

激光测距机瞄准系统分辨率全自动检测技术研究

陈志斌, 梁 艳

(军械技术研究所, 河北 石家庄 050000)

摘 要:通过对光学系统分辨率检测原理和检测手段的现状分析,提出了一种新型的分辨率全自动检测方案,通过对程控分辨率板、卡塞格林平行光管及 CCD 图像采集器三个主要部件的设计,研制出了一台全新的以计算机为中心的分辨率自动检测装置。它具有体积小、质量轻、速度快、精度高、智能化程度高、可扩展性强等特点,推广应用前景十分广阔。

关键词:激光测距机; 瞄准系统; 分辨率; 自动检测

中图分类号:TN2 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)05-0453-05

Full-automatic testing technology about resolution of aiming system of laser range finder

CHEN Zhi-bin, LIANG Yan

(Institute of Ordnance Technology, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Based on the analysis of the present testing principle and methods, a novel full-automatic testing design for the resolution is presented. With the three principal technical designs including programmed resolution chart, Cathegreen collimator and CCD image sampler, a unique testing equipment for the resolution of aiming system of laser range finder is developed, which can all be controlled, processed and displayed by computer. Because of small volume, light weight, high computerization and simple operation, the testing efficiency is improved greatly. It has a good prospect to be popularized and applied.

Key words: Laser range finder; Aiming system; Resolution; Automatical test

0 引 言

在传统的光学仪器像质评价中,应用最广泛的方法就是对仪器进行分辨率检测。图 1 为一测量分辨率所用的仪器装置。该仪器由平行光管、被检仪器和观测器件三部分组成。三者均安装在同一光具座上,目的是保证三部分的光轴重合。平行光管的作用是

产生一个无限远的像,作为被测系统的物,在平行光管物镜的焦平面上安装专门设计制作的人工目标图案——分辨率板,目前我国普遍采用 WT1005-62 型标准图案。这种图案由黑白相间、线宽相等的矩形光栅状线条组成,整套图案的线宽由细到粗按公比为 1.059 的几何级数规律依次递增,共有 73 个等级,依次分布在 N1~N5 的 5 块分辨率板上,每块板有 25 个单元(即 25 个等级),每个单元由 4 个不同方向

收稿日期:2003-11-04; 修订日期:2003-12-30

作者简介:陈志斌(1965-),男,湖南南县人,研究员,博士生,主要从事光学仪器与光电测试计量技术的研究。

的线条组成。

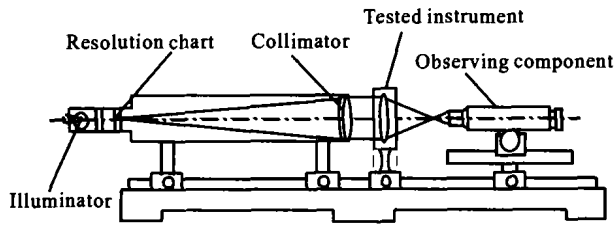


图 1 传统分辨率测量装置

Fig. 1 Traditional testing equipment to resolution

实际测量时,将激光测距机安装在夹持器中,通过观察系统,即前置镜进行观察。当使用 WT1005-62 型分辨率板时,依次从粗到细观察各组图案,直到在 4 个方向上均能分辨的最后一组为止。根据该组的号码,即可从手册中查到相应的线条宽度,用下式计算被测系统分辨率:

$$\alpha = \frac{2l}{f'_k} 206000'' \quad (1)$$

式中 l 为线条宽度(mm); f'_k 为平行光管物镜焦距(mm)。

由于这种方法采用透射式平行光管,体积、质量都较大,无法满足野外在线测试的需要,由于频繁转换分辨板影响工作效率,并且要求测量人员在光具座上逐步进行观察、记录、调整,其分辨率的等级由检验者的主观判断来决定,同时受到照明条件的限制,极易导致实验结果不够客观。为了实现在线检测,提高工作效率,增强检测结果的客观性,要求检测装置小型化、智能化,文中提出了一种轻巧的智能程控光学系统分辨率检测装置。

1 检测方案设计^[1]

激光测距机瞄准系统分辨率检测方案的测量装置由配有标准照明具的液晶程控分辨率板、卡塞格林平行光管和 CCD 图像采集器组成,如图 2 所示。通过微型计算机控制分划板各组各单元分辨率图案和采集被测瞄准系统成像后的图像信息,并通过图像处理显示检测结果。具体设计成一个闭环系统:由微型计算机编程控制液晶显示屏,按要求在卡塞格林平行光管的焦平面上产生分划图像作为目标图像,通过平行光管形成一个无穷远的目标,目标经过被检系统,经前置镜放大后,由 CCD 及图像采集卡采集该目标的像,并将形成的数字图像存入计算机,最后进行数

