



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103293959 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 11

(21) 申请号 201310216705. 2

(22) 申请日 2013. 06. 03

(71) 申请人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 董玉辉 刘河山 李玉琼 罗子人 靳刚

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 王艺

(51) Int. Cl.
G05B 13/04(2006. 01)

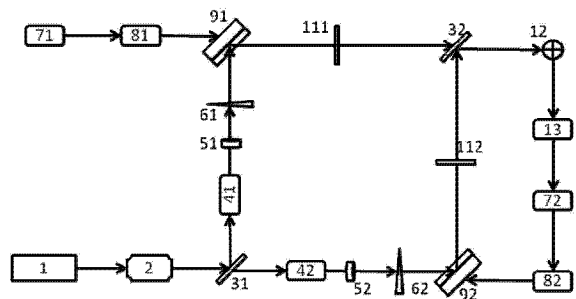
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟方法和装置

(57) 摘要

本发明提供一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟方法,包括如下步骤:产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振入射激光和本地激光;通过激光指向抖动模拟系统对入射激光方向调制,用来模拟目标信号方向抖动;通过差分干涉光路将入射激光与所述本地激光汇聚形成激光差分干涉信号,用四象限光电探测器进行光电信号转换,并由相位计同时测量各个象限的相位信息;通过激光指向控制系统实时采集上述相位信息,利用优化的自适应PID控制方法,对本地激光的方向进行高精度角度控制,实现两束激光的严格平行,并满足空间测量要求。本发明采用相位敏感测角方法学,比光强敏感方法学具有更高的灵敏度,便于实现更高精度的激光指向控制。



1. 一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟方法,其特征在于,包括如下步骤:

(a) 产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振入射激光和本地激光;

(b) 通过激光指向抖动模拟系统,对所述入射激光方向进行调制,用来模拟目标信号方向抖动;

(c) 通过差分干涉光路,对入射激光和本地激光的强度及偏振态进行调控,并将所述入射激光与所述本地激光汇聚形成激光差分干涉信号,

(d) 通过角度敏感系统,进行光电信号转换,测量各个象限的相位信息;

(e) 通过激光指向控制系统,实时采集上述相位信息,利用优化的自适应比例-积分-微分控制方法,对所述本地激光的方向进行高精度角度控制,实现两束激光的严格平行,并使其指向偏差满足空间测量要求。

2. 如权利要求权 1 所述的空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟方法,其特征在于,所述步骤(a)具体包括如下步骤:

1) 开启 1064nm 激光器,预热一段时间后打开稳频装置和声光移频器电源,激光器输出 45 度线偏振光;

2) 激光经过第一法拉第隔离器,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作,经过第一 1/2 分光镜,激光分为两路,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;

3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、光阑、楔形块、压电偏摆镜、线性偏振片,两路激光产生频差 1MHz,通过光阑滤除干扰激光,楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转,线性偏振片调节激光偏振态和强度;

所述步骤(b)具体包括如下步骤:

4) 激光指向抖动模拟器控制第一偏转驱动源对第一压电偏摆镜进行调控,来模拟由远端航天器发射过来的激光方向的抖动;

所述步骤(c)具体包括如下步骤:

5) 入射激光到达第二 1/2 分光镜;

6) 本地激光到达第二 1/2 分光镜;

7) 经过第二 1/2 分光镜后形成激光差分干涉信号;

所述步骤(d)具体包括如下步骤:

8) 四象限光电探测器将差分光信号转为电信号;

9) 四通道相位计同时精确测量各个象限的相位信息 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D ;

所述步骤(e)具体包括如下步骤:

10) 激光指向控制器分别计算左右象限相位差 $\theta_L - \theta_R = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} - \frac{\varphi_B + \varphi_D}{2}$ 和上下象限相位差 $\theta_U - \theta_D = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} - \frac{\varphi_C + \varphi_D}{2}$, 然后利用相位-角度关系 $\Delta\theta \approx \frac{16r}{3\lambda} \cdot \alpha$ (其中 r: 四象限光电探测器光敏面半径; λ : 激光波长; α : 激光夹角), 得到左右偏转角 α_{yaw} 和上下偏转角 α_{pitch} , 通过优化的自适应 PID 控制调节第二偏转驱动源, 对第二压电偏摆镜进行控制, 进行角度控制, 实现两束激光的严格平行。

