

线阵 CCD 光电器件 MTF 测量

李耀斌

摘要: MTF 是 CCD 主要参数之一,它直接影响 CCD 的设计和使用的用途。本文介绍了一种测量 CCD MTF 的方法并测量了美国仙童公司 143/CCD 的 MTF 特性曲线。

一 引言

对 CCD 光电器件成象象质的评价,历来是 CCD 设计者和使用者十分关注的问题。

以前,对光学系统象质的评价,主要采用点光源在光学系统象面上,产生的衍射图样或用特殊分辨率板,以分辨两条线之间最近距离的倒数一分辨本领,来评价光学系统的象质^[1]。但是这两种方法都有一定的缺点。前者与实际联系不密切,后者虽与使用条件有联系,但实际上分辨本领与光的强度、光的性质等多种因素有关,在某些情况下并不能代表光学系统的真正成象质量。

自一九四六年法国的杜斐尔 (P. M. Duffieux) 的《傅里叶变换和它在光学中的应用》发表以后,一九四八年美国的谢德 (O. Schad) 第一次应用光学传递函数的观点来评价光学系统的象质,给人以很大的启发。

现在光学传递函数 (OTF) 概念已普遍被人们所接受。特别是在光学仪器的设计、制造和使用之间,光学传递函数 (OTF) 提供了共同技术语言和统一的评价标准。

我所自一九七八年以来,在研制许多新型光学仪器中,大量采用了 CCD 光电器件。评价 CCD 成象的象质,同样是关系到 CCD 的研制工艺、合理使用和应用前途。为此我们测量了 CCD 的调制传递函数 (MTF)。

二 MTF 的定义

光学传递函数 (OTF) 是由相位传递函数 (PTF) 和调制传递函数 (MTF) 两部分组成。一般相位传递函数不影响象的清晰度,实际上用得更多的是调制传递函数 (MTF)^[2]。自从一九七〇年世界上第一次报导了 CCD 以后,有许多作者发表了 CCD 的 MTF 计算公式^[3,4]。在此之后,又有不少文章和书籍引用了上述公式和在不同情况下的近似公式^[5,6]。

由 MTF 的定义式:

$$MTF = \frac{Mi(N)}{Mo(N)} \quad (1)$$

式中 $Mi(N)$ 为象函数的调制度; $Mo(N)$ 为物函数 (原函数) 的调制度; N 为正弦光栅频率。

实际测量中,我们如果把光栅黑白条纹反差做得足够大,这样不同频率的光栅分辨率经光学系统成象后,可以近似地认为景物的调制度 $Mo(N)$ 是固定不变的。为此我们制备了各种频率的方波分辨率图 1; 图 2 是调制度分别为 1 和 0 时的光强分布函数。



图1 不同频率的方波分辨率板

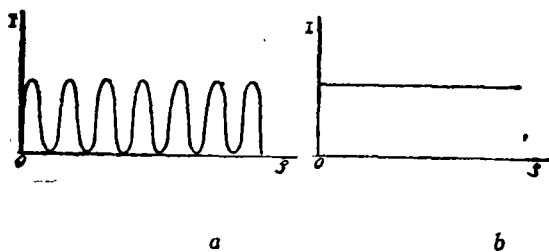


图2

调制度 $M = 1$ 的光强分布函数

调制度 $M = 0$ 的光强分布函数

若我们保证光强分布如图 2 a 的情况，则可近似地认为 $M_o(N) = 1$ ，所以只要确定象函数的调制度 $M_i(N)$ ，就可以确定出 MTF 。

由图 3 所示，调制度的定义为

$$M_i(N) = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (2)$$

式中 I_{max} 、 I_{min} 分别代表象函数光强分布的极大值和极小值。 $M_i(N)$ 表示了景物的明亮反衬度或对比度，即代表其分辨本领。

由此可见， MTF 是对光学系统成像清晰度的一种度量，它规定了对不同空间频率正弦波的振幅响应。

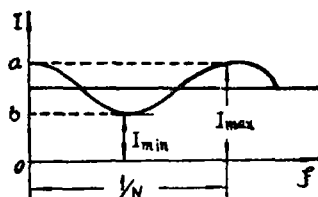


图3 $M_i(N)$ 定义图解

三 对比传递函数 (CTF) 和 MTF

由 MTF 的上述定义，在测试条件受限制的条件下，我们不易获得各种正弦波的空间频率。为避免制作正弦光栅分辨率板的困难而又能满足测量精度要求，我们可以采用“光电傅里叶法”——即采用容易制作、形状简单的矩形条纹代替正弦光栅，但需要对此进行数学的转换。

