



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103234515 A

(43) 申请公布日 2013. 08. 07

(21) 申请号 201310137131. X

(22) 申请日 2013. 04. 19

(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 靳刚 刘河山 李玉琼 罗子人

(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.
G01C 3/00(2006. 01)

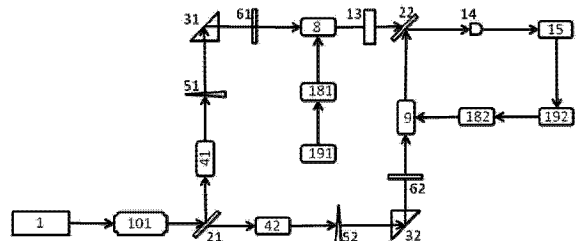
权利要求书5页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟方法和装置

(57) 摘要

本发明提供了一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟方法和装置,方法包括如下步骤:(a)产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振入射激光和偏振本地激光;(b)通过目标信号模拟控制系统,对所述入射激光的相位进行调制,用来模拟目标信号;(c)通过差分干涉系统,对入射激光的强度进行衰减并将所述入射激光与所述本地激光汇聚形成两路差分干涉激光信号;(d)通过锁相控制系统,对所述本地激光的相位进行调制,使所述本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。本模拟方法和装置能够精确进行星间激光干涉测距弱光锁相技术的地面模拟实验。



1. 一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟方法,其特征在于,包括如下步骤:

(a) 产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振入射激光和偏振本地激光;

(b) 通过目标信号模拟控制系统,对所述入射激光的相位进行调制,用来模拟目标信号;

(c) 通过差分干涉系统,对入射激光的强度进行衰减并将所述入射激光与所述本地激光汇聚形成两路差分干涉激光信号;

(d) 通过锁相控制系统,对所述本地激光的相位进行调制,使所述本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。

2. 如权利要求1所述的一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟方法,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(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;

2) 激光经过第一法拉第隔离器(101),防止激光返回激光器,影响激光器正常工作,经过第一半反半透镜(21),激光分为两路,光强减半,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;

3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、楔形块、直角反射镜,90 度偏振片,两路激光产生频差 1MHz,并经过楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转;两路激光各自分别进入电光相位调制器;

所述步骤(b)具体包括如下步骤:

4) 第一计算机(191)控制第一程控电压源(181)对第一电光相位调制器(8)进行调控,来模拟目标信号引起的双星间距变化,即相位偏移;

所述步骤(c)具体包括如下步骤:

5) 入射激光,通过衰减片(13)衰减光强,然后到达第二半反半透镜(22);

6) 本地激光到达第二半反半透镜(22);

7) 经过第二半反半透镜(22)后形成差分干涉激光信号;

8) 光电探测器(14)将差分光信号转化为电信号;

9) 高精度数字相位计(15)精确探测两路干涉信号的相位误差;

所述步骤(d)具体包括如下步骤:

10) 第二计算机(192)利用这一相位误差信号,通过优化的自适应PID控制方法反馈控制第二程控电压源(182),进行第二电光相位调制器的电控调相,使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。

3. 如权利要求1所述的一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟方法,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 90 度线偏振光;

2) 经过第一半反半透镜(21),激光分为两路,光强减半;

3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、楔形块、90 度偏振片,两路激光产生所需的频差 1MHz,并经过楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转;

4) 两路激光各自分别进入电光相位调制器;两路激光再各自经过法拉第隔离器,防止

激光返回激光器,影响激光器正常工作,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;

所述步骤(b)具体包括如下步骤:

5)第一计算机(191)控制第一程控电压源(181)对第一电光相位调制器(8)进行调控,来模拟目标信号引起的双星间距变化,即相位偏移;

所述步骤(c)具体包括如下步骤:

6)入射激光经过第二直角反射镜(32)后,通过衰减片(13)衰减光强,然后到达第二半反半透镜(22);

7)本地激光经过第三直角反射镜(33)后,到达第二半反半透镜(22);

8)经过第二半反半透镜(22)后形成差分干涉激光信号;

9)光电探测器(14)将差分光信号转化为电信号;

10)高精度数字相位计(15)精确探测两路干涉信号的相位误差;

所述步骤(d)具体包括如下步骤:

11)第二计算机(192)利用这一相位误差信号,通过优化的自适应PID控制方法反馈控制第二程控电压源(182),进行第二电光相位调制器(9)的电控调相,使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。

4. 一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置,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、强度及相位可控的偏振入射激光;

一目标信号模拟控制系统,与所述入射激光臂相连,用于对所述入射激光的相位进行调制;

一本地激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振本地激光;

