

像增强器 MTF 测量理想像面选择方法研究

拜晓锋^{1,2}

(1. 西安工业大学, 陕西 西安 710032; 2. 西安应用光学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了能够获得准确的调制传递函数测量结果, 对测量系统中投射图像的理想成像面进行选择调节。通过对微光像增强器调制传递函数测量系统光学成像性质的深入分析, 讨论了光学系统的像差特性, 利用平均中点取值法实现了微光像增强器调制传递函数测量中对理想成像面的选择。通过与微光像增强器已有测量结果的对比, 证明所述方法能够保证微光像增强器调制传递函数测量的准确性。

关键词: 调制传递函数; 像增强器; 理想成像面

中图分类号: TN144-34

文献标志码: A

Method of choosing ideal imaging plane in image intensifier MTF measurement

BAI Xiao-feng^{1,2}

(1. Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China;

2. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: Since MTF measurement is important for evaluating the imaging quality of low-light-level image intensifier, the imaging plane position in the measurement system is adjusted to obtain accurate MTF measurement results. The optical imaging feature of LLL image intensifier MTF measurement system was analyzed, and the aberration of the optical system was discussed. The ideal setting of the imaging plane in LLL image intensifier MTF measurement was implemented by the method of the average middle value. By comparing the result with the known value of the image intensifier, this method is proved to be accurate.

Key words: modulation transfer function; image intensifier; ideal imaging plane

引言

调制传递函数(MTF)这一概念是从描述纯光学装置的成像特性中发展而来的, 表征的是图像传感器重现输入图像的逼真程度, 且 MTF 具有频率独立性^[1], 能够真实地反映成像系统的空间频率响应特性。MTF 是评价微光像增强器件成像质量的一个被广泛接受的方法^[2]。MTF 在物理上等于被测器件对给定空间频率 N 谐波的输出调制度与输入调制度之比, 反映的是器件关于图像传递性能的

一项重要指标。本文将针对狭缝法测量像增强器 MTF 时的像面选择问题进行研究。

1 MTF 测量原理及系统

测量成像器件 MTF 的方法主要有方波响应法、狭缝法和刀口响应法。方波法通常得到的是对比度传递函数(CTF), 需要利用近似转换公式^[3]将 CTF 转换为 MTF, 这种近似关系会给 MTF 的计算引入公式误差; 另外, 在相同的条件下, 狭缝法比刀

口法的抗干扰能力要强^[4],因此MTF狭缝法测量具有明显的优势,本文测量系统采用狭缝法。

狭缝法测量MTF的原理是将物狭缝成像于器件的输入面,当狭缝宽度足够小时,其物频谱可以表示为 $M_0(N) = \frac{\sin \pi N d}{\pi N d} \Big|_{d \rightarrow 0} = 1$,近似于 δ 函数,则

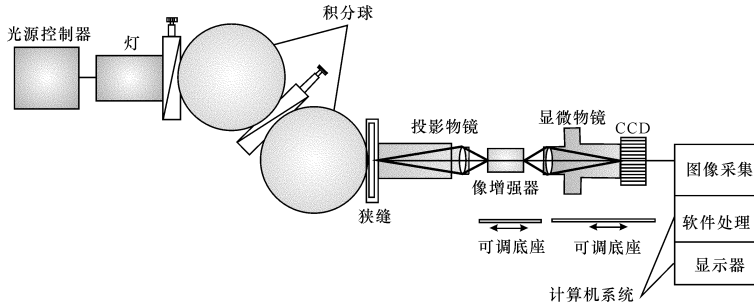


图1 Optikos 像增强器MTF测量系统图

Fig. 1 Optikos image intensifier MTF test system

光源由灯泡、控制器、积分球组、滤光片组以及可变光阑组组成,其输出的光照度是可以调节的,具体数值根据像增强器实际的工作情况而定。光源出射的光照射在狭缝靶上,狭缝通过投影物镜投射成像到像增强器的阴极面上,像增强器光阴极的光电子图像经过微通道板电子倍增,轰击荧光屏,最后输出亮度增强的图像。接收端的CCD相机在图像捕获器的控制下通过显微物镜对像增强器荧光屏上的图像进行采集,然后将采集数据传给计算机系统,通过处理软件I-SITE对数据进行处理并显示出结果。

