

# 电荷耦合器件调制传递函数测试方法的研究

李 炜

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 本文在理论上系统阐述了用调制传递函数方法评价电荷耦合器件性能的可行性, 分析讨论了电荷耦合器件调制传递函数的构成, 系统研究了电荷耦合器件调制传递函数的测试方法。本文提出了测量方案, 并详细介绍了系统的构成及软件设计, 最后给出了测量结果。

**关键词:** 电荷耦合器件; 调制传递函数; 测试; 研究

## 1 前 言

随着 CCD 器件应用的日益广泛, 对其成像质量的评价也变得越来越重要。光学传递函数可表示为像的频谱与物的频谱之比, 其模数即为调制传递函数 MTF, 它已成功地应用于光学系统的像质评价上。CCD 器件作为成像元件, 因而选择 MTF 作为评价 CCD 像质的重要参数。本文对 CCD 调制传递函数 MTF 的测试理论与方法进行了研究探讨, 给出了建立于数字傅立叶分析法基础上的测试方案, 该方案可迅速准确地测量 CCD 器件的 MTF。该项工作对我所承担的航空航天部任务—CCD 测试仪的研制工作有一定的参考价值 and 实用意义。

## 2 CCD MTF 测量的理论基础

当用 MTF 描述一光学成像系统时, 此系统必须是线性空间不变系统, 此系统必须满足等晕条件。CCD 器件, 是在时空分离的成像系统, 当用 MTF 来描述其空间分辨率时, 其时空都是可变的, 不满足等晕条件。

CCD 作为分立的像传感器, 它将一光信号  $I(x)$ , 即辐照度转换成电压样值序列  $\{V_n\}$ ,  $n \in I_0$ , 在所有间距相等的情况下, CCD 可由一满足线性不变条件的积分采样过程来描述。为满足位移不变条件, 可以这样定义等晕区: 在测量精度内, 一成像系统的等晕区是这样一个频率区域, 当在物平面上移动点源时, 其点扩散函数的傅立叶变换在此区域内保持不变。此定义对没有混淆效应的成像系统而言, 与空间域内等晕区的定义完全等价, 而对带有混淆效应的抽样成像系统而言, 只有在等晕区内, 调制传递函数的概念才是有效的。对 CCD 成像系统而言, 等晕区的范围是  $0 \sim 1/d - f_1$ , 最大有效范围是:  $0 \sim 1/2d$ , 故 CCD 的 MTF 仅需测到奈奎斯特

频率。通常晕区的范围比较窄,但因 CCD 的 MTF 在奈奎斯特频率  $f_N$  以外下降很快,所以成像系统对奈奎斯特频率以外的频率透过率很低,这部分重叠分量在  $f_N$  内所占比重很小,所以可近似地忽略  $f_N$  内的重叠分量,认为等晕区为:  $0 \sim f_N$ ,从而应用 MTF 来分析。对于 CCD 器件而言,信号从输入到输出包含了三个相互衔接的过程,与此相对应,CCD 的 MTF 亦包括三个方面  $MTF_{积分}, MTF_{转移}, MTF_{扩散}$ 。对一个 CCD 来说,上述三种 MTF 都同时存在,总的调制传递函数  $MTF_{总}$  应为三者之积,对于不同的器件和使用情况而言,这三者对总的 MTF 的贡献是不同的,没有必要亦没有可能都考虑到,至于实际使用中的 CCD 的 MTF 的确定应根据器件自身性能和使用条件来确定。CCD 的 MTF 测量方法可分为两大类:一是直接测量像调制度,并将其除以物的调制度,二是测量系统的线扩散函数,并进行傅氏变换。