字图像分析,求出所需的参数。可以看出,计算机是整个系统的核心部件,控制产生目标图形,并进行数字图像的采集、分析、处理以及结果输出。

具体实施方法是:液晶屏垂直于光轴置于平行光管物镜焦平面上,产生的“无穷远处”的目标图形经被测光学系统成像,再通过前置镜放大和 CCD 自带的物镜调焦使目标成像在 CCD 靶面上,最终由图像采集卡形成数字图像,再送入计算机进行分析、处理,输出测试结果。液晶显示屏的制作采用 XGA3 空间发光模块,平行光管采用 $f=1000$ mm, $\varphi=140$ mm 的卡塞格林平行光管,CCD 采用敏通公司生产的 MTV-1881EX 型 CCD CAMERA,具体技术设计将在下文介绍。

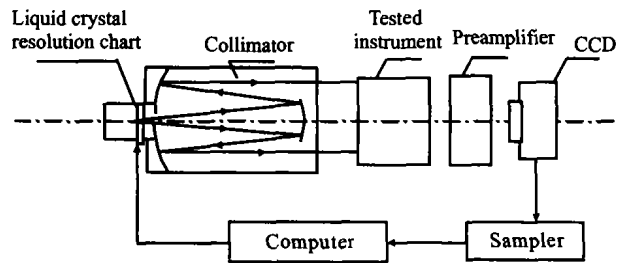


图 2 分辨率检测方案设计原理图

Fig. 2 Principle diagram of testing equipment for resolution

2 硬件和软件的具体设计

2.1 硬件设计

(1) 液晶图形发生器的设计^[2]

为了提高工作效率,避免人工更换分划板所带来的不便,使分划板能产生任意对比度和任意单元的分辨率图案,设计了液晶图形发生器来实现可见光目标模拟。液晶图形发生器实际上就是一块液晶屏,它利用液晶动态散射原理,构成液晶显示器。液晶屏由两块内表面镀有透明电极(简称 ITO 膜)的玻璃片构成,并在透明电极表面镀有使液晶分子按一定方向排列的定向膜。未加电压时为透明状态,当在两块对应的电极所施加的电压超过液晶的阈值电压时,液晶中离子团的运动扰乱了液晶分子排列,从而使入射光发生强烈散射,于是原来透明的电极部分呈现乳白色,达到了显示的目的。电压取消后,液晶分子即恢复原来状态,重新变为透明。采用的液晶分辨率为 1024×768 VGA 显示、对角尺寸为 2.3 cm、可实现 256 灰度等级显示。在附带软件的协助下,根据测量需要,

可通过计算机通讯口灵活控制显示分辨率图案的对比度、亮度和显示位置,操作简单,维护方便。

液晶分辨率板是将具有特定显示图样的液晶显示器置于检测系统的主光路中,在外加电压控制下产生目标图像,如图3所示。它具有结构简单、控制方便、无需调校、体积小、质量轻、成本低等优点,它的开发和使用时为检测装置的小型化、智能化提供了必要的条件。

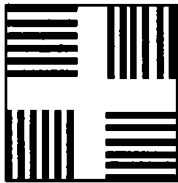


图3 分辨率图案的一个单元

Fig. 3 One unit of resolution pattern

(2) 卡塞格林平行光管的设计

为了进一步达到检测装置的小型化,采用卡塞格林结构的平行光管,如图4所示。为使成像质量达到预定的要求,一方面要考虑焦距、物距、像距、放大率、入瞳位置、出瞳位置等,另一方面是成像质量好,由于其视场较小,系统产生的像差主要是球差、色差和彗差等3种。

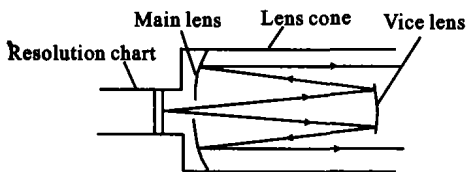


图4 卡塞格林平行光管结构设计

Fig. 4 Design of the Cassegrain collimator

为消除色差,采用双反射式系统;为了消除轴向的球差,用抛物面作主镜,方程为: $x = \frac{1}{2r_1}y^2$ (r_1 为抛物面顶点的曲率半径);次镜采用双曲面;其方程为:

$$x = \left(-\frac{1}{2r_1}y^2\right) / \left(1 + \left(\frac{1}{2r_2}\right)2ky^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

