



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101943631 A

(43) 申请公布日 2011.01.12

(21) 申请号 201010241745.9

(22) 申请日 2010.08.02

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号

(72) 发明人 郎小龙 孙辉 孙俊喜

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 王立伟

(51) Int. Cl.

G01M 11/02 (2006.01)

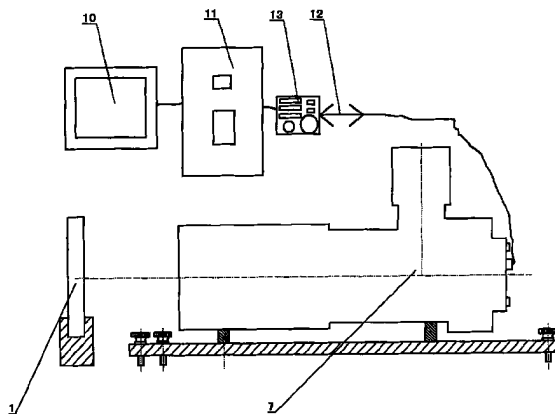
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

光电平台视轴稳定误差测试仪

(57) 摘要

光电平台视轴稳定误差测试仪,属于光学结构设计和图像处理技术,光电平台视轴稳定测试仪包括光学系统和图像处理系统两大部分,主要特征是在自准直仪的焦平面上用高速数字 CMOS 探测器代替常规的目视分划板或者 PSD 探测器,这样视场大 51.2 倍,高速数字 CMOS 探测器的帧频为 200fps,与常规帧频 30fps 探测器相比,缩小了相邻两帧图像之间时间采样间隔,提高了反射镜的空间采样密度,有利于提高反射镜动态位置测量精度。采用光斑图像亚像元运动检测技术,即基于相位相关的亚像元配准技术,把图像分辨率提高到 1/15 像元,实现了光学系统拥有较宽视场角、高分辨率,该测试仪的视场角为 2° (对角线),测角精度为 1.2"。



1. 光电平台视轴稳定误差测试仪,其特征在于:在自准直仪(7)的焦平面上采用高速数字 CMOS 探测器(6)代替常规的目视分划板或者 PSD 探测器,该视轴稳定误差检测仪包括光学系统和图像处理系统两大部分;

光学系统包括平面反射镜(1)、自准直仪(7);

光学系统采用自准直式,星点孔与探测器(6)共轭,星点像经光学系统投射到反射镜(1),探测器(6)接收到返回的星点像,把不同时刻的星点像位置传输到图像处理系统;

图像处理系统包括显示器(10)、工作站(11)、PCI 总线(12)、图像采集卡(13);

图像采集卡(13)是光学系统探测器(6)与工作站(11)的接口单元,通过 PCI 总线(12)与探测器(6)连接,输入视频图像信息;工作站(11)是数据处理的核心单元,承担各工作单元控制和数据处理任务;显示器(10)实现数据显示功能,显示操作状态、视频图像、数据处理结果。

2. 根据权利要求 1 所述的光电平台视轴稳定误差测试仪,其特征不在于:

所述光学系统:包括反射镜(1)和自准直仪(7);

其中反射镜(1)为平面反射镜;

自准直仪(7)包括物镜组(2),光源(3),星点孔(4),立方棱镜(5),高速数字 CMOS 探测器(6),自准直仪(7),基座(8),基座微调螺钉(9);

各部件的连接关系:星点孔(4)位于自准直仪的焦平面,探测器(6)与星点孔(4)共轭,星点孔(4)被光源(3)照明后经立方棱镜(5)反射,透过物镜组(2)发出准直光,准直光照射到正前方的平面反射镜(1)后,反射回自准直仪(7),再次穿过物镜组(2)和立方棱镜(5),星点像成像到探测器(6)上,基座(8)承载自准直仪(7),基座微调螺钉(9)调整自准直仪(7)的视轴与平面反射镜(1)法线平行,保证自准直仪接收到平面反射镜(1)返回的自准像,物镜组(2)、立方棱镜(5)、探测器(6)安装在同一光轴上,并且位于自准直仪 7 的机械壳体中。

3. 根据权利要求 1 所述的光电平台视轴稳定误差测试仪,其特征不在于:

所述图像处理系统:包括显示器(10)、工作站(11)、PCI 总线(12)、图像采集卡(13);

