



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120212866 A

(43) 申请公布日 2025. 06. 27

(21) 申请号 202510514445.X

(22) 申请日 2025.04.23

(71) 申请人 长光卫星技术股份有限公司
地址 130052 吉林省长春市北湖科技开发
区明溪路1299号

(72) 发明人 李广振 张雷 霍占伟 谭陆洋
杨成龙 宫照亮

(74) 专利代理机构 长春众邦菁华知识产权代理
有限公司 22214
专利代理师 周蕾

(51) Int. Cl.
G01B 11/00 (2006.01)
G01B 11/27 (2006.01)
G01S 7/481 (2006.01)

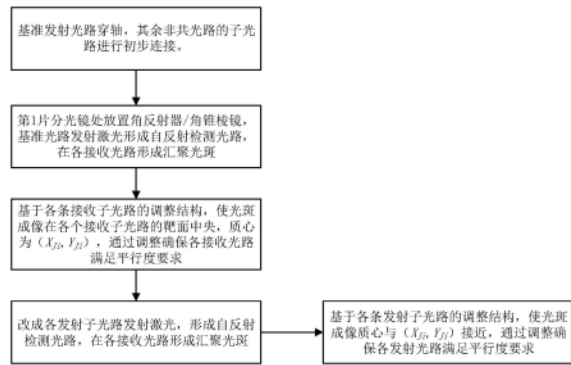
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,涉及光机结构和装调技术领域,解决现有技术中传统方法依赖于实验室内的大型检测设备,无法实现激光收发共光路系统自身在线标校的技术问题。包括以下步骤:基准发射光路穿轴;基于角反射器/角锥棱镜形成自反射回路,调整以使得汇聚光斑最小;基于各接收子光路内的调整结构进行角度调整;形成自反射回路,调整以使得汇聚光斑最小;基于各发射子光路内的调整结构进行角度调整,使尽可能各接收子光路内的成像质心位置相同。本发明的方法,利用角反射器/角锥棱镜的原路返回原理不需要精密的位姿调整,极大的降低了装调复杂度。



1. 一种基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,其特征在於,包括以下步骤:

步骤1:将其中一条具有激光发射或接收的光纤光路穿轴,穿轴后的光路作为基准发射光路;其余非共光路的子光路进行初步连接;

步骤2:将角反射器或角锥棱镜放置在系统第一片分光镜处,通过基准发射光路依次发出各接收子光路能够响应的具有特定波长的激光,基于角反射器或角锥棱镜形成自反射回路,此时在各个接收子光路的靶面上形成会聚光斑,调整基准发射光路光纤与准直镜头的距离,调整各接收子光路靶面与镜头的相对距离,使得汇聚光斑最小;

步骤3:基于各接收子光路内的调整结构进行角度调整,使得激光经角反射器或角锥棱镜自反射后,尽可能成像在各个接收子光路的靶面中央,各接收子光路的成像质心差,小于系统的平行度指标;

步骤4:改用其它发射子光路发出各接收子光路能够响应的具有特定波长的激光,同样基于角反射器或角锥棱镜,在系统内部形成自反射回路,在各个接收子光路的靶面上形成会聚光斑,调整各发射子光路发射光纤与准直镜头的相对距离,使得汇聚光斑最小;

步骤5:基于各发射子光路内的调整结构进行角度调整,使得激光经角反射器或角锥棱镜自反射后,尽可能与步骤3中各接收子光路内的成像质心位置相同,其差异小于系统的平行度指标。

2. 根据权利要求1所述的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,其特征在於,以基准接收光路为对照,步骤3中基于各接收子光路内的调整结构进行角度调整时的各接收子光路平行度误差为:

$$EX_{J_i} = X_{J_i} * S_i / P, EY_{J_i} = Y_{J_i} * S_i / P;$$

其中, S_i 代表第*i*条接收子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{J_i} 和 Y_{J_i} 分别为第*i*条接收子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{J_i} 和 EY_{J_i} 分别为第*i*条接收子光路的X轴和Y轴的平行度误差。

