数的基本测试过程和条件

狭缝法测量调制传递函数测试原理如图 1 所示。

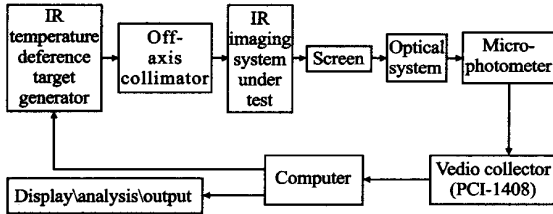


图 1 狭缝法 MTF 测试原理框图

Fig. 1 The principle diagram of the system

利用狭缝法测量红外热像仪调制传递函数时,在离轴抛物面平行光管的焦平面上放置红外温差目标发生器,利用温差目标发生器控制装置提供具有特定形状及温差的靶标,经离轴抛物面平行光管形成无穷远目标进入被测试红外热成像系统成像。使用成像微光度计对被测试红外热成像系统的显示器进行图像采集,并按照序列把分布函数的数值转变为电信号分布,再经视频采集卡传输到计算机。由计算机同步采集并进行降低噪声处理,利用成像微光度计测定红外热成像系统在热像仪视场某些特定位置的狭缝图像亮度,经过叠加平均等处理得到线扩展函数。然后利用离散傅里叶变换(DFT)求出其光学传递函数,分解为相位传递函数(PTF)和调制传递函数。最后进行测试结果的存储、输出。

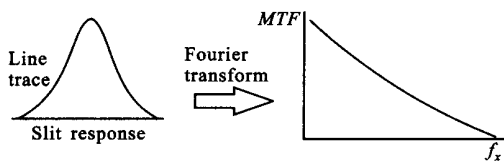


图 2 数据处理示意图

Fig. 2 Diagram of data processing

热成像系统调制传递函数测试的理论基础是对线性、空不变系统(VLI)的信号响应进行数学运算和分析。通过对测试系统和被测试红外热成像系统的信号传递函数(SiTF)测量,绘制 LOGL -  $\Delta T$  曲线,选取合适的温差范围使得测试系统和被测试红外热成像系统处在信号传递函数的线性工作区段,以保证系统满足基本测试条件。

根据 MTF 测试理论,要求狭缝与热成像系统、热成像系统与成像微光度计之间通过精密定位和调整机构保持严格的空空间关系,使得狭缝靶标在成像微光度计上的像与微光度计探测器阵列垂直方向一致,尽量避免或减小其偏差对测量结果的影响。

## 2 斜缝法 MTF 测量的基本思路

由于装调或调整误差等原因,在进行线扩展函数测量的时候狭缝在成像微光度计上的像与微光度计探测器阵列垂直方向存在一定夹角,即相对于探测器阵列垂直方向形成斜缝图像,如图 3 所示。

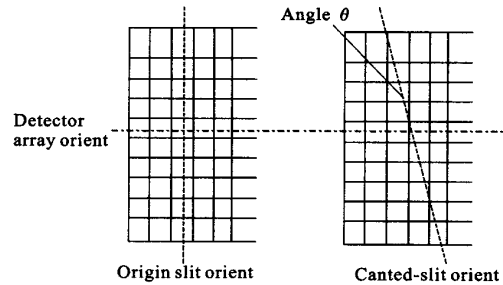


图 3 狭缝方向与探测器空间倾斜示意图

Fig. 3 The schematic diagram of array and slit orient

如果按照精密对准的测试方法,微光度计探测器阵列所采集的某一行数据的线扩展函数经过离散傅里叶变换得到的 MTF 数据与实际被测试热像仪 MTF 有一定的偏差。

图 4 绘出狭缝的一条边缘各位置对应的探测器单元响应情况。测量时,先经过数据的匹配处理,得到校准后的线扩展函数。该方法和常规数据采样方法相比,提高了系统采样空间分辨率。

在成像微光度计上,不同的探测单元对应斜缝不同位置的采样数据。如图 5(b)所示,对于斜缝边缘的每探测器行之间的位置偏差为:

$$\Delta x' = \Delta y \times \tan \theta$$

式中  $\theta$  为斜缝方向与探测器阵列方向的夹角,如图 3 所示; $\Delta y$  为成像微光度计上探测器行的间距。

经过数据叠加和配准后,对图 4(c)边缘响应处理得到系统的线扩展函数。这里采样的奈奎斯特分辨率为  $1/\Delta x'$ ,和原来的采样分辨率  $1/\Delta x$  相比,有