在测量过程中,通过移动像增强器基座以及显微物镜基座获得MTF测量所需的清晰成像,从而保证MTF测量的精度。

2 像面分析

在以往测量中我们多采用人眼观察的清晰度法确认成像的效果,通常情况下由于物理焦深和几何焦深的存在,这种调焦法是有误差的^[5],其误差计算公式为

$$\phi = \left[\left(\frac{\alpha_e}{D_e} \right)^2 + \left(\frac{8\lambda}{KD_e^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

式中: ϕ 为清晰度法人眼的调焦误差; α_e 为人眼的分辨误差,通常取 $1'$; D_e 为人眼的瞳孔直径; λ 为波长通常取为 550 nm ; K 取6。根据上式计算的人

经过器件输出的狭缝像空间亮度分布就是该器件的一维线扩展函数,通过对该线扩展函数进行傅里叶变换并归一化处理,即可得到被测器件的MTF。美国Optikos公司的像增强器MTF测量系统正是基于此原理,其构成如图1所示。

眼调焦误差约为 0.22 rad/m 。这样的调焦误差对于像增强器MTF的测量准确度来说是有影响的。下面通过对调节理想成像面位置的几何分析寻找一种可以有效消除这种影响的方法。

像增强器是一种高真空光电图像增强器件,其光学特性与一块平行平板类似,在光学分析中可以将其视为一平面,如图2所示。

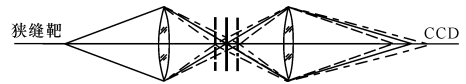


图2 像面调节示意图

Fig. 2 Schematic diagram of imaging plane adjustment

狭缝物通过投影物镜在理想像面(图2中加粗的黑实线所示)上成像,该像通过成像物镜被CCD相机所接收。不过由于人眼存在的调焦误差,实际所成像只是在理想像面附近。当实际成像在理想像面前方时(图中虚线所示),CCD接收到的图像应在理想位置的前方;当实际成像在理想像面后方时(图中点划线所示),CCD接收到的图像应在理想位置的后方。但是不管哪一种,其实际像面都不在理想位置处,所以CCD接收的图像始终都不是最清晰的,这样的图像经过数据叠加处理计算其MTF结果会使系统误差放大。

对于图2所示的投影光学成像特性,可以利用图3所示球差曲线(为了便于比较,只选取球差曲

线的D色线来描述)来作进一步的解释。当实际像面偏离理想位置时,其光线在理想像面的对应位置将不再处于中心位置,而是在中心位置上方或者是下方,这相当于改变了理想光束的入射角度,结果在CCD接收面上产生相应的球差。由图3可以看到实际位置偏离理想位置的距离越大,其球差就越大^[6],成像也就越不清晰,并最终变得模糊难辨。图3(a)所示为主光轴半边的球差特性,由于光束传播的圆对称性,全部的球差特性如图3(b)所示,其光轴上方和下方的球差特性曲线关于原点对称。在实际测量像增强器MTF时,我们只测量像增强器中心很小一个区域的MTF,这个区域对应到球差曲线图3(b)中虚线所框部分。在这部分由于其像差较小,可以认为成像的改变与偏离理想像面的距离是成线性关系的。

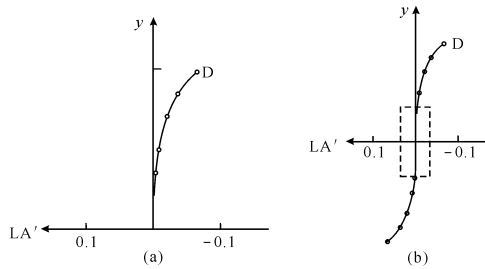


图3 球差曲线

Fig. 3 Spherical aberration curves

根据这一线性关系及球差曲线的对称性,借助于显示器上的CCD图像,只要能够找到前后2个球差相同的成像位置,那么取其中间位置就是成像的理想位置,即理想成像面,从而达到调节成像清晰的目的。