一差分干涉系统,与所述入射激光臂及所述本地激光臂相连,用于对所述入射激光的强度进行衰减并将衰减后的入射激光与所述本地激光汇聚形成两路差分干涉激光信号,对两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测;

一锁相控制系统,对探测到的相位误差进行分析处理,并对所述本地激光的相位进行调制,使所述本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。

5. 如权利要求4所述的一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置,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(1),用于产生波长为1064nm45度线偏振激光;

一个第一法拉第隔离器(101),入射偏振方向为45度,出射偏振方向为90度,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;

一个第一半反半透镜(21),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(41),使被所述半反半透镜(21)反射的激光经过后移频;

一个第一楔形片(51),使被所述第一声光移频器(41)移频后造成的激光方向的偏转得到纠正;

一个第一直角反射镜(31),使经过所述第一楔形片(51)的激光被90度反射;

一个第一90度偏振片(61),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;

一个第一电光相位调制器(8),在所述目标信号模拟控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相;

所述目标信号模拟控制系统包括:

一个第一计算机(191),用于输入、存储空间目标信号的真实数据,再转换为双星间距数据,再转换为入射激光相位数据,再分析数据、提取特征,建立模型,转换为目标信号模拟软件,将相位控制信号转换为目标电压调制信号;

一个第一程控电压源(181),用于接收所述计算机发出的目标电压调制信号,对所述第一电光相位调制器(8)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(42),使被所述第一半反半透镜(21)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;

一个第二楔形片(52),使被所述第二声光移频器(42)移频后造成的激光方向的偏转得到纠正;

一个第二直角反射镜(32),使经过所述第二楔形片(52)的激光被90度反射;

一个第二90度偏振片(62),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;

一个第二电光相位调制器(9),在所述锁相控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相,使相位与入射激光相同;

所述差分干涉系统包括沿光轴方向依次设置的:

一个衰减片(13),使经所述经过第一光电相位调制器(8)的激光光强得到衰减;

一个第二半反半透镜(22),使经过所述衰减片(13)后的激光与经过所述第二经过电光相位调制器(9)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;

一个光电探测器(14),使所述两路差分干涉激光信号转化为电信号;

一个高精度数字相位计(15),用于对从所述光电探测器(14)传入的所述电信号中包含的所述两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测;

所述锁相控制系统包括:

一个第二计算机(192),用于采集、存储所述高精度数字相位计(15)所测差分干涉激光信号的实时相位数据,通过PID控制算法生成相位控制信号,再转换为本地电压调制信号;

一个第二程控电压源(182),用于接收所述计算机发出的所述本地电压调制信号,对所述第二电光相位调制器(9)进行调制,使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定,实现对入射激光中相位跟踪锁定,即实现两路信号的锁相。

6. 如权利要求4所述的一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置,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(1),用于产生波长为1064nm45度线偏振激光;

一个第一半反半透镜(21),使激光入射后分为两路,光强减半;

一个第一声光移频器(41),使被所述半反半透镜(21)透射的激光经过后移频;

一个第一楔形片(51),使被所述第一声光移频器(41)移频后造成的激光方向的偏转

得到纠正；

一个第一 90 度偏振片(61),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；

一个第一电光相位调制器(8),在所述目标信号模拟控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相；

一个第一法拉第隔离器(101),用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作；

一个第一光纤耦合器(111),用于将激光通过光纤传递到第二光纤耦合器(112)；

所述目标信号模拟控制系统包括：

一个第一计算机(191),用于输入、存储空间目标信号的真实数据,再转换为双星间距数据,再转换为入射激光相位数据,再分析数据、提取特征,建立模型,转换为目标信号模拟软件,将相位控制信号转换为目标电压调制信号；

一个第一程控电压源(181),用于接收所述计算机发出的目标电压调制信号,对所述第一电光相位调制器(8)进行调制；

所述本地激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

一个第一直角反射镜(31),使被所述第一半反半透镜(21)反射的激光沿 45 度角入射后完全反射,并沿光轴方向传播；

一个第二声光移频器(42),使被所述第一直角反射镜(31)反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；

一个第二楔形片(52),使被所述第二声光移频器(42)移频后造成的激光方向的偏转得到纠正；

一个第二 90 度偏振片(62),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；

一个第二电光相位调制器(9),在所述锁相控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相,使相位与入射激光相同；