效数据采集量得到了提高。根据奈奎斯特定律,在相同的空间分辨率要求下,采取基于斜缝匹配的测量方法可以对探测器和光学系统的分辨率等技术指标的要求适当降低,而主要关心探测器的其他技术参数,如均匀性、灵敏度、暗电流等方面。

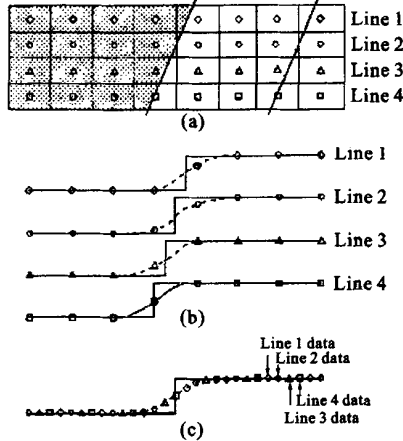


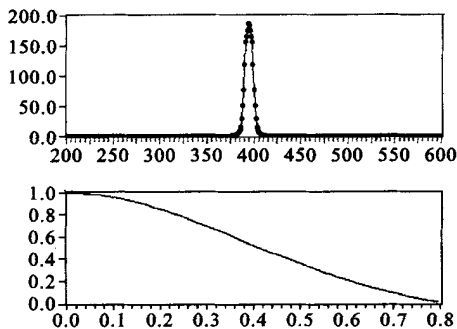
图 4 斜缝法的数据匹配处理示意图

Fig. 4 The schematic diagram of canted-slit method for data processing

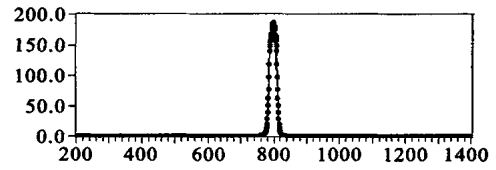
### 3 数据处理和结果

参数测试时,经过人工剔除、筛选和确定配准位置的方法,进行初步处理。根据测试中获得的采样数据,在斜缝匹配处理时利用线扩展函数的峰值位置、整体宽度等作为基准对有效数据判断每行的数据,保证峰值位置、边缘位置、斜缝位置的一致性。

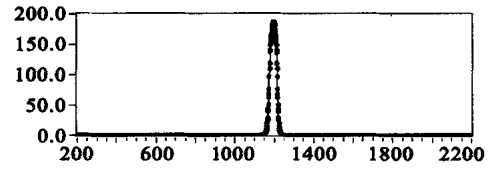
对经过消除噪声、平均、截尾等处理后的 LSF 进行离散傅里叶变换得到系统的调制传递函数,归一化后绘出  $MTF-f_x$  曲线。图 5 是利用不同数据处理方



(a) 采用精密对准平均法的线扩展函数和调制传递函数曲线  
(a) The LSF and MTF testing result with accurate calibration method



(b) 采用斜缝匹配法线对 2 行数据处理的线扩展函数和调制传递函数曲线  
(b) The LSF and MTF testing result with slit-canted method(two lines average)



(c) 采用斜缝匹配法线对 3 行数据处理的线扩展函数和调制传递函数曲线  
(c) The LSF and MTF testing result with slit-canted method(three lines average)

图 5 三种数据处理方法得到的 LSF/ MTF 曲线比较/ $lp\ mrad^{-1}$

Fig. 5 The comparison diagram to LSF/ MTF of three methods/ $lp\ mrad^{-1}$

法得出的结果。其中,(a)是采用精密对准进行 3 行数据平均的方法得到的线扩展函数和调制传递函数曲线。(b)是采用本文提出的斜缝法对两行数据进行匹配得到的线扩展函数和调制传递函数曲线。(c)是采用本文提出的斜缝法对 3 行数据进行匹配得到的线扩展函数和调制传递函数曲线。

从以上数据可以看出利用不同数据处理方法容易得到测量 MTF 的偏差,在相同的空间频率下统计数据表明:不同方法的 MTF 最大偏差小于 0.02%。由此可见,利用精密对准平均法得到的线扩展函数/调制传递函数和斜缝匹配法线对 2 行、3 行数据处理得到的点扩展函数和调制传递函数基本是一致的。

(下转第 208 页)

透镜或自聚焦透镜,耦合效率不太理想。其对准容差很小,不便推广使用。文中提出的渐变折射率平板波导结构的光耦合器可以较好地对接半导体光放大器的输出光束进行整形变换,光耦合效率高,且可放宽对准容差的要求,若用两个渐变折射率平板波导结构的光耦合器组合配对使用,将会得到更好的效果。

### 参考文献:

- [1] Khoe G D, Poulissen J, De Vrieze H M. Efficient coupling of laser diodes to tapered monomode fibres with high-index end[J]. *Electron Lett*, 1983, 19(6): 205-207.