3. 根据权利要求1所述的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,其特征在於,步骤5中基于各发射子光路内的调整结构进行角度调整时的各发射子光路平行度误差为:

$$EX_{F_i} = X_{F_i} * S_i / P, EY_{F_i} = Y_{F_i} * S_i / P;$$

其中, S_i 代表第*i*条发射子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{F_i} 和 Y_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{F_i} 和 EY_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路的X轴和Y轴的平行度误差。

4. 根据权利要求1所述的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,其特征在於,在步骤5之后,还设有步骤:以坐标差来计算任意2条光路之间的平行度;具体为:

第*i*条发射光路与第*j*条发射光路的平行度为:

$$EX_{F_i-j} = (X_{F_i} - X_{F_j}) * S_i / P, EY_{F_i-j} = (Y_{F_i} - Y_{F_j}) * S_i / P;$$

其中, S_i 代表第*i*条发射子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{F_i} 和 Y_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, X_{F_j} 和 Y_{F_j} 分别为第*j*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{F_i-j} 和 EY_{F_i-j} 分别为第*i*条光路与第*j*条光路之间的

平行度误差的X轴和Y轴坐标。

基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光机结构和装调技术领域,特别涉及一种基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法。

背景技术

[0002] 为实现各种探测或通信系统的集成化、一体化和小型化,往往共用一个高质量的光学天线,通过分波长或分能量的方式实现具有不同功能的多个激光光子光路。这种激光收发共光路系统已经逐渐取代传统的单功能激光系统,成为激光通信和激光测距等领域的常用系统结构。

[0003] 激光收发共光路系统要求各光路之间具有良好的平行度,尤其是核心收发光路之间的一致性是实现系统功能和性能的关键。常用的装调方法是将整个共光路系统放置于以中国专利文献CN201721470630.0、CN201210080090.0等为典型的基于长焦距平行光管和光束质量分析仪的多光轴校正仪进行装调。这种传统方法依赖于实验室内的大型检测设备,需要先将激光收发共光路系统与传统多光轴校正仪之间进行轴上视场的精确对准,并且对装调过程的环境稳定性和工装稳定性也提出了较高的要求。传统多光轴校正仪也无法实现激光收发共光路系统自身的在线标校,尤其是不适用于在室外使用的激光收发共光路系统的平行度检查和维修。

发明内容

[0004] 本发明要解决现有技术中传统方法依赖于实验室内的大型检测设备,无法实现激光收发共光路系统自身在线标校的技术问题,提供一种基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法。

[0005] 为了解决上述技术问题,本发明的技术方案具体如下:

[0006] 一种基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1:将其中一条具有激光发射或接收的光纤光路穿轴,穿轴后的光路作为基准发射光路;其余非共光路的子光路进行初步连接;

[0008] 步骤2:将角反射器或角锥棱镜放置在系统第一片分光镜处,通过基准发射光路依次发出各接收子光路能够响应的具有特定波长的激光,基于角反射器或角锥棱镜形成自反射回路,此时在各个接收子光路的靶面上形成会聚光斑,调整基准发射光路光纤与准直镜头的距离,调整各接收子光路靶面与镜头的相对距离,使得汇聚光斑最小;

[0009] 步骤3:基于各接收子光路内的调整结构进行角度调整,使得激光经角反射器或角锥棱镜自反射后,尽可能成像在各个接收子光路的靶面中央,各接收子光路的成像质心差,小于系统的平行度指标;

[0010] 步骤4:改用其它发射子光路发出各接收子光路能够响应的具有特定波长的激光,

同样基于角反射器或角锥棱镜,在系统内部形成自反射回路,在各个接收子光路的靶面上形成会聚光斑,调整各发射子光路发射光纤与准直镜头的相对距离,使得汇聚光斑最小;

[0011] 步骤5:基于各发射子光路内的调整结构进行角度调整,使得激光经角反射器或角锥棱镜自反射后,尽可能与步骤3中各接收子光路内的成像质心位置相同,其差异小于系统的平行度指标。

[0012] 在上述技术方案中,以基准接收光路为对照,步骤3中基于各接收子光路内的调整结构进行角度调整时的各接收子光路平行度误差为:

$$[0013] \quad EX_{J_i} = X_{J_i} * S_i / P, EY_{J_i} = Y_{J_i} * S_i / P;$$

[0014] 其中, S_i 代表第*i*条接收子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{J_i} 和 Y_{J_i} 分别为第*i*条接收子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{J_i} 和 EY_{J_i} 分别为第*i*条接收子光路的X轴和Y轴的平行度误差。