工作站(11)是图像处理系统的核心单元,主要由图像采集、图像存储、光斑运动检测、稳定精度计算、数据分析功能模块组成;

功能分配方案如下:

a) 图像采集

通过通信接口,输入控制图像采集参数,包括图像分辨率、采集帧频等,通过图像采集卡,从光电平台视轴稳定测试仪图像接口设备采集视频图像数据;

b) 图像存储

分配所需的内存缓冲区空间,将采集的图像数据存储于计算机内存中;

c) 读取数据

从内存中读取数据;

d) 光斑运动检测

从计算机内存中装载采集到的全部视频图像数据,分析图像数据,采用图像运动检测算法,检测图像中星点像的运动量,计算星点像所处的角度值;

e) 稳定精度计算

统计分析序列图像中星点像的运动量,计算最大值、最小值、平均值及样本方差等。

光电平台视轴稳定误差测试仪

技术领域：

[0001] 本发明涉及一种光电平台视轴稳定误差测试仪的光学、结构设计和图像处理技术,用高速 CMOS 数字相机作探测器,应用图像处理技术,设计、制造了一种光电平台视轴稳定误差测试仪。

背景技术：

[0002] 安装在飞机、舰船或地面车辆上的光电平台不同程度地受到基座的摆动、振动影响,导致光电平台上光学系统的视轴晃动,使光学系统图像模糊,降低光学系统的探测、识别距离。工程师们采用减振和伺服控制技术抵消基座的摆动、振动影响,理论上,伺服稳定系统可以使光电平台相对于惯性空间保持“稳定”,抵消摇摆台或振动台运动造成的光电平台视轴晃动,由于减振和伺服控制技术不完善,致使光电平台仍然有残余视轴晃动。视轴晃动是评价光电平台减振和伺服控制技术的关键指标,视轴晃动的测试技术是光电平台研究的基础。

[0003] 视轴晃动测量需要将光电平台固定在摇摆台或振动台上,摇摆台或振动台按一定频率、摆(振)幅运动,启动光电平台伺服控制系统,按以下几种方式检查光电平台的视轴晃动。

[0004] 第一种方法是在光电平台上固定平面反射镜,用小激光器照明平面反射镜,平面反射镜将激光斑点反射到离开光电平台一定距离的观察屏上,观察反射激光斑点的运动范围,光电平台的视轴晃动角误差：

$$[0005] \quad \theta = \arctan \frac{R}{2L}$$

[0006] R :激光斑点晃动的最大直径

[0007] L :光电平台到观察屏距离

[0008] 由于激光斑点晃动的最大直径测量精度和光电平台到观察屏距离的测量精度低,导致光电平台的视轴晃动的测量精度低,一般在几角分左右,不能满足高精度光电平台的视轴晃动测量要求。

[0009] 第二种方法是用静态自准直平行光管正对光电平台上的平面反射镜,光电平台运动时,观察静态自准直平行光管分划板,根据分划板刻度,目视返回星点像的运动范围,估计光电平台视轴稳定误差。这种方法属于定性分析,人为因素大,测量精度低。而且静态自准直平行光管的视场角仅仅 $10'$,如果光电平台的伺服稳定误差稍大,或者记录的起始位置没有选好,返回的星点像容易偏出静态自准直平行光管视场角,操作难度大。

[0010] 第三种方法是在第二种方法的基础上,用 PSD 探测器代替自准直平行光管分划板,进行动态测量。据报道,角度测量精度达到 $2''$,但是,PSD 探测器线形区域小,最大值仅仅 $\pm 0.15\text{mm}$,仪器最大量程只有 $1' 40''$,动态测量时返回的星点像非常容易偏出视场角,导致测量失败。

[0011] 本文在参照上述检测方法基础上,设计自准直光学系统,用高速 CMOS 数字相机作

探测器,应用图像处理技术,研制了视场角为 2° (对角线),测角精度为 $1.2''$ 的光电平台视轴稳定误差测试仪。

发明内容:

[0012] 为了解决背景技术中光电平台视轴稳定误差测量技术中的测量精度低、测量范围小等缺点,本发明设计了一种新型光电平台视轴稳定误差测试仪。

[0013] 1、光电平台视轴稳定误差测试仪原理

[0014] 光电平台视轴稳定测试仪的光学结构如图 1 所示:

