

文章编号: 1002-2082(2004)06-0054-03

CCD 相机调制传递函数测试软件的研制

关英姿¹, 韩四宁²

(1. 哈尔滨工业大学 航天工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 空军驻江西地区军代室, 江西 南昌 330000)

摘要: 数学傅立叶分析法是测量调制传递函数常用的一种方法, 为了迅速地给出采用该方法进行调制传递函数测试的结果, 针对刀口扫描测试 CCD 相机调制传递函数的测试系统研制了测试软件。软件可读入 CCD 相机摄取的数字图像文件, 对数据进行消噪声处理, 并自动识别刀口位置, 选择合适区域计算出相机的调制传递函数。软件采用 VC 语言编制, 结果以列表和曲线两种形式输出, 用户界面良好, 使用方便。利用该软件得到的测试结果与俄罗斯软件的计算结果吻合较好。

关键词: 调制传递函数; 刀口扫描; CCD 相机

中图分类号: TN386.5

文献标识码: A

Development of a Test Software for the Modulated Transfer Function of CCD Camera

GUAN Ying-zi¹, HAN Si-ning²

(1. Department Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Air Force Representative Office in Jiangxi Province, Nanchang 330000, China)

Abstract: Fourier analysis method is often used to measure the modulated transfer function(MTF) to get the MTF results quickly. And for this reason, the software for testing the optical transfer function of CCD camera is developed based on the knife-edge scan method. With this software, digital image files obtained by CCD camera can be read in, the noise among the data can be filtered and the position of the knife-edge can be auto-identified then the suitable area can be chosen to calculate the optical transfer function of the CCD camera. This software, which has a favorable user's interface, is developed with Visual C++ and can be operated conveniently. The calculated results can be outputted as both list and curve format. Our testing results are consistent with those gotten from Russian software.

Keywords: modulated transfer function(MTF); knife-edge scan; CCD camera

引言

调制传递函数是一个客观地评价光学系统成像质量的标准, 它具有许多优点, 并且从根本上克服了诸如星点检验、分辨率、几何像差等传统像质检验方法的不足之处^[1]。数学傅立叶分析法是测量调制传递函数常用的一种方法, 这种方法的数据处理过程需在计算机上进行。为了能够方便迅速地给出调制传递函数的测量结果, 本文针对下视 CCD 相机调制传递函数测量系统研制了相应的测试软件。

1 测试系统的组成及原理

测试系统由靶标、光学耦合系统、下视 CCD 相机和计算机组成, 如图 1 所示。为了模拟导弹上的下视 CCD 相机拍摄地面景物的实际情况, 采用光学耦合系统将靶标上的图像变换到无穷远。光学耦合系统的传递函数是已知的。靶标上的图像经过光学耦合系统成像在 CCD 光电接收面上, 并被 CCD 像元接收后转换为 CCD 的输出电信号, 再经过相关的电路, 由计算机进行信号采集得到数字灰度图

收稿日期: 2003-10-20; 修回日期: 2004-02-02

作者简介: 关英姿(1968-), 女, 满族, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 副教授, 主要从事光学目标仿真技术领域的研究工作。

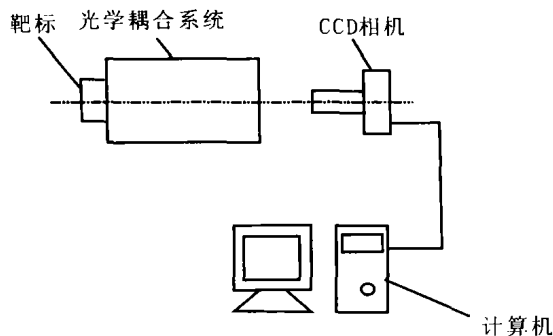


图1 测试系统示意图

Fig. 1 Diagram of test system

像。利用该数字灰度图像, 并进行一定的数据处理可得到整个系统的调制度。由于光学耦合系统和下视 CCD 相机的光学镜头之间不存在像差补偿, 因此可以将靶标、光学耦合系统、下视 CCD 相机看作系统中独立的光学串, 于是用整个系统的调制度除以靶标调制度和光学耦合系统的调制度, 可得到 CCD 相机的调制传递函数 MTF^[2~3]。本文研制的测试软件的功能就是利用灰度图像来获得 CCD 相机 MTF 的。

2 MTF 的确定原理

图 2 为测试中获得的刀口图像(是 $m \times n$ 个像素的灰度图像)。每一行各像元的灰度分布 G 为刀

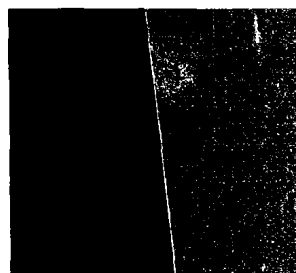


图2 刀口图像

Fig. 2 Knife-edge image

口扫描函数。线扩散函数 $LSF(x)$ 可由刀口扫描函数求得:

$$LSF(x) = \frac{dG}{dx} \quad (1)$$

在线性与空间不变系统的光学传递函数中, 由于相位传递函数并不影响构象的清晰度, 因此当不考虑相应变化时, 其线扩散函数的傅立叶变换模就是 MTF。

$$MTF = |FFT\{LSF(x)\}| = \sqrt{\left(\int_{-\infty}^{+\infty} LSF(x)\cos 2\pi f dx\right)^2 + \left(\int_{-\infty}^{+\infty} LSF(x)\sin 2\pi f dx\right)^2} \quad (2)$$