[0015] 在上述技术方案中,步骤5中基于各发射子光路内的调整结构进行角度调整时的各发射子光路平行度误差为:

$$[0016] \quad EX_{F_i} = X_{F_i} * S_1 / P, EY_{F_i} = Y_{F_i} * S_1 / P;$$

[0017] 其中, S_1 代表第1条接收子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{F_i} 和 Y_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{F_i} 和 EY_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路平行度误差的X轴和Y轴坐标。

[0018] 在上述技术方案中,在步骤5之后,还设有步骤:以坐标差来计算任意2条光路之间的平行度;具体为:

[0019] 第*i*条发射光路与第*j*条发射光路的平行度为:

$$[0020] \quad EX_{F_i-j} = (X_{F_i} - X_{F_j}) * S_i / P, EY_{F_i-j} = (Y_{F_i} - Y_{F_j}) * S_i / P;$$

[0021] 其中, S_i 代表第*i*条接收子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{F_i} 和 Y_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, X_{F_j} 和 Y_{F_j} 分别为第*j*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{F_i-j} 和 EY_{F_i-j} 分别为第*i*条光路与第*j*条光路之间的平行度误差的X轴和Y轴坐标。

[0022] 本发明具有以下有益效果:

[0023] 本发明的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,利用角反射器/角锥棱镜的原路返回原理不需要精密的位姿调整,极大的降低了装调复杂度。这种方法不依赖于外部检测设备,借助角反射器/角锥棱镜和系统自身光路就能搭建平行度检测光路,具有简单、低成本的特点。且角反射器可以集成为系统自身的一部分,使得系统具备在室外的自标校能力,特别是当平行度受室外环境影响而变化后,可以使用自标校的方法进行在位调整,无需返厂。

附图说明

[0024] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0025] 图1为本发明的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法的流程示意图。

[0026] 图2为典型星地激光通信地面中继光路系统的光路结构示意图。

[0027] 图中的附图标记表示为:

[0028] 1-第一分光镜;2-角反射器;3-捕获光路成像镜头;4-捕获探测器;5-精跟踪探测器;6-精跟踪成像镜头;7-精跟踪子光路反射镜;8-第三分光镜;9-信号耦合光纤耦合镜头;10-信号耦合光纤;11-第二分光镜;12-快反镜;13-信标发射光纤;14-信标发射准直镜头;15-信标发射子光路反射镜;16-光学天线。

具体实施方式

[0029] 本发明的发明思想为:

[0030] 本发明的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,能够不依赖于外部检测仪器,将系统本身的功能光路作为检测光路进行装调和自标校。

[0031] 本发明的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,核心在于基于角反射器/角锥棱镜的原路返回原理,能够使系统自身光路当成标校测试光路来使用,相当于在搭建测试光路的同时完成了系统自身的装调。

[0032] 角反射器/角锥棱镜具有逆向发射器的特性,使得本发明的方法不需要精密调节角反射器/角锥棱镜的姿态和位置,极大简化了装调流程。

[0033] 如图1所示,本发明的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法的步骤如下:

[0034] 步骤1:将其中一条具有激光发射或接收的光纤光路穿轴,穿轴后的光路作为基准的共光路部分,称为基准发射光路。将其余非共光路部分按光机结构的布局方案初步连接。

[0035] 步骤2:将角反射器或角锥棱镜放置在系统第一片分光镜处,通过基准发射光路依次发出各接收子光路能够响应的具有特定波长的激光,基于角反射器或角锥棱镜形成自反射回路,此时会在各个接收子光路的靶面上形成会聚光斑,调整基准发射光路光纤与准直镜头的距离,调整各接收子光路靶面与镜头的相对距离,使得汇聚光斑最小;

[0036] 步骤3:基于各接收子光路内(非共光路部分)的调整结构进行角度调整,使得激光经角反射器或角锥棱镜自反射后,尽可能成像在各个接收子光路的靶面中央,各接收子光路的成像质心差,应小于系统的平行度指标。设有m条接收子光路,记录其质心位置分别为 $(X_{J1}, Y_{J1}), (X_{J2}, Y_{J2}) \cdots (X_{Jm},$