[0015] 光电平台视轴稳定测试仪与常规的自准直仪原理相同,不同的是在自准直仪的焦平面上用高速数字 CMOS 探测器代替常规的目视分划板或者 PSD 探测器。如背景技术所述,目视分划板的自准直仪不能定量测量。高速数字 CMOS 探测器的尺寸是 $15.36\text{mm} \times 12.29\text{mm}$,远大于 PSD 探测器的有效尺寸 $0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm}$,在相同焦距下,本自准直仪用高速数字 CMOS 探测器比 PSD 探测器的视场角大 51.2 倍,

[0016] 视轴稳定误差检测仪由光学系统与图像处理系统两大部分构成,如图 1 所示。

[0017] 光学系统由平面反射镜 1、自准直仪 7 组成。

[0018] 光学系统采用自准直式,星点孔 4 与探测器 6 共轭,星点像经光学系统投射到反射镜 1,探测器 6 接收到返回的星点像,把不同时刻的星点像位置传输到图像处理系统。

[0019] 图像处理系统由显示器 10、工作站 11、PCI 总线 12、图像采集卡 13 组成。

[0020] 图像采集卡 13 是光学系统探测器 6 与工作站 11 的接口单元,通过 PCI 总线 12 与探测器 6 连接,输入视频图像信息;工作站 11 是数据处理的核心单元,承担各工作单元控制和数据处理任务;显示器 10 单元实现数据显示功能,显示操作状态、视频图像、数据处理结果等信息。

[0021] 图 3 是光电平台视轴稳定测试仪的光学系统机械结构图,平面反射镜 1,物镜组 2,光源 3,星点孔 4,立方棱镜 5,高速数字 CMOS 探测器 6,自准直仪机械结构 7,基座 8,基座微调螺钉 9。

[0022] 各部分的位置及连接关系:

[0023] 星点孔 4 位于自准直仪 7 的焦平面,探测器 6 与星点孔 4 共轭,星点孔 4 被光源 3 照明后经立方棱镜 5 反射,透过自准直仪物镜组 2 发出准直光,准直光照射到正前方的平面反射镜 1 后,反射回自准直仪 7,再次穿过物镜组 2 和立方棱镜 5,星点像成像到探测器 6 上。图像处理系统记录星点像在探测器上的位置,为精确捕捉反射镜运动中的倾斜位置,选用高速数字 CMOS 探测器,与常规帧频 30fps 探测器相比,缩小相邻两帧图像之间时间采样间隔,提高了反射镜的空间采样密度,有利于提高反射镜动态位置测量精度。高速数字 CMOS 探测器的帧频为 200fps,相邻两帧图像的星点像位置差反映出平面反射镜在 $1/200$ 秒之间的倾斜角,计算方法见公式 1:

$$[0024] \quad \eta = \arctan \frac{b}{2f'} \quad 1)$$

[0025] η :相邻两帧图像的星点像位置差

[0026] b :在高速数字 CMOS 探测器上测量的相邻两帧图像的星点像位置差

[0027] f' :自准直仪焦距

[0028] 2、光斑图像亚像元运动检测技术

[0029] 一般情况下,光学系统同时拥有宽视场角以及高分辨率是互相矛盾的。详见自准直仪的视场角公式 2 :

$$[0030] \quad \omega = \arctan \frac{D}{2f'} \quad 2)$$

[0031] ω :自准直仪的视场角

[0032] D :探测器尺寸

[0033] f' :自准直仪焦距

[0034] 自准直仪分辨率见计算公式 3)

$$[0035] \quad \theta = \arctan \frac{a}{f'} \quad 3)$$

[0036] θ :自准直仪分辨率

[0037] a :探测器像元尺寸

[0038] f' :自准直仪焦距

[0039] 对于给定焦距的光学系统,探测器尺寸越大,其视场角越宽;探测器像元尺寸越小,其分辨率就越高。受到器件物理条件、数据传输带宽、采购成本等各方面的限制,获得理想的大靶面、小像元的探测器非常困难,只能综合考虑,折中选取探测器参数。