式中 r_2 为双曲面顶点的曲率半径; k 为双曲系数。经验证这样设计的平行光管主次镜距离只有131.03 mm 就能达到焦距 1000 mm、口径 140 mm 的要求,体积和质量大大减小,而且光学系统本身分辨率可达到 1.43"。

(3) CCD 像素采集卡的设计^[3]

CCD 摄像器件的每个光敏单元都是分隔开的,它属于空间上分立的光敏单元对光学图像进行抽样。根据采样定理的要求,抽样频率应高于图像的最高空间频率(lp/mm)的 2 倍。由于选用的 LCD 像素达 1024×768,由分划板大小范围 18.5 mm(H)×13.9 mm(V)可知,当黑白条纹宽度为液晶显示屏上一个像素大小,即 $P=18 \mu\text{m}$,经被检激光测距机(7×)和前置镜(16×)放大后,CCD 面上成像约 0.4 mm,最大空间频率为 1.25 lp/mm,则抽样频率应大于或等于 2.5 lp/mm,对应的抽样尺寸为 1/2.5(mm),即 0.4 mm。这里选用的 CCD 总像素单元为 795(H)×596(V),像素单元尺寸为 $8.6 \mu\text{m} \times 8.3 \mu\text{m}$,像敏区尺寸为 7.95 mm×6.45 mm,分辨率为 600TVL,对分辨图像的采集足以满足精度要求。

2.2 软件设计

(1) 图像预处理方法^[4]

用光电传感器件 CCD 摄像机代替人眼,对两物点之间的光场进行一定间距的采样,使各位置之间的光能变化转换成随时间改变的与电量成比例的值,经过采集卡后成为数字信号输入计算机。由于未经任何处理的原始图像都存在一定程度的噪声干扰,为了消除图像噪声,改善图像质量,必须对其进行预处理^[5]。

设一幅混入噪声的图像 $g(x,y)$ 是由原始图像 $f(x,y)$ 和噪声图像 $e(x,y)$ 叠加而成,则:

$$g(x,y) = f(x,y) + e(x,y) \quad (2)$$

假设各点噪声互不相关,而且具有零均值,首先可以通过一系列图像相加的方法来降低噪声。将 M 幅图像相加求平均得到一幅新的图像:

$$\bar{g}(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M g_i(x,y) \quad (3)$$

图像在获取过程中,受诸多噪声因素的影响,往往造成对比度偏低,清晰度下降,所以在预处理过程中必须进行图像增强,灰度直方图是一个最简单和最有力的工具。设图像 $f(x,y)$ 的像素总数为 N 、灰度级数为 L 、灰度为 r 的像素共有 N_r 个,则:

$$P(r) = \frac{N_r}{N} \quad (r = 0, 1, \dots, L-1) \quad (4)$$

称为 $f(x,y)$ 的直方图。

通过直方图进行边界阈值的选择是确立图像中简单物体边界的有效方法。根据分辨率图案的特征,

分划线与背景之间存在明显对比,选择合适的灰度阈值对图像进行处理将得到合理的分辨率图案边界。

为了进一步改善图像质量,需要完成图像平滑。较少灰度边缘的有效平滑技术是中值滤波。中值滤波器是一个含有奇数个像素的滑动窗口,经排序后,窗口像素序列为:

$$\{F_{i-v}, \dots, F_{i-1}, F_i, F_{i+1}, \dots, F_{i+v}\}$$

式中 $v=(L-1)/2, L$ 为窗口长度; F_i 为窗口像素的中值滤波输出,记作:

$$G_i = Med\{F_{i-v}, \dots, F_i, \dots, F_{i+v}\} \quad (5)$$

式中 $Med\{\cdot\}$ 表示取窗口中值。如一窗口长度为 5,像素灰度分别为 $\{20, 10, 30, 15, 25\}$,则 $G_i = Med\{10, 15, 20, 25, 30\} = 20$,若灰度值为 30 的像素为椒盐噪声,则经过中值滤波后即被消除。这样,通过对所得图像进行图像平均、增强和平滑之后,就完成了图像的预处理。