[0037] $Y_{Jm})$,则完成了各接收子光路与基准发射光路的平行度装调。

[0038] 步骤4:改用其它发射子光路发出各接收子光路能够响应的具有特定波长的激光,同样基于角反射器或角锥棱镜,在系统内部形成自反射回路,在各个接收子光路的靶面上形成会聚光斑,调整各发射子光路发射光纤与准直镜头的相对距离,使得汇聚光斑最小;

[0039] 步骤5:基于各发射子光路内(非共光路部分)的调整结构进行角度调整,使得激光经角反射器或角锥棱镜自反射后,尽可能与步骤3中各接收子光路内的成像质心位置相同,其差异应小于系统的平行度指标。设有n条发射子光路,记录此时的质心位置分别为 $(X_{F1}, Y_{F1}), (X_{F2}, Y_{F2}) \cdots (X_{Fn}, Y_{Fn})$,则完成了各发射子光路与基准光路及各接收子光路的平行度装调。

[0040] 步骤1中角反射器可以作为激光收发共光路系统本身的一部分永久放在系统当中。

[0041] 接收子光路代表具有成像能力的光路,发射子光路代表具有激光发射或激光耦合

的光路。

[0042] 各接收子光路的探测器靶面正中央的坐标定义为(0,0)。

[0043] 选定1条基准接收光路,假设基准发射光路在基准接收光路的理想成像位置为(0,0)。以基准接收光路为对照,步骤3中的各接收子光路平行度误差可以计算为:

[0044] $EX_{J_i} = X_{J_i} * S_i / P, EY_{J_i} = Y_{J_i} * S_i / P。$

[0045] 其中, S_i 代表第*i*条接收子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{J_i} 和 Y_{J_i} 分别为第*i*条接收子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{J_i} 和 EY_{J_i} 分别为第*i*条接收子光路的X轴和Y轴的平行度误差。

[0046] 假设基准发射光路在基准接收光路的理想成像位置为(0,0)。所述步骤5中的各发射子光路平行度误差可以计算为:

[0047] $EX_{F_i} = X_{F_i} * S_i / P, EY_{F_i} = Y_{F_i} * S_i / P。$

[0048] 其中, S_i 代表第*i*条接收子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{F_i} 和 Y_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{F_i} 和 EY_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路平行度误差的X轴和Y轴坐标。

[0049] 也可以使用上述计算方法以坐标差来计算任意2条光路之间的平行度,第*i*条发射光路与第*j*条发射光路的平行度为:

[0050] $EX_{F_i-j} = (X_{F_i} - X_{F_j}) * S_i / P, EY_{F_i-j} = (Y_{F_i} - Y_{F_j}) * S_i / P;$

[0051] 其中, S_i 代表第*i*条接收子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{F_i} 和 Y_{F_i} 分别为第*i*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, X_{F_j} 和 Y_{F_j} 分别为第*j*条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{F_i-j} 和 EY_{F_i-j} 分别为第*i*条光路与第*j*条光路之间的平行度误差的X轴和Y轴坐标。

[0052] 以第1条发射光路与第2条发射光路的平行度为例,则:

[0053] $EX_{F_1-2} = (X_{F_1} - X_{F_2}) * S_1 / P, EY_{F_1-2} = (Y_{F_1} - Y_{F_2}) * S_1 / P;$

[0054] 其中, S_1 代表第1条接收子光路内相机的像元分辨率,单位为urad; P 为光学天线的放大倍率; X_{F_1} 和 Y_{F_1} 分别为第1条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, X_{F_2} 和 Y_{F_2} 分别为第2条发射子光路的质心位置的X轴和Y轴坐标, EX_{F_1-2} 和 EY_{F_1-2} 分别为第1条光路与第2条光路之间的平行度误差的X轴和Y轴坐标。

[0055] 下面结合附图对本发明做以详细说明。

[0056] 下面结合附图2对本发明的技术方案的实施作进一步的详细描述,以求更为清楚地阐述本发明所提方法的特点,但不能以此来限制本发明的保护范围。凡是在具有多光轴的激光系统中,使用角反射器/角锥棱镜原路返回原理,然后与自身光路构成检测和自标校光路的方案或产品,均属于本发明的保护范围。