一个第二法拉第隔离器(102),用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作；

一个第三光纤耦合器(121),用于将激光通过光纤传递到第四光纤耦合器(122)；

所述差分干涉系统包括沿光轴方向依次设置的：

一个第二光纤耦合器(112),所述第二光纤耦合器(112)通过光纤与所述第一光纤耦合器(111)相连；

一个第二直角反射镜(32),使从所述第二光纤耦合器(112)出射的激光沿 45 度角入射后完全反射；

一个衰减片(13),使经所述第二直角反射镜(32)反射的激光光强得到衰减；

一个第四光纤耦合器(122),所述第四光纤耦合器(122)通过光纤与所述第三光纤耦合器(121)相连；

一个第三直角反射镜(33),使从所述第四光纤耦合器(122)出射的激光沿 45 度角入射后完全反射；

一个第二半反半透镜(22),使经过所述衰减片(13)后的激光与经过所述第三直角反

射镜(33)反射后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；

一个光电探测器(14),使所述两路差分干涉激光信号转化为电信号；

一个高精度数字相位计(15),用于对从所述光电探测器(14)传入的所述电信号中包含的所述两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测；

所述锁相控制系统包括：

一个第二计算机(192),用于采集、存储所述高精度数字相位计(15)所测差分干涉激光信号的实时相位数据,通过PID控制算法生成相位控制信号,再转换为本地电压调制信号；

一个第二程控电压源(182),用于接收所述计算机发出的所述本地电压调制信号,对所述第二电光相位调制器(9)进行调制,使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定,实现对入射激光中相位跟踪锁定,即实现两路信号的锁相。

一种空间激光干涉系统弱光锁相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弱光锁相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统弱光锁相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] 目前我国和欧美地区正计划开展一系列空间探索项目,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。空间双星间距的精确测量对空间探索项目非常重要。由于激光干涉测距在测量精度上可以比微波测距高出三到四个量级,各国在优化对比的基础上均计划在此类项目中采用星间激光干涉测距技术作为信号探测的基本方法学。另外,由于测量双星间存在相对速度,星间激光产生多普勒频率移动,因此星间激光干涉测距必须采用外差干涉法。但是激光经过长距离传输会有很大的发散,而望远镜的接收直径又有限,这就造成了接收光功率的衰减。接收光功率 P_r 可表示为:

$$[0003] \quad P_r = 0.50 \frac{D^4}{\lambda^2 L^2} P$$

[0004] P :激光初始功率; D :望远镜直径; λ :激光波长; L :星间距离。

[0005] 对于地球先进重力测量,双星间距约为 100km,若采用接收口径 1cm,激光功率 100mW,远端卫星接收到的单程衰减后的光功率约为 10nW 量级;对于在空间引力波探测,测量双星间距为百万公里量级,望远镜接收口径约 40cm,激光器功率为 1W,远端卫星接收到的单程衰减后的光功率约为 100pW 量级。

[0006] 激光经过长距离的传输后,功率大幅下降,若不经特殊处理而直接反射回原航天器,光信号会非常微弱,无法保证有效的信号探测。目前可以利用光学锁相的技术将分别代表远程入射的弱光和本地的强光两支激光锁相(optical phaselocking),即将入射激光相位锁定到本地激光(使本地激光具有与入射激光相同的相位)。如此一来,本地激光便带有与入射激光相同的信息,便可用本地激光代替入射激光返回原航天器。有效的提升了信号强度及信噪比,使超远距离、高精度的有效测量成为可能。LISA 或 Grace-Follow-on 等均采用空间双星激光弱光锁相技术。

[0007] 为了给日后的空间探索提供合理的方法学和技术支持,有必要设计一种空间激光干涉系统弱光锁相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统弱光锁相技术的模拟方法和装置,用以进行地面模拟实验。

发明内容

[0008] 本发明解决的一个技术问题就是,提供一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟方法,用于精确进行星间激光干涉测距的地面模拟实验。

[0009] 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弱光锁相技术的模拟装置,可以实现星间激光干涉测距的地面模拟实验。

[0010] 为了解决上述问题,本发明提供一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟方法,包括如下步骤:

[0011] (a) 产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振入射激光和偏振本地激光;

[0012] (b) 通过目标信号模拟控制系统,对所述入射激光的相位进行调制,用来模拟目标信号;

[0013] (c) 通过差分干涉系统,对入射激光的强度进行衰减并将所述入射激光与所述本地激光汇聚形成两路差分干涉激光信号;

[0014] (d) 通过锁相控制系统,对所述本地激光的相位进行调制,实现所述本地激光的相位对入射激光相位的跟踪和锁定。

[0015] 进一步,所述步骤(a)具体包括如下步骤:

[0016] 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 90 度线偏振光;

[0017] 2) 经过第一半反半透镜,激光分为两路,光强减半;

[0018] 3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、楔形块、90 度偏振片,两路激光产生所需的频差 1MHz,并经过楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转;