[0040] 数字图像处理技术的发展为我们提供了解决上述问题的有效途径,通过采用基于相位相关的亚像元配准技术,可以把图像的分辨能力提高到亚像元水平。

[0041] 假设运动图像函数 $f(x, y)$ 是关于空间变量 (x, y) 的连续函数,在某一时刻,图像点从 (x, y) 运动到位置 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$,则根据霍恩 - 舒恩克 (Horn-Schunk) 提出的运动物体 2-D 时空模型,图像像素强度守恒。图像 $f_1(x, y)$ 经过偏移矢量 $(\Delta x, \Delta y)$ 后得到新图像 $f_2(x, y)$,即满足下述方程 :

$$[0042] \quad f_2(x, y) = f_1(x + \Delta x, y + \Delta y) \quad 4)$$

[0043] 对 4) 式两边同时进行傅里叶变换得 :

$$[0044] \quad F_2(u, v) = \iint_{x, y} f_2(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy = \iint_{x, y} f_1(x + \Delta x, y + \Delta y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy$$

$$[0045] \quad = e^{-j2\pi(u\Delta x+v\Delta y)} \iint_{x, y} f_1(x', y') e^{-j2\pi(ux'+vy')} dx' dy'$$

$$[0046] \quad = e^{-j2\pi(u\Delta x+v\Delta y)} F_1(u, v) \quad 5)$$

[0047] 求解上式可得到

$$[0048] \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T Y$$

[0049] 其中

$$A = (u, v), \quad X = (\Delta x, \Delta y), \quad Y = -\frac{1}{2\pi} \|\ln(F_2(u, v) / F_1(u, v))\| \quad 6)$$

[0050] 本发明的积极效果是在自准直仪的焦平面上用高速数字 CMOS 探测器代替常规的目视分划板或者 PSD 探测器,这样视场大 51.2 倍。

[0051] 由于检测系统在室内,星点光斑形状比较理想,测角分辨率有把握达到 1/15 像元,自准直仪分辨率达到 0.58"。满足光电平台视轴稳定误差测量要求,经过检测,视轴稳定误差测试仪的测角精度优于 1.2"。

[0052] 光斑图像亚像元运动检测的仿真计算见表 1。

附图说明：

[0053] 图 1 是光电平台视轴稳定测试仪的总体结构示意图,包括平面反射镜 1,自准直仪 7,显示器 10,工作站 11,12PCI 总线,图像采集卡 13。

[0054] 图 2 自准直平行光管光学成像质量 MTF。

[0055] 图 3 光学系统结构图,其中包括平面反射镜 1,物镜组 2,光源 3,星点孔 4,立方棱镜 5,高速数字 CMOS 探测器 6,自准直仪机械结构 7,基座 8,基座微调螺钉 9。

[0056] 图 4 图像处理系统流程图

具体实施方式：

[0057] 1、视轴稳定测试仪的光学机械结构设计

[0058] 视轴稳定测试仪的光学设计的基本参数是视场角 2° 视场角(对角线),测角精度优于 2"。由于光学结构焦距较长;相对孔径较大;并且是自准成像,落在 CCD 像面上的针孔像经过光学系统两次。因此要求光学系统的像质较高,轴外像差和二级光谱均须校正,所以采用正组、负组分离的两组形式,正组采用了两块 FKB_{2B}(特殊色散)玻璃校正二级光谱。图 2 是自准直仪光学结构的 MTF 计算值,在 42lp/mm 时,MTF = 0.7,光学设计质量优良。

[0059] 为保证自准直仪获得 2° 视场角(对角线),设计光学系统焦距为 281.6mm,选取 Mikrottron GmbH 公司的 MC13101280×1024 像元的高速数字 CMOS 器件为探测器,探测器尺寸 15.36mm×12.29mm,像元尺寸是 12 μm×12 μm。对应的像元分辨率是 8.8",分辨率不能满足光电平台视轴稳定误差测试优于 2"的技术要求。

[0060] 自准直仪的结构见图 3,自准直仪 7 保证物镜组 2、立方棱镜 5、探测器 6、星点孔 4 按照光学设计给出的数值确定位置。星点孔 4 位于自准直仪的焦平面,探测器 6 与星点孔 4 共轭,星点孔 4 被光源 3 照明后经立方棱镜 5 反射,透过物镜组 2 发出准直光,准直光照射到正前方的平面反射镜 1 后,反射回自准直仪,再次穿过物镜组 2 和立方棱镜 5,星点像成像到探测器上。基座 8 承载自准直仪,基座微调螺钉 9 调整自准直仪视轴与平面反射镜法线平行,保证自准直仪接收到平面反射镜返回的自准像。