[0057] 典型的星地激光通信地面中继光路系统的光路结构如图2所示。其激光收发共光路系统共含有4条光路,共用一个光学天线16。其中,2条接收光路分别为:捕获光路成像镜头3、捕获探测器4组成的捕获探测光路;精跟踪探测器5、精跟踪成像镜头6组成的精跟踪探测光路。2条发射光路为信号耦合光纤耦合镜头9、信号耦合光纤10组成的信号耦合光路,信标发射子光路反射镜15、信标发射准直镜头14、信标发射光纤13组成的信号发射光路。其中,捕获探测光路和精跟踪探测光路均能够对1550nm波长进行响应。捕获探测光路的像元分辨率为100urad,精跟踪探测光路的像元分辨率为75urad,光学天线16放大倍率为100。

[0058] 本发明的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,步骤如下:

[0059] 步骤1:以信号耦合光路作为基准发射光路,即第一分光镜1、第二分光镜11、快反镜12、第三分光镜8、信号耦合光纤耦合镜头9和信号耦合光纤10组成基准发射光路,信号耦合光纤10接入1550nm波长激光,观察光斑在各光学元件的覆盖情况,确保不会挡光,即完成基准发射光路的穿轴。

[0060] 步骤2:将角反射器放置在第一分光镜1处,信号耦合光纤10处接入1550nm波长激光,此时激光通过信号耦合光纤10准直成平行光,依次经信号耦合光纤耦合镜头9、第三分光镜8、快反镜12、第二分光镜11、第一分光镜1到达角反射器2,基于角反射器2的原路返回原理,到达角反射器2的光束又原路回到第一分光镜1。一部分光束从第一分光镜1反射后经捕获光路成像镜头3在捕获探测器4的靶面上汇聚为一个光斑,调整捕获光路成像镜头3和捕获探测器4的相对距离,使得光斑直径最小。另一部分光束从第一分光镜1折射后经第二分光镜11、快反镜12、第三分光镜8、精跟踪子光路反射镜7、精跟踪成像镜头6在精跟踪探测器5的靶面上汇聚为一个光斑,同理调整精跟踪成像镜头6和精跟踪探测器5的相对距离,使得光斑直径最小。调整信号耦合光纤耦合镜头9和信号耦合光纤10的相对距离,使得光斑直径最小。

[0061] 步骤3:定义捕获探测器4和精跟踪探测器5的中央位置坐标为(0,0)。调整捕获探测器4相对捕获光路成像镜头3的姿态,使得捕获探测器4内的光斑尽可能靠近靶面中央,并记录此时的光斑质心坐标为(0,1)。同理,调整精跟踪子光路反射镜7的姿态,使得精跟踪探测器5内的光斑尽可能靠近靶面中央,并记录此时的光斑质心坐标为(1,2)。

[0062] 则:

[0063] 精跟踪探测光路与耦合光路平行度为:

$$[0064] \quad EX_{J1} = 1 * 75 / 100 = 0.75 \text{urad}, EY_{J1} = 2 * 75 / 100 = 1.5 \text{urad}。$$

[0065] 捕获探测光路与耦合光路平行度为:

$$[0066] \quad EX_{J2} = 0 * 100 / 100 = 0 \text{urad}, EY_{J2} = 1 * 100 / 100 = 1 \text{urad}。$$

[0067] 精跟踪探测光路与捕获探测光路的平行度误差为:

$$[0068] \quad EX_{J1-2} = (0-1) * 75 / 100 = -0.75 \text{urad}, EY_{J1-2} = (1-2) * 75 / 100 = -0.75 \text{urad}。$$

[0069] 步骤4:信标发射光纤13接入1550nm波长激光,与步骤2类似,此时也能够能够在捕获探测器4、精跟踪探测器5的靶面上成像为一个光斑,调整信标发射准直镜头14和信标发射光纤13的相对距离,使得光斑直径最小。