(2) 分辨率数值的求算原理

检验分辨率所用的分划线图案如图 5(a)所示,线条黑白相间,宽度相同。将这个图案沿 x 方向的亮度分布画出来,就是图 5(b)所示的矩形波光栅。

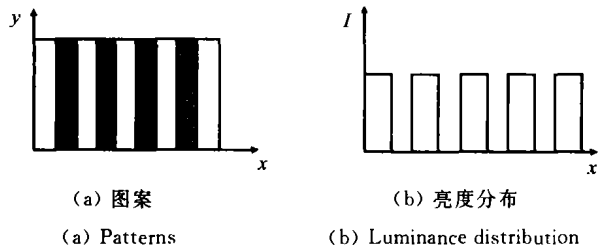


图 5 分划线图案及亮度分布

Fig. 5 Patterns and luminance distribution of resolution chart

任何图样都可以分解为若干个频率不同的亮度呈正弦变化的图样之和,如图 5(b)所示的矩形波光栅用 $I(x)$ 表示,可由下式组成:

$$I(x) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \frac{1}{5} \sin 5x + \dots \right) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sin x + \frac{2}{3\pi} \sin 3x + \frac{2}{5\pi} \sin 5x + \dots \quad (6)$$

公式(6)的级数即为傅里叶级数,是收敛的无穷级数,各个正弦波的频率都是基波频率的整数倍。上式的组成频率是奇数倍的,项数加得愈多,愈接近图 5(a)的形状。

由于光的衍射,一个发光物点即使通过具有圆形入瞳的理想光学系统成像,所成的像也不是一个点,

而是一个衍射光斑,如图 6 所示。当两个相邻的不相干等强度的发光物点通过同一理想光学系统成像时,两个物点像的光能量就会相互叠加,如图 7 所示。

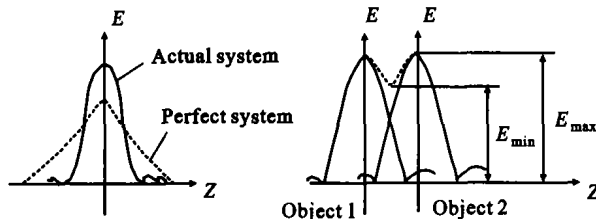


图 6 衍射光斑

图 7 光能量叠加

Fig. 6 Diffraction facula

Fig. 7 Energy accumulation

重叠部分光能量增加,两物点像之间的亮暗对比度 C 发生变化:

$$C = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min}) \quad (7)$$

人眼观察两相邻物点所成的像时,要判断出是两个像点而不是一个像点,起码要求两衍射重叠区的中间与两侧最大光强处要有一定量的明暗差别,即对比度 $C > 0$ 。究竟 C 值多大时人眼才能分辨出是两个像点,理论上有 3 个判断标准,即瑞利、道斯和斯派罗判据。在本检测方案的软件设计中也需要一个判断标准,即阈值 C_0 。数字图像进行预处理以后再通过计算机得出两物点之间的明暗对比度 $C = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$,使它与阈值 C_0 比较,就可以判断出两物点是否能为人眼所分辨,这就存在应设置多大的对比度阈值比较恰当的问题。

由于光学仪器的分辨率与人眼的对比灵敏阈值有关,所以标定仪器要采用人眼与测试装置比对实测的方法。通常认为人眼的对比灵敏阈值为 2% ~ 5%,但是各人之间的对比灵敏阈值是有差异的,而且测试人员的熟练程度对人眼灵敏阈值的发挥也有影响。因此在比对实测时,应选取 2~3 种有代表性的不同倍率且像质较好的光学仪器,请 5~7 位有经验的测试人员,在各种条件较好时,精心测量出被测仪器的目视分辨率,取其测量结果的平均值作为所选仪器的分辨率。然后在分辨率客观测试装置上进行实测,如显示的分辨率值与测定的分辨率值有差异,则调节目程序中的对比度阈值,直到数显值与已知值一致为止。从实测结果看,这种标定方法完全能满足使用要求。

实际测试时,在每组分辨率图案中有若干对线条,对每对线条采样并计算出对比度后再进行算术平均,得到该组线条的成像对比度,使该对比度与事先

存放在计算机内的规定阈值进行比较,以判断该组线条是否能分辨,如能分辨,计算机则给出指令,对下一组线条进行同样的采样、计算和判断;直到计算出的对比度小于规定阈值,即不能分辨,则它的上一组对应的就是被测仪器的分辨率,并用数字显示出测量结果。