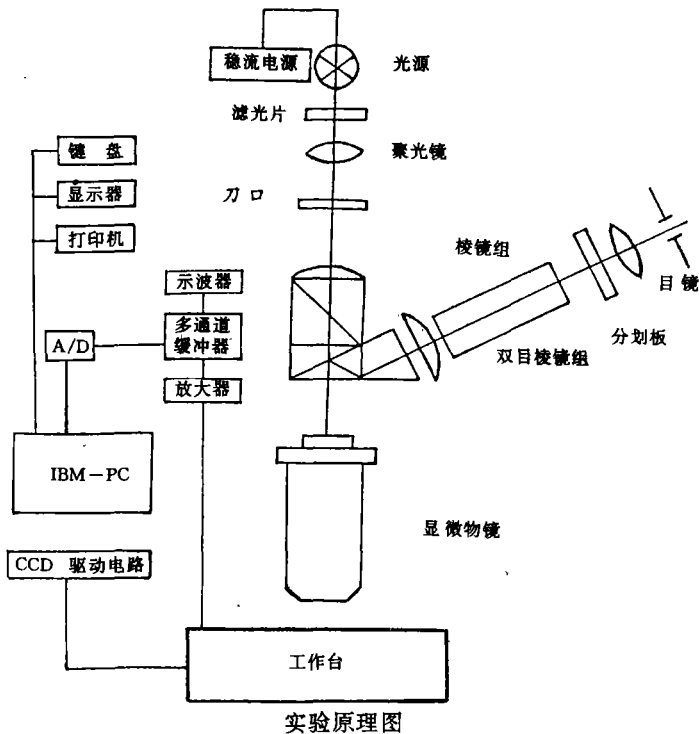
### 3 实验系统的原理与设计

由  $OTF(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} LSF(x) \exp(-i2\pi f(x)) dx$ , 知光学传递函数为线扩散函数的傅立叶变

换,只要确定线扩散函数  $LSF(x)$ , 然后对线扩散函数作傅立叶变换,即可求出光学传递函数  $OTF(f)$ , 而  $MTF(f)$  即为  $OTF(f)$  的模数。而刀口函数  $EXF(x)$  的一阶导函数就是线扩散函数  $LSF(x)$ ,  $ESF(x)$  可通过 CGD 对刀口像的扫描来得到。因此,只要能测量出刀口像的强度分布,即可得到一系列的  $ESF(x)$  离散抽样值,经计算机进行微分运算,就可以求出线扩散函数  $LSF(x)$ , 再进一步经过对  $LSF(x)$  的离散傅立叶变换,即可得到  $MTF(f)$ 。

### 4 计算机接口电路与数据处理

输出信号经前置放大后,送入微机,经 A/D 变换将扫描采样所得到的刀口函数变成数字量,以 DMA 方式快速存贮于计算机内存中,数据经平滑处理后,进行数值微分,快速傅立叶变换和消卷积处理,最后得到调制传递函数 MTF, 结果可由打印机和显示器输出。整个数据采集和处理过程,是在微计算机的管理和控制下进行的,数据采集和处理的程序设计可分为两大部分:一部分是



数据的采集,另一部分是数据的处理。因为 C 语言具有简洁、易调试、可读性与可移植性好的特点,所以整个程序是采用 C 语言和汇编语言的混合编程来实现的。数据采集软件是采用汇编语言完成的,该部分作为子程序,被 C 语言主程序调用,当程序执行后,采集到的数据,以数据文件的形式存盘,以供数据处理软件随时调用。数据处理软件主要包括平滑处理,数据重排列,背景噪声的消除,数值微分,快速傅立叶变换,调制传递函数计算,插值等。

## 5 实验结果和结论

在光学系统,数据采集系统及数据处理程序调试结束后,即可进行总体实验。实验结果证实了本文所阐述理论的正确性和实验方案的可行性。即在一定的条件下,可采用 MTF 评价 CCD 像质,并能给出较满意的实验结果。本文还做了对比实验和重复性实验。

## 6 结 束 语

本文在理论上系统地论述了应用 MTF 评价 CCD 特性的可行性,并给出了应用 MTF 评价 CCD 的条件。本文对 MTF 测试方法进行了详尽的分析讨论,并阐明了各种方法的优缺点;同时本文提出了测量方案,本文给出了较为满意的实验结果。实验结果表明:本文进行的理论推导是正确的,实验方案是可行的,采用此方法测量 CCD 器件的 MTF 有一定的实用价值和较为广泛的应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] 韩昌元,《信息光学基础理论及其应用》. 长春出版社,1989
- [2] 《线阵固体图像传感器特性参数测试方法技术规范》. 光电工程,1992,19(5)
- [3] Michol Sayag, R. H. Dyck, Extension of the modulation transfer function concept to solid state imagers optically coupled to fiber-optic faceplates. Academic Report of Fairchild Weston Systems, Inc.
- [4] John C. Feltz & Mohammad A. Karim Modulation transfer function of CCD. Applied Optics, 1990, 29 (5): 5717~722

## A Study of Charge-Coupled-Device MTF Testing Method

Li Wei

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

### Abstract

This paper analyses and discusses the probability to evaluate the character of CCD by the concept of MTF in theory, and gives the requirement to evaluate CCD by MTF; then this paper carefully discusses the method to evaluate the MTF of CCD, and gives the testing method; in the end, this paper gives the testing result and conclusion.

**Key words:** CCD, MTF, Measurement, Study