- [2] Kim J R, Lee J S, Park M W, et al. Spot-size converter integrated polarisation insensitive semiconductor optical amplifiers[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1999, 11(8): 967-969.
- [3] Bruckner I J, Mersali B, Sainson S, et al. Tapered-waveguide integration for polarisation insensitive InP/InGaAsP based optical amplifiers[J]. *Electron Lett*, 1994, 30(16): 1290-1291.
- [4] 刘德明,刘雪峰,黄德修. 行波半导体激光放大器耦合技术研究[J]. *光学学报*, 1992, 12(4): 308-312.
- [5] 刘德明,向清,黄德修. 光纤光学[M]. 四川:电子科技大学出版社, 1995.
- [6] 刘德森,高应俊. 变折射率介质的物理基础[M]. 北京:国防工业出版社, 1991.

(上接第 203 页)

其中,在数据处理过程中应考虑多行斜缝匹配时空间频率的归一化。

## 4 影响结果的因素分析和讨论

### (1) 空不变(VLD)系统线性条件和 MTF 模型

在红外热像系统的 MTF 测量中,整体系统的线性和空不变条件是进行测试的理论基础,保证同样空不变性质是进行斜缝法 MTF 测量的基本前提。其中包括光学部件、被测试系统、光电转换、电子线路等整体系统线性影响。

### (2) 均匀黑体、狭缝靶标对制造工艺的影响

如上节所述,斜缝法 MTF 测量的前提是狭缝边缘在不同空间位置的狭缝响应为均匀等值,所以测试中狭缝必须能够满足 LSF 采样的信号强度、且宽度均匀、无毛刺、无突变,对狭缝的缝宽有一定要求。

### (3) 测试系统诸参数的影响

在光学部分:平行光管、镜头的分辨率像差、畸变;CCD 探测器的技术指标:像元尺寸、分布间隙、暗电流、均匀性、线性、灵敏度;在整体测试系统硬件设计中参与成像的各光学系统部件的波像差小于被测光学系统的  $1/3 \sim 1/5$ 。

### (4) 数据噪声的影响

在使用斜缝匹配法进行 MTF 测量时,应该结合测试系统采取各种降噪处理,如采取对热成像系统的闪变、跳越信号重叠等现象的处理;背景扣除;LSF 截尾;时间和空间序列平均等措施减小数据噪声。

## 5 结束语

斜缝法测定调制传递函数的实质是对传统线扩展函数法的改进。通过条件控制使整体测试系统各部分及热像仪系统基本满足测试条件后利用斜缝匹配法进行 MTF 测量,在粗调的基础上直接进行,不再需要复杂的微调。所采集的数据按照其数据组成的分布特点进行分析,使用软件处理的办法完成后续处理工作。这对于提高测试精度、降低测试成本具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] Nicolas Guerineau, Jerome Primot, Michel Tauvy, et al. Modulation transfer function measurement of an infrared focal plane array by use of the self-imaging property of a canted periodic target[J]. *Applied Optics*, 1999, 38(4): 631-637.
- [2] Gerald C Holst. *Testing and Evaluation of Infrared Imaging Systems*[M]. Co-published by SPIE and JCD Publishing Co. 1998.
- [3] Castleman K R; 朱志刚,林学渊,石定机,等. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社, 1998.
- [4] Eli Levy, Doron Peles, Michal Opher-Lipson, et al. Modulation transfer function a lens measured with a Radom target method[J]. *Applied Optics*, 1999, 38(4): 679-683.
- [5] 龚瑞昆. 改善传感器特性的软件处理方法[J]. *传感器世界*, 2001, 7(2): 43-47.
- [6] 房红兵,尹宝全,皮德富. 凝视热成像系统 MTF 测试技术分析[J]. *红外与毫米波学报*, 1998, 17(2): 125-128.