3. 一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟装置,其特征在于,至少包括:

- 一入射激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振入射激光;
- 一激光指向抖动模拟系统,与所述入射激光臂相连,对所述入射激光方向调制,用来模拟目标信号方向抖动;
- 一本地激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振本地激光;
- 一差分干涉光路,与所述入射激光臂及所述本地激光臂相连,用于对入射激光和本地激光的强度及偏振态进行调控,并将所述入射激光与所述本地激光汇聚形成激光差分干涉信号;
- 一角度敏感系统,进行光电信号转换,测量各个象限的相位信息;
- 一激光指向控制系统,对探测到的相位数据进行分析处理,并对所述本地激光的方向进行角度控制,实现两束激光的严格平行,即指向控制。

4. 如权利要求 3 所述的一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟装置,其特征在于:

所述入射激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

- 一个 1064nm 激光器,用于产生波长为 1064nm45 度线偏振激光;
- 一个第一法拉第隔离器,入射偏振方向为 45 度,出射偏振方向为 90 度,利用法拉第效应,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;
- 一个第一 1/2 分光镜,使激光入射后分为两路,光强减半,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;
- 一个第一声光移频器,对所经激光进行移频;
- 一个第一光阑,用于滤除干扰激光;
- 一个第一楔形片,纠正由第一声光移频器引起的激光方向偏转;
- 一个第一压电偏摆镜,由压电偏摆台和平面镜组成,使经过所述第一楔形片的激光被反射;
- 一个第一线性偏振片,调控出射激光强度和偏振状态;

所述激光指向抖动模拟系统包括:

- 一个激光指向抖动模拟器,编程模拟入射激光方向的抖动,并调控第一偏转驱动源;
- 一个第一偏转驱动源,用于接收所述激光指向抖动模拟器发出的激光抖动调制信号,对所述第一压电偏摆镜进行调制;

所述本地激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

- 一个第二声光移频器,对所经激光进行移频;
- 一个第一光阑,用于滤除干扰激光;
- 一个第二楔形片,纠正由第一声光移频器引起的激光方向偏转;
- 一个第二压电偏摆镜,由压电偏摆台和平面镜组成,使经过所述第二楔形片的激光反射;
- 一个第二线性偏振片,调控出射激光强度和偏振状态;

所述差分干涉光路包括沿光轴方向依次设置的:

- 一个第二 1/2 分光镜,使经过所述第一线性偏振片后的激光与经过所述第二线性偏振片的激光从两个表面沿 45 度入射后形成两路差分干涉激光信号;

所述角度敏感系统包括：

一个四象限光电探测器，使所述两路差分干涉激光信号转化为电信号；

一个四通道相位计，用于对从所述四象限光电探测器传入的电信号中包含的各个象限的相位信息 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D 进行同时精确测量；

所述激光指向控制系统包括：

一个激光指向控制器，用于采集、存储所述数字相位计所测相位信息 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D 的实时数据，分别计算左右象限相位差 $\theta_L - \theta_R = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} - \frac{\varphi_B + \varphi_D}{2}$ 和上下象限相位差 $\theta_U - \theta_D = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} - \frac{\varphi_C + \varphi_D}{2}$ ，然后利用相位—角度关系 $\Delta\theta \approx \frac{16r}{3\lambda} \cdot \alpha$ (其中 r : 四象限光电探测器光敏面半径； λ : 激光波长； α : 激光夹角)，得到左右偏转角 α_{yaw} 和上下偏转角 α_{pitch} ，通过 PID 控制算法生成角度控制信号；

一个第二偏转驱动源，用于接收所述激光指向控制器发出的所述角度控制信号，对所述第二压电偏摆镜进行控制，实现两束激光的严格平行，即指向控制。

空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟方法和装置,特别是涉及一种可用于空间双星激光外差干涉测距系激光指向控制技术的模拟方法和装置,用以进行地面模拟实验。