[0070] 步骤5:调整信标发射子光路反射镜15的姿态,使得精跟踪探测器5内的成像光斑尽可能靠近 (X_{J2}, Y_{J2}) 即步骤3中的(1,2),记录此时的实际光斑质心坐标为(2,-2)。

[0071] 则:

[0072] 信号发射子光路与耦合光路的平行度为:

$$[0073] \quad EX_{F1} = 2 * 75 / 100 = 1.5 \text{urad}, EY_{F1} = -2 * 75 / 100 = -1.5 \text{urad};$$

[0074] 信号发射子光路与精跟踪探测光路的平行度误差为:

$$[0075] \quad EX_{F1-1} = (1-2) * 75 / 100 = -0.75 \text{urad}, EY_{F1-1} = (2 - (-2)) * 75 / 100 = 3 \text{urad}。$$

[0076] 本发明的基于角反射器/角锥棱镜的激光收发共光路系统平行度快速装调与自标校方法,利用角反射器/角锥棱镜的原路返回原理不需要精密的位姿调整,极大的降低了装

调复杂度。这种方法不依赖于外部检测设备,借助角反射器/角锥棱镜和系统自身光路就能搭建平行度检测光路,具有简单、低成本的特点。且角反射器可以集成为系统自身的一部分,使得系统具备在室外的自标校能力,特别是当平行度受室外环境影响而变化后,可以使用自标校的方法进行在位调整,无需返厂。