从数学角度上看，光强的矩形分布 $I(\zeta)$ ，可以看成是无数正弦分布的叠加结果。如图 4。由方波分布而测定的调制度称为对比传递函数 (CTF)^[1]。 MTF 与 CTF 之间的转换，可由下式决定：

$$MTF = M(N) = \frac{\pi}{4} \left[C(N) + \frac{C(3N)}{3} + \frac{C(5N)}{5} + \frac{C(7N)}{7} \dots \right] \quad (3)$$

虽然 CTF 对整个光学系统不能连续评价，然而只要把多项式 (3) 中的项数取得足够多，就能获得一定的测量精度。

四 测式系统和测量结果

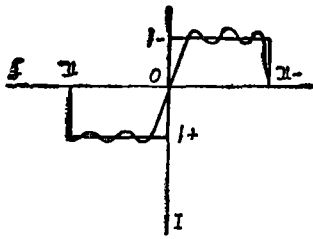


图4 方波与正弦波

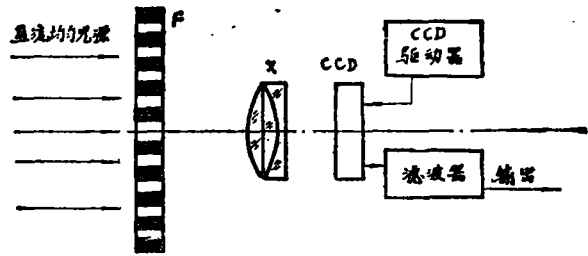


图5 测试系统方框图

测量CCD的MTF参数系统如图5所示：其中F为不同频率方波分辨率，X为调制度已知的光学系统。

CCD的CTF值由(4)式确定：

$$CTF(N) = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \times K_0 / K_i \quad (4)$$

式中的 K_0/K_i 为光强修正因子； K_i 为任意频率时的光照度； K_0 为某一最大光照度。

将测量的CTF值代入(3)式，再计入光学系统的调制度影响，即可得到CCD的MTF测量结果。

在实际测量CCD的MTF值时，要注意下列因素：

1. MTF的测定要在暗条件下进行，否则外界的杂光影响测试的精度；且与调制度 $M_o(N)$ 为固定的假设相违背。
2. 光源为直流均匀光，取景范围内照度均匀，信号无波动。
3. 制备光强为方波分布的不同频率的光栅条纹要具有高反差。
4. 实测中，被测CCD与分辨率板之间距离必须满足成像条件，并保证全部过程的光谱特性不变。
5. 实测中必须考虑光学系统的MTF对CCD器件MTF参数的影响。

图6是我们测量美国仙童公司生产的143/CCD器件单端输出的MTF特性曲线。因美国

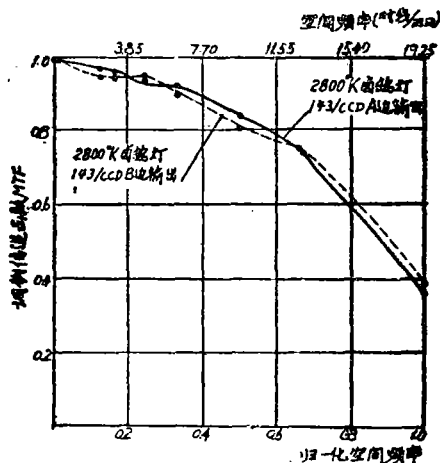


图6 143/CCD单端输出MTF特性曲线

仙童公司的 143/CCD 器件是双端输出器件, 为避免后面的电路对其输出的影响, 故分别测量了143/CCD单端输出的 MTF 特性曲线。

在这次实际测量中, 得到了陈楚康、刘铁军等同志指导和帮助, 为此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] 母国光、战元岭; 《光学》, 人民教育出版社, 1979.
- [2] 麦伟麟; 《光学传递函数及数理基础》, 国防工业出版社, 1979, 310—311
- [3] R. D. Nelson and W. P. Waters, CCD Applications Confproc, 1973, 207—215
- [4] M. J. Hows and D. V. Morgan; CCD and System John Wiley Sons, 1979, 264—266
- [5] D. F. Barbe; Proc.IEEE, 1975, 63, 1, 38—67
- [6] F. C. Fliot; IEEE Transction E. D., 1974, 21. 10, 613—616
- [7] 《光电子学手册》, 国防工业出版社, 1978, 90—95

Measurement Device MTF of CCD Liner Photo-Electric

Li Yaobin

Abstract

MTF is one of the main specifications of CCD and has a most important influence on the applications and designe development of CCD. This paper presents a way to test MTF of CCD and the measured MTF performance of 143/CCD made by Fairchild company USA.