背景技术

[0002] 目前欧美地区计划发展的许多空间探索项目,例如下一代月球重力场探测卫星计划、地球先进重力卫星计划和空间引力波探测计划等。我国专门召开会议研讨如何开展引力波探测,空间引力波探测也被列入中国科学院制订的空间科学 50 年规划中。同时,受到重力卫星 GRACE 计划的巨大成功的推动,为了赶上国际重力测量的发展潮流,我国也开始探讨建设自主的星间激光干涉测量的先进重力卫星系统。由于空间探测的高精度要求,各国在优化对比的基础上均采取了星间激光干涉测距技术作为信号探测的基本方法学。

[0003] 星间激光干涉的方法学对激光的准直性有很高的要求,但是由于空间环境的复杂性,卫星受到外界因素(譬如大气扰动,太阳风和太阳辐射等)的干扰,航天器发出的激光在出射方向上会发生抖动,这种指向误差会直接影响最终的测距精度。指向误差对测量相位的影响:

[0004]

$$\delta\varphi = \frac{1}{32} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^3 d D^2 \theta_{dc} \delta\theta$$

[0005] 其中:

[0006] $\delta\varphi$: 指向误差引起的测相误差;

[0007] λ : 激光波长;

[0008] d : 波前曲率误差;

[0009] D : 望远镜接收直径;

[0010] θ_{dc} : 指向静态偏转误差;

[0011] $\delta\theta$: 激光指向抖动。

[0012] 减小波前曲率误差能提高测距精度,但在一定的加工工艺下,波前曲率误差为定值。望远镜直径的减小能够降低相位误差,但会引起接收光功率的减弱,增加了散粒噪声并提高了光探测的难度。而提高激光指向控制的精度是降低指向相位误差的有效方法。

[0013] 对于先进重力测量项目而言,双星间距约 100Km,轨道高度约 300-400Km,处于低真空环境中,受大气扰动较为严重,同时其它非保守力的扰动也十分复杂。根据先进重力场测量项目激光干涉测距精度要求,在信号频率段 0.1mHz-0.1Hz,激光指向控制精度需优于 $10 \mu \text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$,这就要求激光指向控制系统须具备动态范围大、控制精度高、控制频率高等性能要求;而对于空间引力波探测计划而言,虽然引力波探测卫星处于深空,外界扰动小,但双星间距非常遥远,约为 100 万公里,双星接收到的激光干涉信号非常微弱,这

对激光指向控制精度提出更高的要求与挑战,需要在 1mHz-1Hz 的信号频率段内实现优于 $10\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的激光指向控制精度。因此,激光指向控制已成为制约先进重力卫星和空间引力波探测的重要技术瓶颈。

[0014] 在国外,空间引力波探测和先进重力测量项目的关键技术主要由德国 eLISA/NGO 研究小组负责研发。先前 eLISA/NGO 小组将主要精力投入在相位计、激光干涉仪和无拖曳控制等研究领域,激光指向控制系统的研究滞后,尚处于计算机模拟和预研究阶段,致使即将于 2015 年发射的 LISA-Path-finder 卫星都无法进行指向控制技术的测试。

[0015] 我国的空间引力波探测及先进重力卫星研究起步较晚,其中空间激光精密测量的激光指向控制系统研究尚未开展。但中国科学院已将重力场测量及引力波探测列入中长期发展规划,拟在未来七到十年的时间内达到具有 100 公里空间分辨力和 1mGal 量级的重力场分布,及实现 $10\text{pm}/\sqrt{\text{Hz}}$ 测距精度的空间激光干涉系统,为未来引力波探测和先进重力场测量项目奠定基础。但我国现有卫星姿态控制技术指标为 $10^{-3}-10^{-4}\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$,需同步发展激光指向控制技术,以满足空间激光干涉测距要求。我国在激光通讯、目标跟踪及军事用途等应用领域的激光瞄准和指向控制有一定的技术积累。它们多采用成像法或四象限光电探测器中心与光斑中心重合法作为测角方法学,其精度一般在 $100\ \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 左右,远达不到空间引力波探测和先进重力卫星的测量要求。因此,激光指向控制已成为我国空间引力波探测及先进重力卫星发展的技术瓶颈。

发明内容

[0016] 本发明解决的一个技术问题是提供一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟方法,用于精确进行空间激光干涉系统激光指向控制的地面模拟实验。

[0017] 本发明解决的另一个技术问题就是,提供一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟装置,可以实现空间激光干涉系统激光指向控制的地面模拟实验。