[0077] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

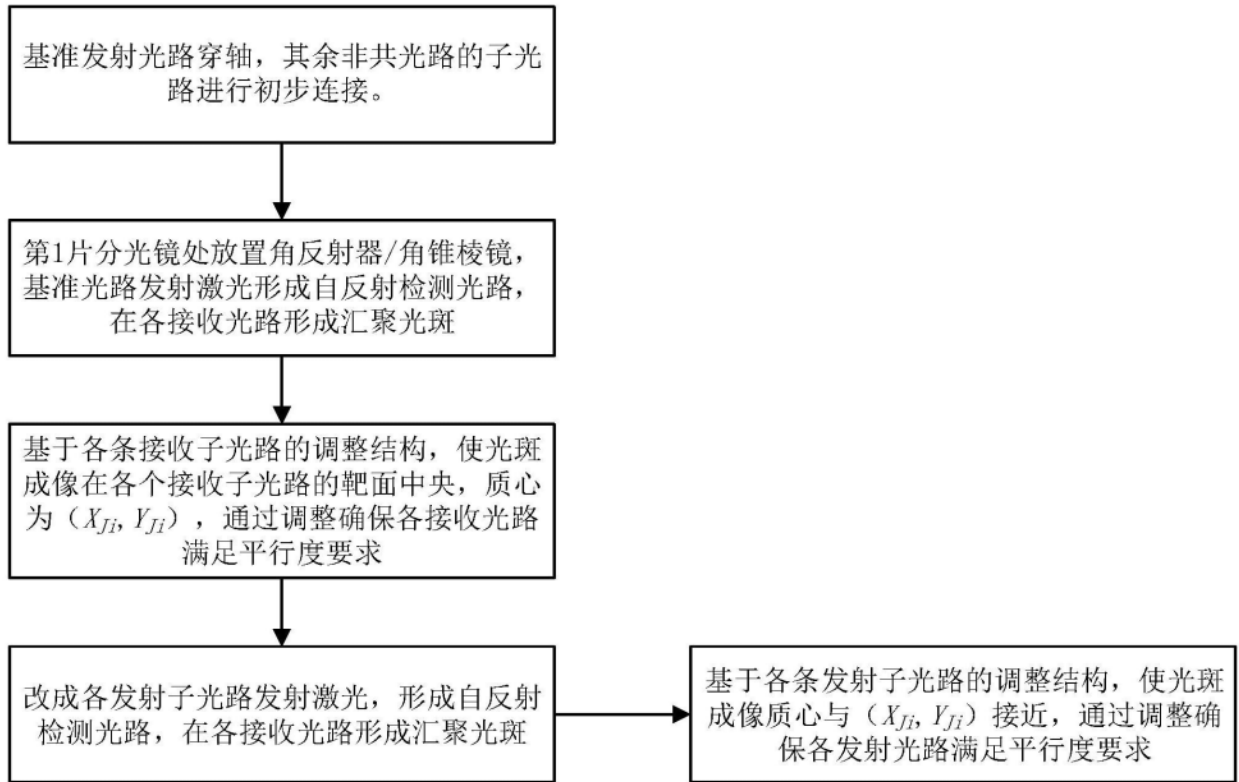


图1

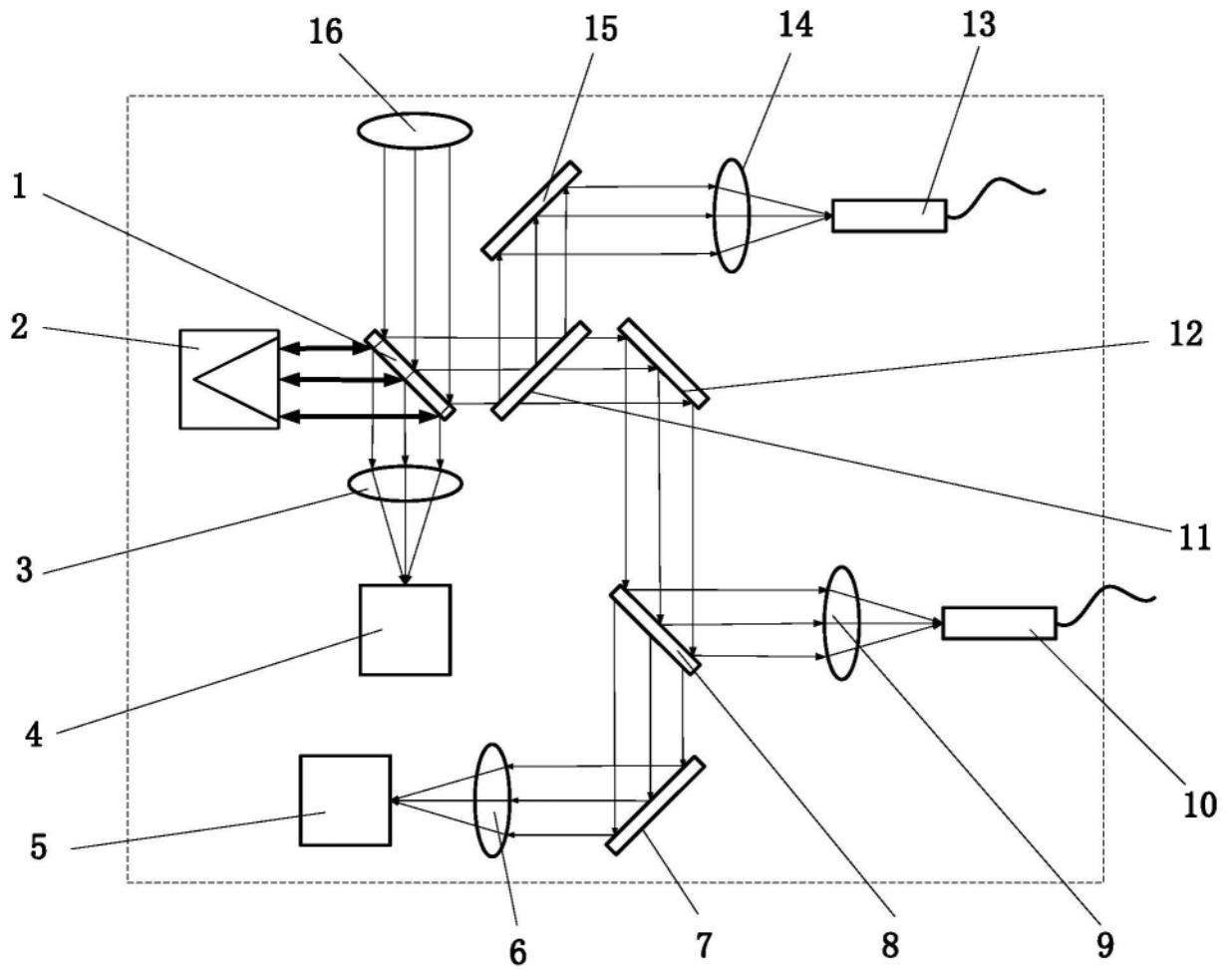


图2