[0061] 2、图像处理系统

[0062] 视轴稳定误差检测仪的总体组成如图 1 所示,由显示器 10、工作站 11、PCI 总线 12、图像采集卡 13 组成。与平面反射镜 1 和自准直仪 7 一起构成视轴稳定误差检测仪。

[0063] 图像采集卡 13 是光学系统探测器 6 与工作站 11 的接口单元,通过 PCI 总线 11 与探测器 6 连接,输入视频图像信息;工作站 11 是数据处理的核心单元,承担各工作单元控制和数据处理任务;显示器 10 实现数据显示功能,显示操作状态、视频图像、数据处理结果。

[0064] 图像处理系统工作原理：

[0065] 视轴稳定误差检测仪产生的星点像经反射镜反射到自准直仪的视场角范围内。数据处理系统通过视频接口电缆与自准直仪连接,接口采用 Camera-Link 标准,

通过图像采集卡从高速视频自准直仪输入视频图像数据。图像帧频 200fps,分辨率为 1280×1024×8Bit,为保证视频图像数据完整性,计算机实时将采集的视频图像数据保存在检测计算机内存中。

[0066] 视频图像数据采集完毕,检测计算机从内存中提取保存的视频图像数据,通过检测算法,从图像中识别星点像并准确计算其位置,计算每帧图像中星点像所在的角度。对上述角度数据进行统计,计算最大值、最小值、平均值及样本方差等。

[0067] 工作站 11 是图像处理系统的核心单元,主要由图像采集、图像存储、光斑运动检测、稳定精度计算、数据分析功能模块组成;

[0068] 功能分配方案如下:

[0069] 1) 图像采集

[0070] 通过通信接口,输入控制图像采集参数,包括图像分辨率、采集帧频等,通过图像采集卡,从光电平台视轴稳定测试仪图像接口设备采集视频图像数据;

[0071] 2) 图像存储

[0072] 分配所需的内存缓冲区空间,将采集的图像数据存储在计算机内存中;

[0073] 3) 读取数据

[0074] 从内存中读取数据;

[0075] 4) 光斑运动检测

[0076] 从计算机内存中装载采集到的全部视频图像数据,分析图像数据,采用图像运动检测算法,检测图像中星点像的运动量,计算星点像所处的角度值;

[0077] 5) 稳定精度计算

[0078] 统计分析序列图像中星点像的运动量,计算最大值、最小值、平均值及样本方差等。

[0079] 工作流程如图 4 所示。

[0080] 与标准角度相比较,测出视轴稳定误差检测仪的误差,测量数据见说明书最后的表 2。

[0081] 本实施例计算机硬件采用:

[0082] a) Supermicro 工作站;

[0083] b) CPU :2×E5420/2.50GHz/Inter64 位 Xeon/ 四核处理器;

[0084] c) 图像采集卡 :DALSA X64Xcelera-CL PX4//PCI Express x4;

[0085] d) 图像接口标准 :Camera-Link;

[0086] e) 内存 :DDRII,6×4GB/667MHz;

[0087] f) 显卡 :ASUS EN9600GT/HTDI/512MB;

[0088] g) 显示器 :显示分辨率 1280×1024。

[0089] 表 1 光斑图像亚像元运动检测的仿真计算

[0090] After 图像:

[0091]

实际偏移量 (x,y)	(0.1,0.2)	(0.3,0.5)	(0.4,0.7)	(0.6,0.9)	(0.7,1.2)
测量偏移量 (x,y)	(0.096266 5, 0.195476)	(0.292694 ,0.497533)	(0.391382, 0.697533)	(0.58937, 0.897171)	(0.687722, 1.19054)
实际偏移量 (x,y)	(0.8,1.6)	(1.1,2.1)	(1.5,2.5)		
测量偏移量 (x,y)	(0.784917 , 1.59157)	(1.07505, 2.08732)	(1.46642, 2.48712)		

[0092] Couple 图像 :

[0093]

实际偏移量 (x,y)	(0.2, 0.1)	(0.3, 0.4)	(0.5, 0.7)	(0.8, 1.1)	(1.3, 1.6)
测量偏移量 (x,y)	(0.193937, 0.0985802)	(0.29206, 0.398766)	(0.490831, 0.703244)	(0.791226, 1.10029)	(1.28009, 1.60216)
实际偏移量 (x,y)	(1.8, 2.1)	(2.2, 2.6)	(2.6, 3.1)		
测量偏移量 (x,y)	(1.78011, 2.09771)	(2.17043, 2.59877)	(2.57148, 3.09506)		