[0018] 为了解决上述问题,本发明提供一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟方法,包括如下步骤:

[0019] (a) 产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振入射激光和本地激光;

[0020] (b) 通过激光指向抖动模拟系统,对所述入射激光方向进行调制,用来模拟目标信号方向抖动;

[0021] (c) 通过差分干涉光路,对入射激光和本地激光的强度及偏振态进行调控,并将所述入射激光与所述本地激光汇聚形成激光差分干涉信号,

[0022] (d) 通过角度敏感系统,进行光电信号转换,测量各个象限的相位信息;

[0023] (e) 通过激光指向控制系统,实时采集上述相位信息,利用优化的自适应比例-积分-微分控制方法,对所述本地激光的方向进行高精度角度控制,实现两束激光的严格平行,并使其指向偏差满足空间测量要求。

[0024] 进一步,所述步骤(a)具体包括如下步骤:

[0025] 1) 开启 1064nm 激光器,预热一段时间后打开稳频装置和声光移频器电源,激光器输出 45 度线偏振光;

[0026] 2) 激光经过第一法拉第隔离器,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作,经过

第一 1/2 分光镜,激光分为两路,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;

[0027] 3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、光阑、楔形块、压电偏摆镜、线性偏振片,两路激光产生频差 1MHz,通过光阑滤除干扰激光,楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转,线性偏振片调节激光偏振态和强度;

[0028] 所述步骤(b)具体包括如下步骤:

[0029] 4) 激光指向抖动模拟器控制第一偏转驱动源对第一压电偏摆镜进行调控,来模拟由远端航天器发射过来的激光方向的抖动;

[0030] 所述步骤(c)具体包括如下步骤:

[0031] 5) 入射激光到达第二 1/2 分光镜;

[0032] 6) 本地激光到达第二 1/2 分光镜;

[0033] 7) 经过第二 1/2 分光镜后形成激光差分干涉信号;

[0034] 所述步骤(d)具体包括如下步骤:

[0035] 8) 四象限光电探测器将差分光信号转化为电信号;

[0036] 9) 四通道相位计同时精确测量各个象限的相位信息 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D ;

[0037] 所述步骤(e)具体包括如下步骤:

[0038] 10) 激光指向控制器分别计算左右象限相位差 $\theta_L - \theta_R = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} - \frac{\varphi_B + \varphi_D}{2}$ 和上下象限

相位差 $\theta_U - \theta_D = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} - \frac{\varphi_C + \varphi_D}{2}$, 然后利用标定的相位—角度关系 $\Delta\theta \approx \frac{16r}{3\lambda} \cdot \alpha$ (其中 r: 四象

限光电探测器光敏面半径; λ : 激光波长; α : 激光夹角), 得到左右偏转角 α_{yaw} 和上下偏转角 α_{pitch} , 通过优化的自适应 PID 控制调节第二偏转驱动源, 对第二压电偏摆镜进行控制, 进行角度控制, 实现两束激光的严格平行。

[0039] 本发明还提供一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟装置, 至少包括:

[0040] 一入射激光臂, 用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振入射激光;

[0041] 一激光指向抖动模拟系统, 与所述入射激光臂相连, 对所述入射激光方向进行调制, 用来模拟目标信号方向抖动;

[0042] 一本地激光臂, 用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振本地激光;

[0043] 一差分干涉光路, 与所述入射激光臂及所述本地激光臂相连, 用于对入射激光和本地激光的强度及偏振态进行调控, 并将所述入射激光与所述本地激光汇聚形成激光差分干涉信号;

[0044] 一角度敏感系统, 进行光电信号转换, 测量各个象限的相位信息;

[0045] 一激光指向控制系统, 对探测到的相位数据进行分析处理, 并对所述本地激光的方向进行角度控制, 实现两束激光的严格平行, 即指向控制。

[0046] 进一步, 所述入射激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0047] 一个 1064nm 激光器, 用于产生波长为 1064nm45 度线偏振激光;

[0048] 一个第一法拉第隔离器, 入射偏振方向为 45 度, 出射偏振方向为 90 度, 利用法拉

第效应,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;

[0049] 一个第一 1/2 分光镜,使激光入射后分为两路,光强减半,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;

[0050] 一个第一声光移频器,对所经激光进行移频;