3 实验

根据上述分析,我们对像增强器的MTF测量进行了对比实验。实验中所用的靶标如图4所示。其中,图4(a)图为美军标1951分辨力靶,图4(b)

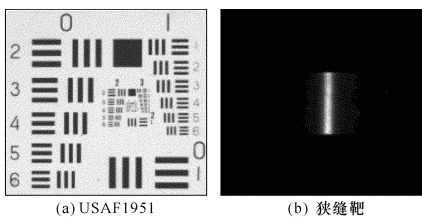


图4 实验中所采用的靶标

Fig. 4 Target used in experiment

为25 μm的狭缝靶。实验时先用图4(a)所示的靶进行大致的调焦,然后再用图4(b)所示狭缝靶在本文所述方法下进行精准调焦,调焦完成后进行MTF测量。两组实验的测量结果如图5所示,其中黑线为采用目视清晰度法调焦进行MTF测量的曲线,点线为采用本文所述方法调焦进行MTF测量的曲线。

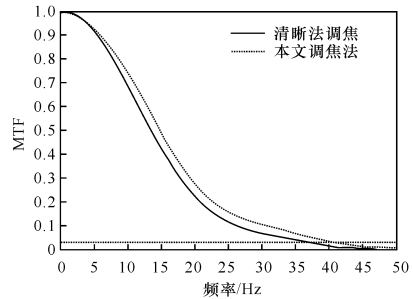


图5 像增强器MTF对比实验曲线

Fig. 5 Contrast experiment curves of image intensifier MTF

由图5可以看出,本文所述的调焦方法与目视清晰度法调焦的测量结果相比,两者在低频部分相差不大,这主要是因为人眼在低频部分具有较高的分辨能力,而在高频部分尤其是极限分辨率附近本文所述方法比清晰度法有着明显的改善。实际的测量结果表明,用本文所述方法调焦测量的MTF其极限分辨率更接近于像增强器的实际分辨率值。

4 结论

通过对微光像增强器MTF的实际测量,并与先前进行的MTF测量数据相比,文中所述方法具有客观评价的性质,消除了人为原因引起的测量不确定性,在一定程度上可以保证MTF测量的准确度和重复性。

参考文献:

[1] 李旭东,惠渭生,胡铁力,等. 红外热成像系统调制传递函数(MTF)测试研究[J]. 应用光学,2006,27(4): 323-326.
 LI Xu-dong, XI Wei-sheng, HU Tie-li, FU Jian-ming. Research on MTF measurement for thermal imaging systems [J]. Journal of Applied Optics, 2006,27(4):323-326(in Chinese)
 [2] SERGIO O, DEITZE O, CARLOS D. Optimum

parameters in image intensifier MTF measurements [J]. SPIE, 2004, 5612:382-391.

- [3] 向世明,倪国强. 光电子成像器件[M]. 北京:国防工业出版社,1999.

XIANG Shi-ming, NI Guo-qiang. The principle of photoelectronic imaging devices [M]. Beijing: National Defense Press. 1999. (in Chinese)

- [4] 郝群,沙定国,郑乃梅. 光学传递函数测量仪刀口和狭缝两种扫描方法比较分析[J]. 光学技术, 2001, 27(1):41-43.

HAO Qun, SHA Ding-guo, ZHENG Nai-mei. The calculation and analysis of knife-edge and slit

scanning in OTF measuring equipment [J]. Optical Technique. 2001, 27(1):41-43. (in Chinese)

- [5] 苏大图. 光学测试技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,1996.

SU Da-tu. Optical testing technique [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press. 1996. (in Chinese)

- [6] 《光学仪器设计手册》编辑组. 光学仪器设计手册[M]. 北京:国防工业出版社,1971.

“Optical Instruments Design Handbook” Edit Group. Optical instruments design handbook [M]. Beijing: National Defense Press. 1971. (in Chinese)