[0094] Lean 图像 :

[0095]

实际偏移量 (x,y)	(0.1, 0.3)	(0.3, 0.6)	(0.5, 0.9)	(0.9, 1.4)	(1.2, 1.8)
测量偏移量 (x,y)	(0.0958954, 0.295795)	(0.291002, 0.597995)	(0.487556, 0.895877)	(0.879195, 1.39061)	(1.16967, 1.7902)
实际偏移量 (x,y)	(1.6, 2.2)	(1.9, 2.7)	(2.3, 3.1)		
测量偏移量 (x,y)	(1.56166, 2.1851)	(1.85429, 2.68796)	(2.24361, 3.08163)		

[0096] 表 2 视轴稳定误差检测仪的测量数据

[0097]

测量 数据	标准角度值	标准角度值差 (")	视轴稳定误差检测仪 (")	误差 (")
测量次数				
1	0° 25' 6"			
2	0° 21' 38"	208	207.9	-0.1
3	0° 16' 29"	309	309.1	0.1
4	0° 6' 50"	579	580.3	1.3
5	0° 0' 58"	352	350.8	-1.2
6	359° 53' 36"	442	440.8	-1.2
7	359° 43' 1"	635	634.6	-0.4
8	359° 33' 3"	598	598.1	0.1
9	359° 20' 20"	763	762.7	-0.3
10	359° 14' 36"	344	342.9	-1.1
11	359° 2' 52"	704	701.6	2.4
RMS		0.8"		