[0051] 一个第一光阑,用于滤除干扰激光;

[0052] 一个第一楔形片,纠正由第一声光移频器引起的激光方向偏转;

[0053] 一个第一压电偏摆镜,由压电偏摆台和平面镜组成,使经过所述第一楔形片的激光被反射;

[0054] 一个第一线性偏振片,调控出射激光强度和偏振状态;

[0055] 所述激光指向抖动模拟系统包括:

[0056] 一个激光指向抖动模拟器,编程模拟入射激光方向的抖动,并调控第一偏转驱动源;

[0057] 一个第一偏转驱动源,用于接收所述激光指向抖动模拟器发出的激光抖动调制信号,对所述第一压电偏摆镜进行调制;

[0058] 所述本地激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0059] 一个第二声光移频器,对所经激光进行移频;

[0060] 一个第一光阑,用于滤除干扰激光;

[0061] 一个第二楔形片,纠正由第一声光移频器引起的激光方向偏转;

[0062] 一个第二压电偏摆镜,由压电偏摆台和平面镜组成,使经过所述第二楔形片的激光反射;

[0063] 一个第二线性偏振片,调控出射激光强度和偏振状态;

[0064] 所述差分干涉光路包括沿光轴方向依次设置的:

[0065] 一个第二 1/2 分光镜,使经过所述第一线性偏振片后的激光与经过所述第二线性偏振片的激光从两个表面沿 45 度入射后形成两路差分干涉激光信号;

[0066] 所述角度敏感系统包括:

[0067] 一个四象限光电探测器,使所述两路差分干涉激光信号转化为电信号;

[0068] 一个四通道高精度数字相位计,用于对从所述四象限光电探测器传入的电信号中包含的各个象限的相位信息 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D 进行同时精确测量;

[0069] 所述激光指向控制系统包括:

[0070] 一个激光指向控制器,用于采集、存储所述四通道相位计所测相位信息

φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D 的实时数据,分别计算左右象限相位差 $\theta_L - \theta_R = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} - \frac{\varphi_B + \varphi_D}{2}$ 和上下象

限相位差 $\theta_U - \theta_D = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} - \frac{\varphi_C + \varphi_D}{2}$, 然后利用标定的相位-角度关系 $\Delta\theta \approx \frac{16r}{3\lambda} \cdot \alpha$ (其中 r: 四

象限光电探测器光敏面半径; λ : 激光波长; α : 激光夹角), 得到左右偏转角 α_{yaw} 和上下偏转角 α_{pitch} , 通过 PID 控制算法生成角度控制信号;

[0071] 一个第二偏转驱动源,用于接收所述激光指向控制器发出的所述角度控制信号,对所述第二压电偏摆镜进行控制,实现两束激光的严格平行,即指向控制。

[0072] 本发明的优点是:

[0073] 1) 根据空间航天器激光抖动数据,编写控制软件,对第一压电偏摆台进行高精度角度控制,实现对入射激光方向高精度调制,来模拟航天器所接收到的来自远端航天器的入射激光方向抖动。

[0074] 2) 采用相位敏感测角方法学,比光强敏感方法学具有更高的灵敏度。同时该方法可以部分消除信号的共有噪声,提高激光指向控制的精度。

[0075] 3) 激光指向控制器实时接收相位计探测到的高精度相位信息,利用相位敏感测角的方法学,通过优化的自适应PID 反馈控制方法,对第二压电偏摆台进行高精度角度控制,实现两束激光的严格平行,即指向控制。

附图说明

[0076] 图 1 为本发明的空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟装置图。

[0077] 图 2 为本发明的激光指向抖动模拟系统流程图。

[0078] 图 3 为本发明的激光指向控制系统流程图。

具体实施方式

[0079] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0080] 本发明提供了如附图 1 所示的一种空间激光干涉系统激光指向控制技术的模拟装置,至少包括:

[0081] 一入射激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振入射激光;

[0082] 一激光指向抖动模拟系统,与入射激光臂相连,对入射激光方向高精度调制,用来模拟空间航天器入射激光方向抖动(参见图 2);

[0083] 一本地激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的线偏振本地激光;

[0084] 一差分干涉光路,与所述入射激光臂及所述本地激光臂相连,用于对入射激光和本地激光的强度及偏振态进行调控,并将所述入射激光与所述本地激光汇聚形成激光差分干涉信号;