[0019] 4) 两路激光各自分别进入电光相位调制器;两路激光再各自经过法拉第隔离器,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;

[0020] 所述步骤(b)具体包括如下步骤:

[0021] 5) 第一计算机控制第一程控电压源对第一电光相位调制器进行调控,来模拟目标信号引起的双星间距变化,即相位偏移;

[0022] 所述步骤(c)具体包括如下步骤:

[0023] 6) 入射激光经过第二直角反射镜后,通过衰减片衰减光强,然后到达第二半反半透镜;

[0024] 7) 本地激光经过第三直角反射镜后,到达第二半反半透镜;

[0025] 8) 经过第二半反半透镜后形成差分干涉激光信号;

[0026] 9) 光电探测器将差分光信号转化为电信号;

[0027] 10) 高精度数字相位计精确探测两路干涉信号的相位误差;

[0028] 所述步骤(d)具体包括如下步骤:

[0029] 11) 第二计算机利用这一相位误差信号,通过优化的自适应 PID 控制方法反馈控制第二程控电压源,进行第二电光相位调制器的电控调相,使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。

[0030] 进一步,所述步骤(a)具体包括如下步骤:

[0031] 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;

[0032] 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,经过第一半反半透镜,激光分为两路,光强减半,两路光信号分别作为入射激光和本地激光;

[0033] 3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、楔形块、直角反射镜,90 度偏振片,两路激光产生频差 1MHz,并经过楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转;两路激光各自分别进入电光相位调制器;

- [0034] 所述步骤(b)具体包括如下步骤：
- [0035] 4) 第一计算机控制第一程控电压源对第一电光相位调制器进行调控,来模拟目标信号引起的双星间距变化,即相位偏移；
- [0036] 所述步骤(c)具体包括如下步骤：
- [0037] 5) 入射激光,通过衰减片衰减光强,然后到达第二半反半透镜；
- [0038] 6) 本地激光到达第二半反半透镜；
- [0039] 7) 经过第二半反半透镜后形成差分干涉激光信号；
- [0040] 8) 光电探测器将差分光信号转化为电信号；
- [0041] 9) 高精度数字相位计精确探测两路干涉信号的相位误差；
- [0042] 所述步骤(d)具体包括如下步骤：
- [0043] 10) 第二计算机利用这一相位误差信号,通过优化的自适应PID控制方法反馈控制第二程控电压源,进行第二电光相位调制器的电控调相,使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。
- [0044] 一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置,至少包括：
- [0045] 一入射激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振入射激光；
- [0046] 一目标信号模拟控制系统,与所述入射激光臂相连,用于对所述入射激光的相位进行调制；
- [0047] 一本地激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振本地激光；
- [0048] 一差分干涉系统,与所述入射激光臂及所述本地激光臂相连,用于对所述入射激光的强度进行衰减并将衰减后的入射激光与所述本地激光汇聚形成两路差分干涉激光信号,对两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测；
- [0049] 一锁相控制系统,对探测到的相位误差进行分析处理,并对所述本地激光的相位进行调制,使所述本地激光的相位对入射激光相位跟踪和锁定。
- [0050] 进一步,所述入射激光臂包括沿光轴方向依次设置的：
- [0051] 一个1064nm激光器,用于产生波长为1064nm90度线偏振激光；
- [0052] 一个第一半反半透镜,使激光入射后分为两路,光强减半；
- [0053] 一个第一声光移频器,使被所述半反半透镜透射的激光经过后移频；
- [0054] 一个第一楔形片,使被所述第一声光移频器移频后造成的激光方向的偏转得到纠正；
- [0055] 一个第一90度偏振片,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；
- [0056] 一个第一电光相位调制器,在所述目标信号模拟控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相；
- [0057] 一个第一法拉第隔离器,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作；
- [0058] 一个第一光纤耦合器,用于将激光通过光纤传递到第二光纤耦合器；
- [0059] 所述目标信号模拟控制系统包括：
- [0060] 一个第一计算机,用于输入、存储空间目标信号的真实数据,再转换为双星间距数据,再转换为入射激光相位数据,再分析数据、提取特征,建立模型,转换为目标信号模拟软

件,将相位控制信号转换为目标电压调制信号;

[0061] 一个第一程控电压源,用于接收所述计算机发出的目标电压调制信号,对所述第一电光相位调制器进行调制;

[0062] 所述本地激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0063] 一个第一直角反射镜,使被所述第一半反半透镜反射的激光沿 45 度角入射后完全反射,并沿光轴方向传播;

[0064] 一个第二声光移频器,使被所述第一直角反射镜反射的激光经过后移频,并与经过第一声光移频器的激光产生所需的频差;

