

利用激光散斑测量CCD的 调制传递函数 (MTF)

高 毅

摘要: 本文分析了抽样成像系统的OTF, 并讨论了与透镜OTF的非相干耦合问题, 同时提出了一种新的测量CCD的MTF的方法。这种方法利用激光产生的散斑, 在 CCD 的接收面上产生一个已知能谱分布的入射光强函数, 对CCD信号进行A/D变换, 作快速傅里叶变换 (FFT), 即可得到输出谱, 从而求得 MTF。该方法可直接对器件进行测试, 不需要精密的准直设备和高质量的成像透镜, 也不必对 CCD 的输出加放大电路, 简便易行, 能够满足对 CCD性能进行快速检测的要求。本文测定了东芝 TCD102C-1型 CCD 的MTF曲线。

一、引 言

随着CCD应用的日益普遍, 评价 CCD 成像性能的工作也变得越来越重要。由于光学传递函数OTF 的概念已经成功地应用在光学镜头的像质评价上, 并已成为人们普遍接受, 因此, 我们研究了利用OTF概念评价CCD成像质量的可行性。鉴于传统的测试CCD的 MTF 方法有诸多缺点, 如条纹板空间频率不易随意改变; 必须采用高质量的成像镜头; 条纹边缘容易发生畸变; 不能得到一条连续的曲线等^[1], 我们提出了利用激光散斑测量 CCD 的 MTF 的方法, 它克服了传统方法的缺点, 并能实现对 CCD 的 MTF 的自动快速检测。

二、CCD的OTF概念的分析

由于 CCD 是一种具有离散特征的抽样成像系统, 它不遵守空间不变(等晕)条件, 因此, 通常涵义下的 OTF 概念并不存在, 在其成像过程中, 只要输入图像的空间频率与成像系统的抽样结构(列阵单元中心距)之间不满足奈奎斯特(Nyquist)条件, 假频成分就会混入真频区而产生混淆效应(Aliasing effect), 在假频与真频的交叠区内, 物体不表现真正频谱, 为了解决这个问题, 我们可以在频率域内定义等晕区: 在可以接受的测量精度内, 当在物平面移动点源时, 其点扩散函数的傅里叶变换是一个常数。对于交叠区内, 频谱是随着点源位置而变化的。只有真频区的非交叠区才满足等晕区的定义, 在这个频谱范围内, 传递函数的概念是有意义的, 它才是表征 CCD 成像质量的系统量。对于一个包含光学镜头和 CCD 的光学系统, 也只有在这个等晕区内, 整个系统的 OTF_v 才满足下列非相干耦合原

注: 本文作者的导师为崔敦杰

则： $OTF_{s,y} = OTF_{LEN} \cdot OTF_{CCD}$ ，超过等晕区范围，这个关系式就不成立。因此，我们测量的CCD的OTF或MTF曲线只是一段断续的曲线，不能扩展到整个频率域。根据抽样过程的周期性质，在频率域内真频的重复也是周期性的，重复频率为 $\frac{1}{a}$ ，（ a 是CCD象元间距）。设在无抽样情况下，系统所能通过的最高空间频率为 f_{max} ，则等晕区范围为 $0 \sim \frac{1}{a} - f_{max}$ 。显然，我们所能获得的最高有效空间频率为 $\frac{1}{2a}$ ，即奈奎斯特频率极限。我们只需测量此范围内的MTF曲线^[1]。

三、实验的主要思想及设置

当一束相干的单色光打在一个粗糙面上时，在隔一定距离的观察平面上，由粗糙表面上散射出来的光产生干涉，这就形成了斑点状的光强分布，即散斑。其功率谱分布遵循下面的关系式^[3]：

$$S(f_x, f_y) = \langle I \rangle^2 \left\{ \delta(f_x, f_y) + \frac{\iint_{-\infty}^{+\infty} |P(\xi, \eta)|^2 |P(\xi - \lambda z f_x, \eta - \lambda z f_y)|^2 d\xi d\eta}{[\iint_{-\infty}^{+\infty} |P(\xi, \eta)|^2 d\xi d\eta]^2} \right\}$$

$P(\xi, \eta)$ 是 (ξ, η) 点的场振幅， λ 为入射光波长， $\delta(f_x, f_y)$ 为狄拉克函数，

因此，如果我们知道了散射面的光强分布，那么，在接收平面上的散斑图样的功率谱分布就得到了。对于典型的矩形散射孔 $L \times L$ 见图 1，图 2。 $|P(\xi, \eta)|^2 = \text{rect}\left(-\frac{\xi}{L}\right) \text{rect}\left(-\frac{\eta}{L}\right)$ 。那么，

$$S(f_x, f_y) = \langle I \rangle^2 \left[\delta(f_x, f_y) + \left(\frac{\lambda z}{L}\right)^2 \wedge\left(\frac{\lambda z}{L} f_x\right) \wedge\left(\frac{\lambda z}{L} f_y\right) \right]$$