[0085] 一角度敏感系统,进行光电信号转换,测量各个象限的相位信息;

[0086] 一激光指向控制系统,实时采集上述相位信息,利用优化的自适应比例-积分-微分控制方法,对所述本地激光的方向进行高精度角度控制,实现两束激光的严格平行,并使其指向偏差满足空间测量要求。

[0087] 入射激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0088] 一个 1064nm 激光器 1,用于产生波长为 1064nm45 度线偏振激光;

[0089] 一个第一法拉第隔离器 2,入射偏振方向为 45 度,出射偏振方向为 90 度,利用法拉第效应,防止激光返回激光器 1,影响激光器 1 正常工作;

[0090] 一个第一 1/2 分光镜 31,使激光入射后分为两路,光强减半,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;

[0091] 一个第一声光移频器 41,对所经激光进行移频;

- [0092] 一个第一光阑 51,用于滤除干扰激光;
- [0093] 一个第一楔形片 61,使被第一声光移频器 41 移频后造成的激光方向的偏转得到纠正;
- [0094] 一个第一压电偏摆镜 91,由压电偏摆台和平面镜组成,使经过第一楔形片 61 的激光被反射;
- [0095] 一个第一线性偏振片 111,调控出射激光强度和偏振状态;
- [0096] 激光指向抖动模拟系统包括:
- [0097] 一个激光指向抖动模拟器 71,编程模拟入射激光方向的抖动,并调控第一偏转驱动源;
- [0098] 一个第一偏转驱动源 81,用于接收激光指向抖动模拟器 71 发出的激光抖动调制信号,对第一压电偏摆镜 91 进行调制;
- [0099] 本地激光臂包括沿光轴方向依次设置的:
- [0100] 一个第二声光移频器 42,使被第一 1/2 分光镜 31 透射的激光经过后移频,并与经过第一声光移频器 41 的激光产生所需的频差;
- [0101] 一个第一光阑 51,用于滤除干扰激光;
- [0102] 一个第二楔形片 62,校正由第二声光移频器 42 激光方向偏转;
- [0103] 一个第二压电偏摆镜 92,由压电偏摆台和平面镜组成,使经过第二楔形片 62 的激光反射;
- [0104] 一个第二线性偏振片 112,校正激光偏振状态,使出射激光保持标准的 90 度线偏振激光;
- [0105] 差分干涉光路包括沿光轴方向依次设置的:
- [0106] 一个第二 1/2 分光镜 32,使经过第一线性偏振片 111 后的激光与经过第二线性偏振片 112 的激光从两个表面沿 45 度入射后形成差分干涉激光信号;
- [0107] 角度敏感系统包括:
- [0108] 一个四象限光电探测器 12,将激光差分信号转换电信号;
- [0109] 一个四通道相位计 13,同时精确测量四象限光电探测器各个象限的相位信息 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D ;
- [0110] 激光指向控制系统包括:
- [0111] 一个激光指向控制器 72,用于实时采集四通道相位计 13 所测相位信息 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D , 分别计算左右象限相位差 $\theta_L - \theta_R = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} - \frac{\varphi_B + \varphi_D}{2}$ 和上下象限相位差 $\theta_U - \theta_D = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} - \frac{\varphi_C + \varphi_D}{2}$, 然后利用标定的相位-角度关系 $\Delta\theta \approx \frac{16r}{3\lambda} \cdot \alpha$ (其中 r:四象限光电探测器 12 光敏面半径; λ :激光波长; α :激光夹角), 得到左右偏转角 α_{yaw} 和上下偏转角 α_{pitch} , 即 $\alpha_{yaw} = \frac{3\lambda(\theta_L - \theta_R)}{16r}$, $\alpha_{pitch} = \frac{3\lambda(\theta_U - \theta_D)}{16r}$, 通过优化的自适应 PID 控制算法(参见图 3)生成角度控制信号;
- [0112] 一个第二偏转驱动源 82,用于接收激光指向控制器 72 发出的角度控制信号,对第二压电偏摆镜 92 进行控制,实现两束激光的严格平行,即指向控制。