(3) 软件程序流程如图 8 所示。

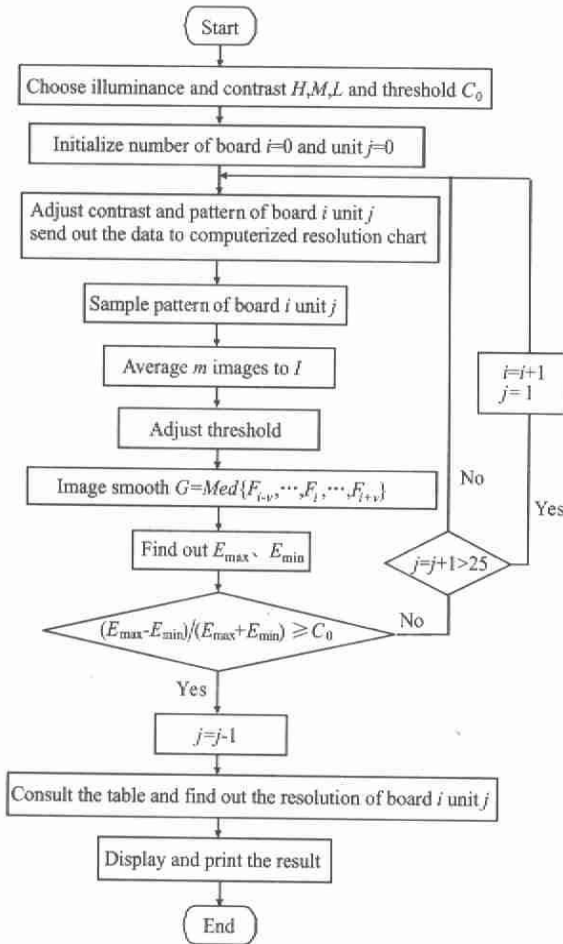


图 8 分辨率图案采集与处理程序流程图

Fig. 8 Flowchart of resolution patten collection and programm

3 实验结果及分析

用激光测距机作为检测对象,该激光测距机分辨率的名义值为 7", 计算机程序中设置的对比度阈值为 $C_0 = 2\%$, CCD 采集的图像如图 9 所示,实测结果为 7.41"。

从实测结果看,该测量方案的测量分辨率能满足使用要求。

4 结论

自从将傅里叶变换这种数学工具引入到光学成

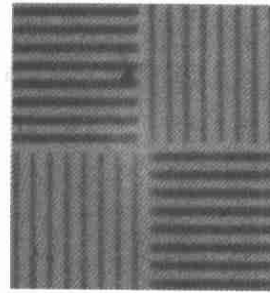


图 9 采集到的数字图像

Fig. 9 The sampled digital image

像理论及测试评价中,用光学传递函数来评价成像质量成为目前公认的较好方法。但是光学传递函数方法与分辨率方法相比,前者是空间频率的函数,而且受诸多参数的影响,测试设备比较复杂;而后者给出的是明确的数值,测量仪器较简单,易掌握,便于推广。所以,客观、主观测量因素影响实现分辨率的客观测量,对于评价军用光学仪器成像质量仍然具有重要的实用价值。

综合上述设计思想和实验结果分析可知,由于采用卡塞格林式结构的平行光管,使该检测装置比采用透射式平行光管检测方法的检测装置至少体积要减少 3/4,质量要减少 9/10,这为一些车载式的光学仪器分辨率野外在线检测奠定了良好的基础;同时由于分辨率图案可由计算机自动控制,避免了人工更换分划板所带来的不便,工作效率高;而且采用计算机控制 CCD 图像采集器进行图像采集并自动显示分辨率检测结果,保证了测量结果的重复性和客观性,检测精度也大为提高。该检测装置是光学仪器性能检测全自动化、智能化的一个有益尝试,对其他光学性能参数检测具有很重要的参考价值,而且成本较低,具有良好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] CHEN Zhi-bin, LIANG Yan, LONG Shu-lin. Computerized Testing Equipment to the Resolution of Night Vision Instrument with Faint Light[A]. SPIE[C]. 2002, 4927, 438-445.
- [2] 郭强. 液晶显示应用[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [3] 黄声野,林家明. 以 LCD 为目标的自动定焦判据的选择[J]. 光学技术,2002, 23(1):537-538.
- [4] 刘文耀. 光电图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [5] 王春柏,赵保军,何佩琨. 基于免疫遗传算法的自适应图像分割方法[J]. 红外与激光工程,2004, 33(2):178-180.