[0065] 一个第二楔形片,使被所述第二声光移频器移频后造成的激光方向的偏转得到纠正;

[0066] 一个第二 90 度偏振片,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;

[0067] 一个第二电光相位调制器,在所述锁相控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相,使相位与入射激光相同;

[0068] 一个第二法拉第隔离器,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;

[0069] 一个第三光纤耦合器,用于将激光通过光纤传递到第四光纤耦合器;

[0070] 所述差分干涉系统包括沿光轴方向依次设置的:

[0071] 一个第二光纤耦合器,所述第二光纤耦合器通过光纤与所述第一光纤耦合器相连;

[0072] 一个第二直角反射镜,使从所述第二光纤耦合器出射的激光沿 45 度角入射后完全反射;

[0073] 一个衰减片,使经所述第二直角反射镜反射的激光光强得到衰减;

[0074] 一个第四光纤耦合器,所述第四光纤耦合器通过光纤与所述第三光纤耦合器相连;

[0075] 一个第三直角反射镜,使从所述第四光纤耦合器出射的激光沿 45 度角入射后完全反射;

[0076] 一个第二半反半透镜,使经过所述衰减片后的激光与经过所述第三直角反射镜反射后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;

[0077] 一个光电探测器,使所述两路差分干涉激光信号转化为电信号;

[0078] 一个高精度数字相位计,用于对从所述光电探测器传入的所述电信号中包含的所述两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测;

[0079] 所述锁相控制系统包括:

[0080] 一个第二计算机,用于采集、存储所述高精度数字相位计所测差分干涉激光信号的实时相位数据,通过 PID 控制算法生成相位控制信号,再转换为本地电压调制信号;

[0081] 一个第二程控电压源,用于接收所述计算机发出的所述本地电压调制信号,对所述第二电光相位调制器进行调制,使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定,实现对入射激光中相位跟踪锁定,即实现两路信号的锁相。

[0082] 进一步,所述入射激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

- [0083] 一个 1064nm 激光器,用于产生波长为 1064nm45 度线偏振激光 ;
- [0084] 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,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 ;
- [0085] 一个第一半反半透镜,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 ;
- [0086] 一个第一声光移频器,使被所述半反半透镜反射的激光经过后移频 ;
- [0087] 一个第一楔形片,使被所述第一声光移频器移频后造成的激光方向的偏转得到纠正 ;
- [0088] 一个第一直角反射镜,使经过所述第一楔形片的激光被 90 度反射 ;
- [0089] 一个第一 90 度偏振片校正激光偏振状态,使出射激光保持标准的 90 度线偏振激光 ;
- [0090] 一个第一电光相位调制器,在所述目标信号模拟控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相 ;
- [0091] 所述目标信号模拟控制系统包括 :
- [0092] 一个第一计算机,用于输入、存储空间目标信号的真实数据,再转换为双星间距数据,再转换为入射激光相位数据,再分析数据、提取特征,建立模型,转换为目标信号模拟软件,将相位控制信号转换为目标电压调制信号 ;
- [0093] 一个第一程控电压源,用于接收所述计算机发出的目标电压调制信号,对所述第一电光相位调制器进行调制 ;
- [0094] 所述本地激光臂包括沿光轴方向依次设置的 :
- [0095] 一个第二声光移频器,使被所述第一半反半透镜透射的激光经过后移频,并与经过第一声光移频器的激光产生所需的频差 ;
- [0096] 一个第二楔形片,使被所述第二声光移频器移频后造成的激光方向的偏转得到纠正 ;
- [0097] 一个第二直角反射镜,使经过所述第二楔形片的激光被 90 度反射 ;
- [0098] 一个第二 90 度偏振片,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 ;
- [0099] 一个第二电光相位调制器,在所述锁相控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相,使相位与入射激光相同 ;
- [0100] 所述差分干涉系统包括沿光轴方向依次设置的 :
- [0101] 一个衰减片,使经所述第一电光相位调制器的激光光强得到衰减 ;
- [0102] 一个第二半反半透镜,使经过所述衰减片后的激光与经过所述第二电光相位调制器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 ;
- [0103] 一个光电探测器,使所述两路差分干涉激光信号转化为电信号 ;
- [0104] 一个高精度数字相位计,用于对从所述光电探测器传入的所述电信号中包含的所述两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测 ;
- [0105] 所述锁相控制系统包括 :
- [0106] 一个第二计算机,用于采集、存储所述高精度数字相位计所测差分干涉激光信号的实时相位数据,通过 PID 控制算法生成相位控制信号,再转换为本地电压调制信号 ;