[0113] 具体操作步骤为：

[0114] 1) 开启 1064nm 激光器 1, 预热一段时间后打开稳频装置和声光移频器电源, 激光器输出 45 度线偏振光；

[0115] 2) 激光经过第一法拉第隔离器 2, 防止激光返回激光器, 影响激光器正常工作, 经过第一 1/2 分光镜 31, 激光分为两路, 两路光信号分别作为入射激光和本地激光；

[0116] 3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、光阑、楔形块、压电偏摆镜、线性偏振片, 两路激光产生频差 1MHz, 通过光阑滤除干扰激光, 楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转, 线性偏振片调节激光偏振态和强度；

[0117] 4) 激光指向抖动模拟器 71 控制第一偏转驱动源 81 对第一压电偏摆镜 91 进行调控, 来模拟由远端航天器发射过来的激光方向的抖动；

[0118] 5) 入射激光到达第二 1/2 分光镜 32；

[0119] 6) 本地激光到达第二 1/2 分光镜 32；

[0120] 7) 经过第二 1/2 分光镜 32 后形成差分干涉激光信号；

[0121] 8) 四象限光电探测器 12 将差分光信号转化为电信号；

[0122] 9) 四通道相位计 13 同时精确测量各个象限的相位信息 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 、 φ_D ；

[0123] 10) 激光指向控制器 72 分别计算左右象限相位差 $\theta_L - \theta_R = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} - \frac{\varphi_B + \varphi_D}{2}$ 和上下

象限相位差 $\theta_U - \theta_D = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} - \frac{\varphi_C + \varphi_D}{2}$, 然后利用标定的相位—角度关系 $\Delta\theta \approx \frac{16r}{3\lambda} \cdot \alpha$ (其中 r:

四象限光电探测器光敏面半径; λ : 激光波长; α : 激光夹角), 得到左右偏转角 α_{yaw} 和上下偏转角 α_{pitch} , 通过优化的自适应 PID 控制调节第二偏转驱动源 82, 对第二压电偏摆镜 92 进行控制, 进行高精度角度控制, 使两束激光严格平行, 并使指向偏差满足空间测量要求。

[0124] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明, 对于本领域的技术人员来说, 本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