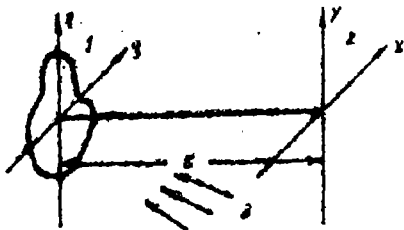


图 1 测量原理示意图

1—粗糙面 2—观察面 3—入射光

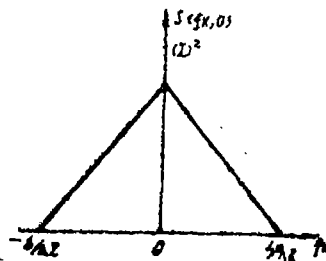


图 2 矩形散射孔所产生的功率谱分布

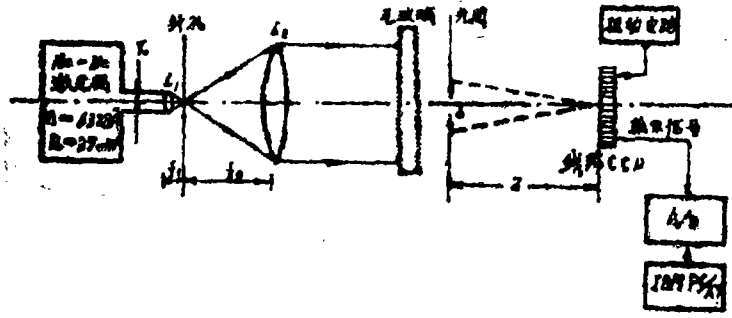


图3 测试系统设置图

根据这个思想，我们设计了如图3的实验装置。利用激光扩束产生近似均匀的平行单色光，用它来照射毛玻璃。在毛玻璃的后面不远处安置一光阑，使得在光阑上散斑的宽度比光阑大小相差很多，光阑的大小必须满足关系式： $L/\lambda z = \frac{1}{2a}$ [4]，(a是 CCD 象元间距)，以避免在测试中引入假频。对 CCD 的输出信号做 A/D 变换。这是由一个高速 A/D 板完成的，它采用 DMA 方式传输数据，其最高采样频率为 120kHz。采样的控制信号由 CCD 驱动电路中的 SP（取样脉冲）供给，采样的起始信号以 CCD 的移位脉冲为基准，于是，在 CCD 的移位寄存器开始输出信号时，A/D 板也被启动开始采样信号，这样，当 CCD 输出完一帧信号时，A/D 板也完成了对一帧信号的变换，并将数据送入内存。通过软件把内存中数据写入硬盘，备作数据处理。

四、实验的数据处理与结果

将数据从硬盘中读出，做快速傅里叶变换 (FFT)，求得输出谱。因为我们已知输入的功率谱，因而对输出谱做平方处理，除以输入的功率谱函数，再做开方处理，就得到 MTF 曲线。考虑到散斑的随机性质，必须做多次测量。在测量过程中移动毛玻璃，用不同的散斑分布来进行平均。最后拟合所得数据，就得到较为理想的曲线。见图 4

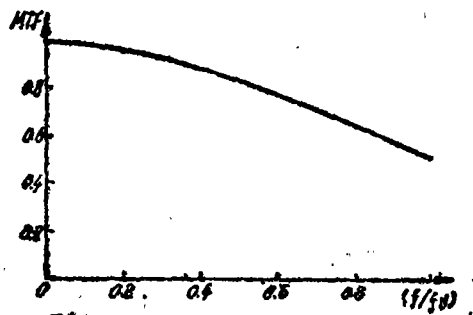


图4 拟合后的MTF曲线

五、结 束 语

通过以上的分析和实验结果,我们发现利用激光散斑测量CCD的MTF比传统的方法有很多优越之处,它不需要一些精密设备就能实现自动化检测,简便易行,较好地满足了目前对CCD的性能进行迅速检测的要求。

参 考 文 献

- [1] S. B. Campana, Opt. Eng., 16 (3), 267-274 (1977)
- [2] W. Wittenstein et al., Opt. Acta., 29(1), 41-50 (1982)
- [3] Goodman, Laser Speckle and Related Phenomena, J. C. Dainty, ed., pp35-40, Springer-Verlag, Berlin (1975)
- [4] G. Boreman, E. L. Derenlak, Opt. Eng., 25 (1), 148-150 (1986)

Using Laser Speckle to Measure Modulation Transfer Function (MTF) of CCD

Gao Yi

Abstract

This paper analyses the concept of OTF in sampled imaging system, discusses the problem incoherently coupled with OTF of lens and describes a new method for measuring MTF of CCD. The main idea of this method is to use laser speckle to produce an input light intensity distribution whose power spectrum has been known in receiving plane of CCD, conduct A/D conversion to the output signal of CCD and then do FFT. to obtain output spectrum. This method can directly test devices without optical or mechanical components of high quality, precision alignment and CCD output amplifier. It is very easy, but useful in the automatic fast test of CCD performance. The MTF of Toshiba TCD102C-1 model CCD has been measured.