[0107] 一个第二程控电压源,用于接收所述计算机发出的所述本地电压调制信号,对所述第二电光相位调制器进行调制,使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定,实现对入射激光中相位跟踪锁定,即实现两路信号的锁相。

[0108] 本发明的优点是:

[0109] 1) LISA 或 Grace-Follow-on 等空间双星激光锁相控制的目的是用来锁定两激光器的相位,而是将包含目标信号的入射激光相位信息锁定到本地激光。LISA 或 Grace-Follow-on 对激光器提出了极高的要求:10Hz/@1mHz。在地面实验阶段,难以获取如此精度的激光器,而激光锁相技术的本质又是对引力波或重力畸变等目标信号进行锁定,所以在进行激光锁相技术地面模拟实验时,采用单激光器两声光移频器(AOM)进行调频产生两路激光,用来模拟两路激光器,这样可以极大的降低对激光器的要求,并且克服激光器在低于 0.1Hz 频段的相位噪声影响。

[0110] 2)通过 PC 中的控制软件编程控制程控电压源,进而实现电光相位调制器(EOM)对激光相位的高精度调制,可以用来模拟空间卫星激光干涉测距中星间距的变化,并且可以根据实际情况引入相应的噪声信号,更加真实的模拟空间环境下的星间距变化。同时又能通过锁相控制回路精确调节电光相位调制器(EOM),实现入射激光与本地激光的高精度锁相。

[0111] 3)外部环境的复杂性给激光锁相控制带来了很大的难度。本实验锁相控制器采用优化的自适应 PID 控制,压制信号频段噪声,快速控制 EOM 实现相位跟踪和锁定。

附图说明

[0112] 图 1 为本发明的一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置图。

[0113] 图 2 为本发明的目标信号模拟系统流程图。

[0114] 图 3 为本发明的锁相控制系统流程图。

[0115] 图 4 为本发明的另一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置图。

[0116] 图面标示:

[0117] 激光器 1	第一半反半透镜 21	第二半反半透镜 22
[0118] 第一直角反射镜 31	第二直角反射镜 32	第一声光移频器 41
[0119] 第二声光移频器 42	第一楔形片 51	第二楔形片 52
[0120] 第一 90 度偏振片 61	第二 90 度偏振片 62	第一程控电压源 181
[0121] 第一电光相位调制器 8	第二电光相位调制器 9	第一法拉第隔离器 101
[0122] 第二法拉第隔离器 102	第一光纤耦合器 111	第二光纤耦合器 112
[0123] 第三光纤耦合器 121	第四光纤耦合器 122	光电探测器 14
[0124] 高精度数字相位计 15	第二程控电压源 182	第一计算机 191
[0125] 第二计算机 191	第三直角反射镜 33	

具体实施方式

[0126] 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。

[0127] 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。

[0128] 本发明提供了如附图 1 所示的一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置。

[0129] 包括一入射激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振入射激光。

[0130] 进一步,入射激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0131] 一个 1064nm 激光器 1,用于产生波长为 1064nm90 度线偏振激光;一个第一半反半透镜 21,使激光入射后分为两路,光强减半;一个第一声光移频器 41,使被半反半透镜 21 透射的激光经过后移频;一个第一楔形片 51,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;一个第一 90 度偏振片 61,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;一个第一电光相位调制器 8,在目标信号模拟控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相;一个第一法拉第隔离器 101,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;一个第一光纤耦合器 111,用于将激光通过光纤传递到第二光纤耦合器 112。

[0132] 还包括一目标信号模拟控制系统,与入射激光臂相连,用于对入射激光的相位进行调制。

[0133] 进一步,目标信号模拟控制系统包括:

[0134] 一个第一计算机 191,用于输入、存储空间目标信号的真实数据,再转换为双星间距数据,再转换为入射激光相位数据,再分析数据、提取特征,建立模型,转换为目标信号模拟软件,将相位控制信号转换为目标电压调制信号;一个第一程控电压源 181,用于接收第一计算机 191 发出的目标电压调制信号,对第一电光相位调制器 8 进行调制。目标信号模拟控制系统流程参见图 2。

[0135] 还包括一本地激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振本地激光。

[0136] 进一步,本地激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0137] 一个第一直角反射镜 31,使被第一半反半透镜 21 反射的激光沿 45 度角入射后完全反射,并沿光轴方向传播;一个第二声光移频器 42,使被第一直角反射镜 31 反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;一个第二楔形片 52,使被第二声光移频器 42 移频后造成的激光方向的偏转得到纠正;一个第二 90 度偏振片 62,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;一个第二电光相位调制器 9,在锁相控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相,使相位与入射激光相同;一个第二法拉第隔离器 102,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;一个第三光纤耦合器 121,用于将激光通过光纤传递到第四光纤耦合器 122。