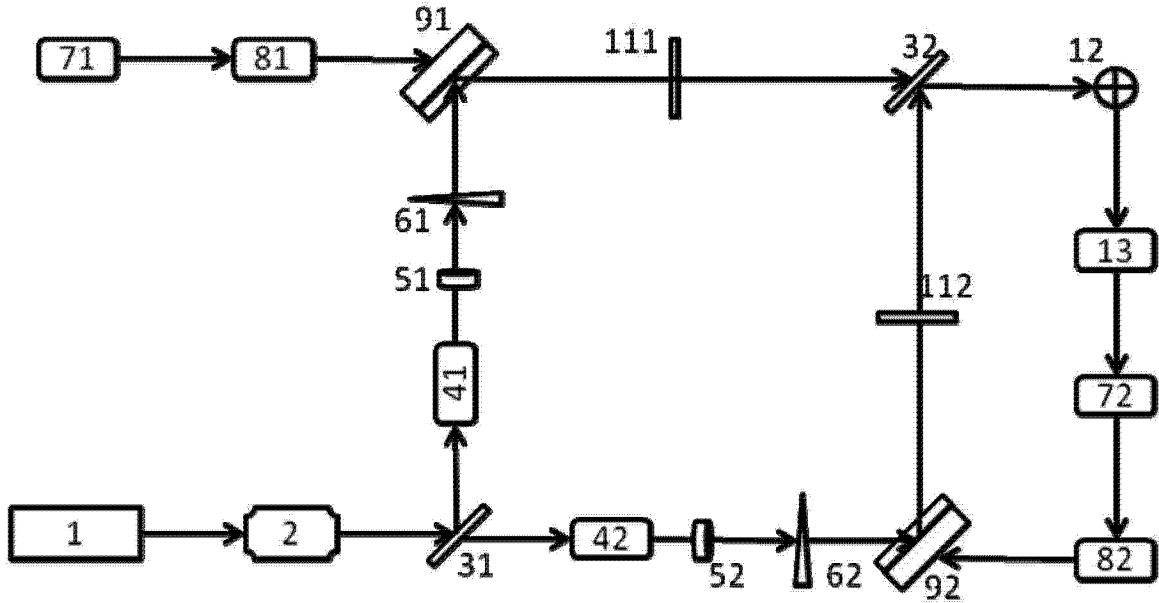


图 1

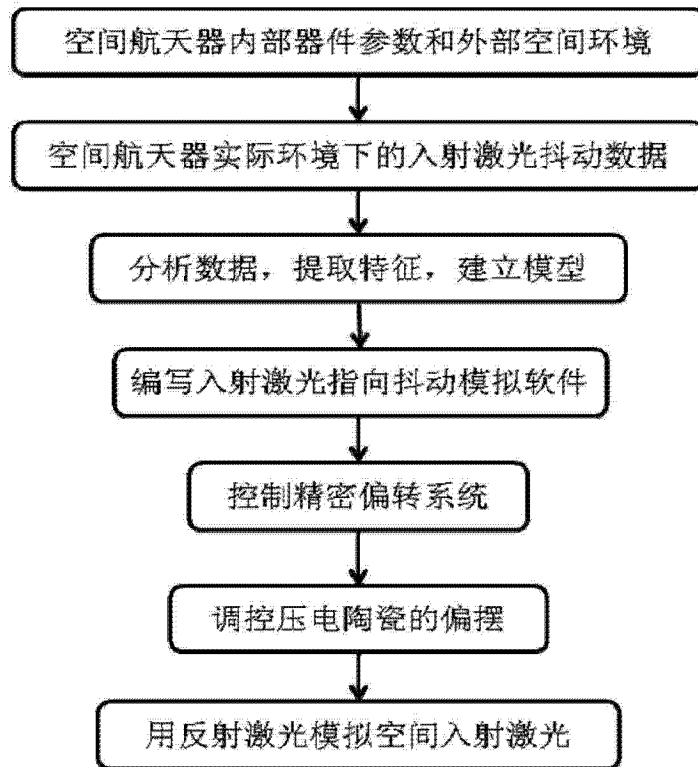


图 2

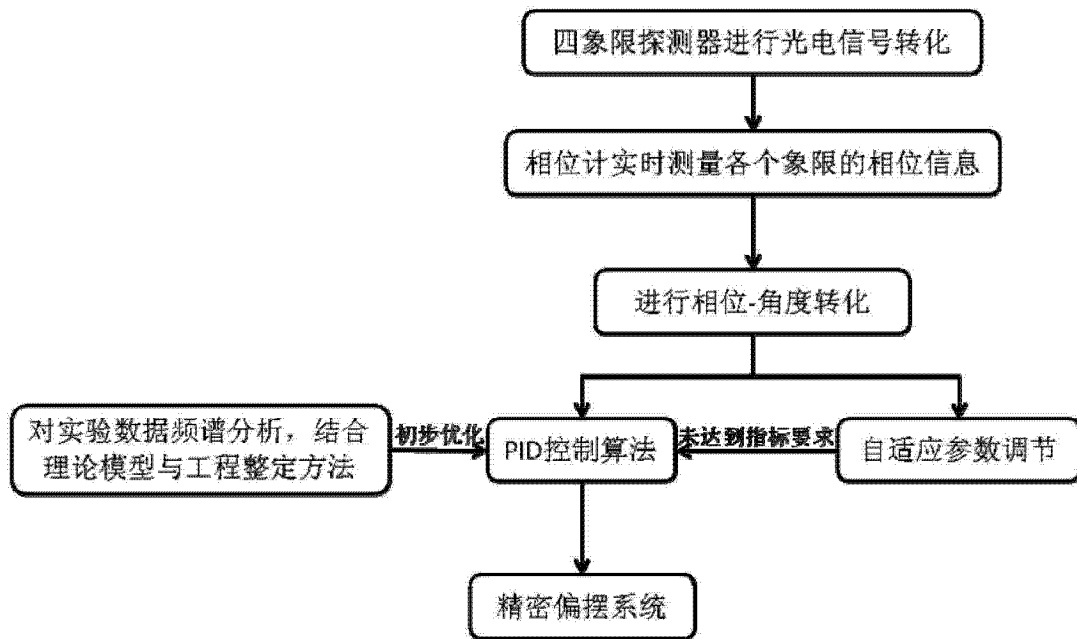


图 3