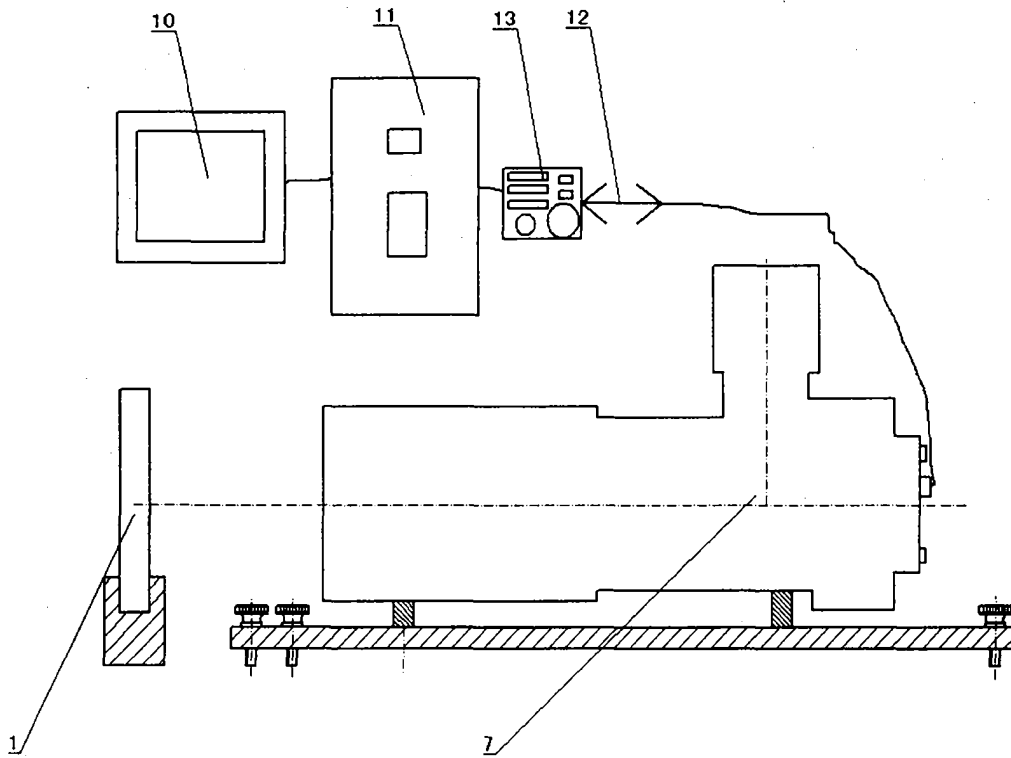


图 1

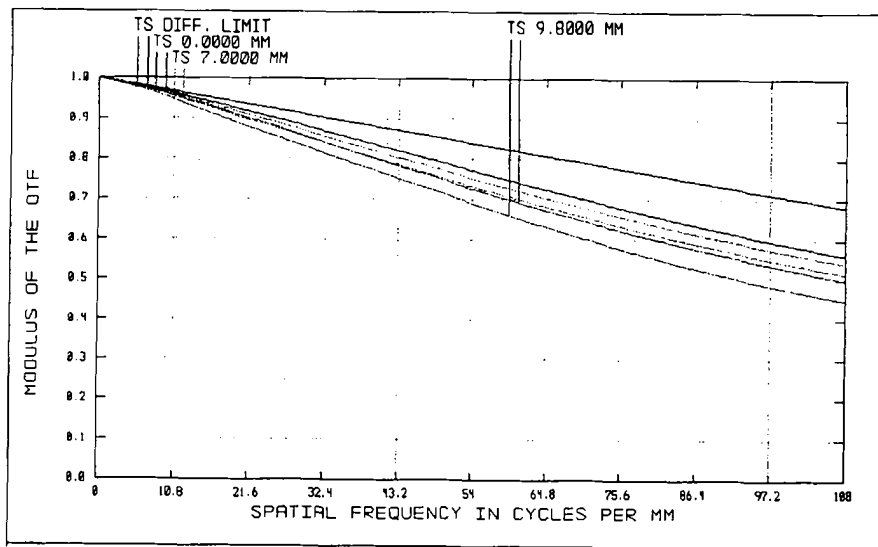


图 2

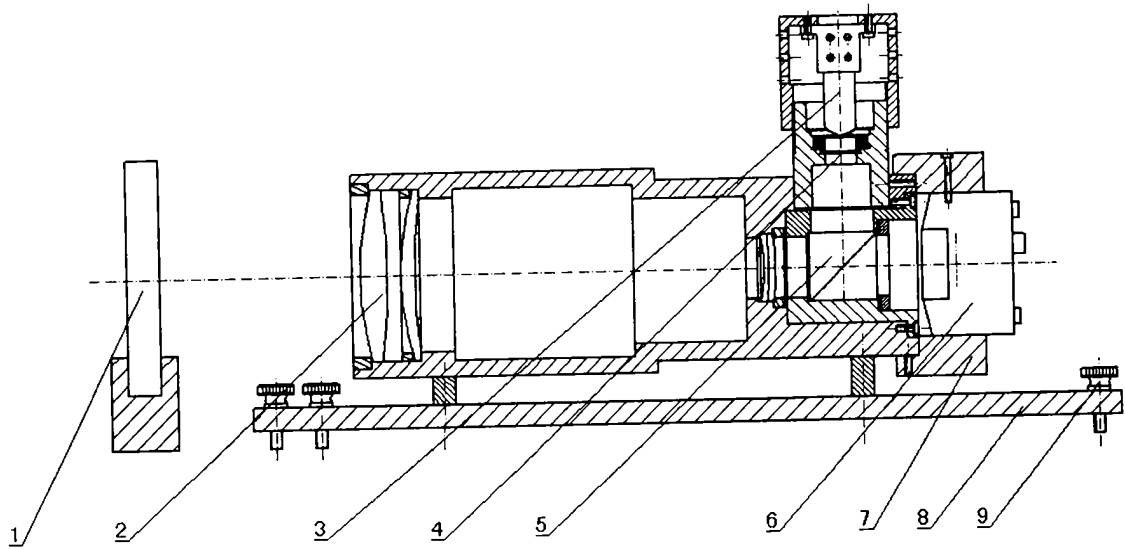


图 3

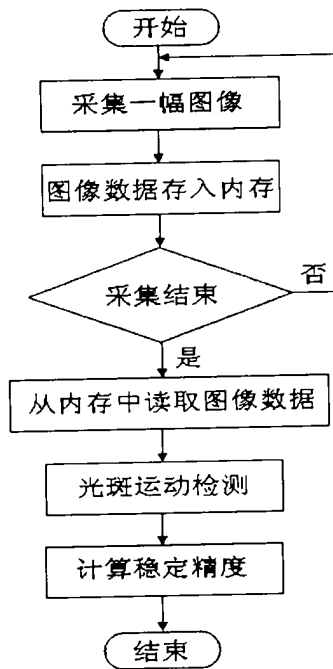


图 4