[0138] 还包括一差分干涉系统,与入射激光臂及本地激光臂相连,用于对入射激光的强度进行衰减并将衰减后的入射激光与本地激光汇聚形成两路差分干涉激光信号,对两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测。

[0139] 进一步,差分干涉系统包括沿光轴方向依次设置的:

[0140] 一个第二光纤耦合器 112,第二光纤耦合器 112 通过光纤与第一光纤耦合器 111 相连;一个第二直角反射镜 32,使从第二光纤耦合器 112 出射的激光沿 45 度角入射后完全

反射；一个衰减片 13，使经第二直角反射镜 32 反射的激光光强得到衰减；一个第四光纤耦合器 122，第四光纤耦合器 122 通过光纤与第三光纤耦合器 121 相连；一个第三直角反射镜 33，使从第四光纤耦合器 122 出射的激光沿 45 度角入射后完全反射；一个第二半反半透镜 22，使经过衰减片 13 后的激光与经过第三直角反射镜 33 反射后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；一个光电探测器 14，使两路差分干涉激光信号转化为电信号；一个高精度数字相位计 15，用于对从光电探测器 14 传入的电信号中包含的两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测。

[0141] 还包括一锁相控制系统，对探测到的相位误差进行分析处理，并对本地激光的相位进行调制，使本地激光相位对入射激光相位进行跟踪和锁定。

[0142] 进一步，锁相控制系统包括：

[0143] 一个第二计算机 192，用于采集、存储高精度数字相位计 15 所测差分干涉激光信号的实时相位数据，通过 PID 控制算法生成相位控制信号，再转换为本地电压调制信号；一个第二程控电压源 182，用于接收第二计算机 192 发出的本地电压调制信号，对第二电光相位调制器 9 进行调制，使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定，实现对入射激光中相位跟踪锁定，即实现两路信号的锁相。锁相控制系统流程参见图 3。EOM 调相参考书目：《集成电光调制理论与技术》陈福深编著，国防工业出版社 P30（1.7 电光调制）。

[0144] 具体操作步骤为：

[0145] 1) 开启 1064nm 激光器 1，预热一段时间后打开稳频装置和第一声光移频器 41 和第二声光移频器 42 电源。激光器 1 输出 90 度线偏振激光；

[0146] 2) 经过第一半反半透镜 21，激光分为两路，光强减半；

[0147] 3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、楔形块、90 度偏振片，两路激光产生频差 1MHz（差频设计与多普勒频移的关系：空间双星存在多普勒频移，为准确反映测量信号，需要激光差频大于多普勒频移频差，数值是根据不同的研究目标来定的，如先进重力测量的频差为 1MHz，引力波探测的频差为 20MHz），并经过楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转；

[0148] 4) 两路激光各自分别进入电光相位调制器，两路激光再各自经过法拉第隔离器，防止激光返回激光器，影响激光器正常工作，两路激光信号分别作为入射激光和本地激光；

[0149] 5) 第一计算机 191 控制第一程控电压源 181 对第一电光相位调制器 8 进行调控，来模拟目标信号引起的星间距变化，即相位偏移；

[0150] 6) 入射激光经过第二直角反射镜 32 后，通过衰减片 13 衰减光强，然后到达半反半透镜 22；

[0151] 7) 本地激光经过第三直角反射镜 33 后，到达第二半反半透镜 22；

[0152] 8) 经过第二半反半透镜 22 后形成差分干涉激光信号；

[0153] 9) 光电探测器 14 将差分光信号转化为电信号；

[0154] 10) 高精度数字相位计 15 精确探测两路干涉信号的相位误差；

[0155] 11) 第一计算机 192 利用这一相位误差信号，通过优化的自适应 PID 控制方法反馈控制第二程控电压源 182，进行第二电光相位调制器 9 的电控调相，使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。

[0156] 本实施例提供的一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置采用二级隔振系统,它是由独立地基和连胜隔振平台组成,隔振频率大于 1Hz。通过二级隔振系统能有效隔离地面振动及其它高频振动对实验平台的影响。

[0157] 采用高真空系统和殷钢平台。高真空系统由机械泵、分子泵和离子泵三级协作,能达到 10^{-5} Pa 的真空度。它能降低大气扰动的影响并且模拟空间真空环境。殷钢的膨胀系数为 $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$ 。通过真空系统和殷钢光学平台,能有效抑制热噪声对激光锁相控制系统的影响。

[0158] 采用电磁屏蔽系统。外界电磁辐射的干扰是光电探测器的主要噪声源之一。对于这一类噪声,我们采用电磁屏蔽系统。电磁屏蔽系统是由厚度为 30mm 钢质腔体构成。它可以有效的屏蔽外界的电磁干扰对光电探测器的影响。