3 测试软件说明

测试软件流程图如图 3 所示。软件的具体实现过程如下。

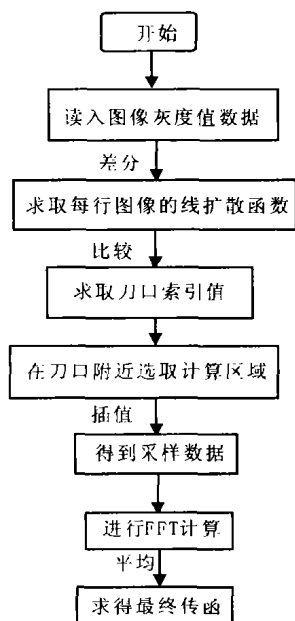


图3 软件流程图

Fig. 3 Software flowchart

1) 刀口图像灰度数据的读入及处理

刀口图像的灰度值数据由一个 $m \times n$ 的矩阵存储, m 是图像的高度(即行, 单位为像素); n 是图像的宽度(即列, 单位为像素)。每个像元对应一个点。图像数据的读入按行进行操作。

为了减少噪声, 提高计算精度, 对刀口图像的像元灰度数据按如下公式处理:

$$E(i, j) = \frac{G(i, j) - B(i, j)}{W(i, j) - B(i, j)} \times 1000 \quad (3)$$

式中, $E(i, j)$ 为处理后第 (i, j) 个像元数据; $G(i, j)$ 为刀口图像第 (i, j) 个像元的灰度数据; $B(i, j)$ 为暗场图像第 (i, j) 个像元的灰度数据; $W(i, j)$ 为白场图像第 (i, j) 个像元的灰度数据。

2) 线扩散函数的求取

可采用一次差分公式或二次差分公式计算线扩散函数。经多次试验, 我们在程序中采用了一次差分求取线扩散函数, 公式为

$$LSF(i, j) = \frac{E(i+1, j) - E(i, j)}{x(i+1, j) - x(i, j)} \quad (4)$$

式中, $x(i, j)$ 是第 (i, j) 个像元的位置坐标。

3) 刀口曲线索引值的求取

对每行求得的线扩散函数进行比较,可求得该行线扩散函数的最大值,此最大线扩散函数所在的位置就是该行刀口所在的位置。

4) 求取采样数据点

为了在 FFT 运算时避免混叠现象,根据奈奎斯特采样定理,抽样率 f_s 应满足:

$$f_s \geq 2f_{max} \tag{5}$$

式中, f_{max} 为信号的最高频率。然后根据需要选定空间频率的分辨率 F , 即频域抽样中两相邻点间的频率间隔。选定 F 后, 根据 $N=f_s/F$ 来确定 N , 且应选 $N=2^r$ (r 为整数)。具体做法是选取刀口附近一些像元, 利用这些像元的线扩散函数, 根据插值算法, 得到 N 个进行傅立叶变换所需的数据系列。

5) 进行傅立叶变换

对得到的采样数据系列进行傅立叶变换 (FFT), 傅立叶变换后的模即为 MTF。

6) MTF 归一化处理

将得到的 MTF 除以零频对应的传递函数系数以进行归一化处理, 得到所选频率点处的 MTF。

4 测试结果及讨论

图 4 为本软件和俄罗斯的软件对测试系统采集到的同一幅数字图像的处理结果。可以看出, 本软件的数据处理过程是正确的, 测试结果是可信的。

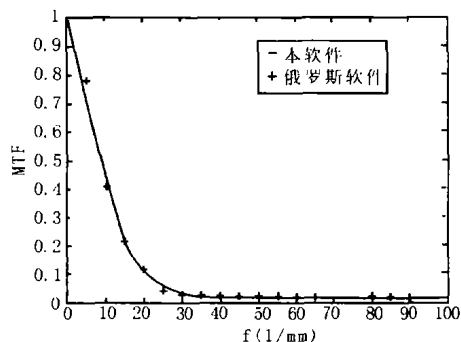


图 4 相机的 MTF 曲线

Fig. 4 MTF curve of camera

另外, 使用本软件需注意以下两点:

- 1) 本软件对其它采用刀口扫描的测试系统得到的数字图像仍然适用, 且对数字图像的尺寸无限制;
- 2) 对数字图像处理得到的 MTF 是包括相机、光学耦合系统和靶标在内的整个系统的 MTF, 其为相机 MTF、光学耦合系统 MTF 和靶标的 MTF 三者之积。

参考文献:

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

[2] 麦伟麟. 光学传递函数及其数理基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.

[3] 万春明, 佟首峰. CCD 相机调制传递函数测试原理分析[J]. 半导体光电, 2002, 23(1): 40-43.