[0159] 实施例二

[0160] 为了减少光纤对实验结果的影响,本发明又提供了优选的一种空间激光干涉系统弱光锁相技术的模拟装置,参见图 4。与实施例一相同部分略去。

[0161] 包括一入射激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振入射激光。

[0162] 进一步,入射激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0163] 一个 1064nm 激光器 1,用于产生波长为 1064nm45 度线偏振激光;一个第一法拉第隔离器 101,入射偏振方向为 45 度,出射偏振方向为 90 度,与 EOM 所需的偏振相同,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;一个第一半反半透镜 21,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 41,使被半反半透镜 21 反射的激光经过后移频;一个第一楔形片 51,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;一个第一直角反射镜 31,使经过第一楔形片 51 的激光被 90 度反射;一个第一 90 度偏振片 61,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;一个第一电光相位调制器 8,在目标信号模拟控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相。

[0164] 还包括一目标信号模拟控制系统,与入射激光臂相连,用于对入射激光的相位进行调制。

[0165] 进一步,目标信号模拟控制系统包括:

[0166] 一个第一计算机 191,用于输入、存储空间目标信号的真实数据,再转换为双星间距数据,再转换为入射激光相位数据,再分析数据、提取特征,建立模型,转换为目标信号模拟软件,将相位控制信号转换为目标电压调制信号。

[0167] 一个第一程控电压源 181,用于接收计算机发出的目标电压调制信号,对第一电光相位调制器 8 进行调制。

[0168] 还包括一本地激光臂,用于产生准直、单色、偏振态、强度及相位可控的偏振本地激光。

[0169] 进一步,本地激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0170] 一个第二声光移频器 42,使被第一半反半透镜 21 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;一个第二楔形片 52,使被第二声光移频器 42 移频后造成的激光方向的偏转得到纠正;一个第二直角反射镜 32,使经过第二楔形片 52 的激光被 90 度反射;一个第二 90 度偏振片 62 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；一个第二电光相位调制器 9，在锁相控制系统的控制下用于对经过的激光进行调相，使相位与入射激光相同。

[0171] 还包括一差分干涉系统，与入射激光臂及本地激光臂相连，用于对入射激光的强度进行衰减并将衰减后的入射激光与本地激光汇聚形成两路差分干涉激光信号，对两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测。

[0172] 进一步，差分干涉系统包括沿光轴方向依次设置的：

[0173] 一个衰减片 13，使经第一电光相位调制器 8 的激光光强得到衰减；一个第二半反半透镜 22，使经过衰减片 13 后的激光与经过第二电光相位调制器 9 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；一个光电探测器 14，使两路差分干涉激光信号转化为电信号；一个高精度数字相位计 15，用于对从光电探测器 14 传入的电信号中包含的两路差分干涉激光信号的相位误差进行精确探测。

[0174] 还包括一锁相控制系统，对探测到的相位误差进行分析处理，并对本地激光的相位进行调制，使本地激光的相位对入射激光相位进行跟踪和锁定。

[0175] 进一步，锁相控制系统包括：

[0176] 一个第二计算机 192，用于采集、存储高精度数字相位计 15 所测差分干涉激光信号的实时相位数据，通过 PID 控制算法生成相位控制信号，再转换为本地电压调制信号；一个第二程控电压源 182，用于接收计算机发出的本地电压调制信号，对第二电光相位调制器 9 进行调制，使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定，即实现两路信号的锁相。

[0177] 具体操作步骤为：

[0178] 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；

[0179] 2) 激光经过第一法拉第隔离器 101，防止激光返回激光器，影响激光器正常工作，经过第一半反半透镜 21，激光分为两路，光强减半，两路光信号分别作为入射激光和本地激光；

[0180] 3) 两路激光各自分别经过一个声光移频器、楔形块、直角反射镜，90 度偏振片，两路激光产生频差 1MHz，并经过楔形片纠正因声光移频器导致的激光方向偏转；两路激光各自分别进入电光相位调制器；

[0181] 4) 第一计算机 191 控制第一程控电压源 181 对第一电光相位调制器 8 进行调控，来模拟目标信号引起的双星间距变化，即相位偏移；

[0182] 5) 入射激光，通过衰减片 13 衰减光强，然后到达第二半反半透镜 22；

[0183] 6) 本地激光到达第二半反半透镜 22；

[0184] 7) 经过第二半反半透镜 22 后形成差分干涉激光信号；

[0185] 8) 光电探测器 14 将差分光信号转化为电信号；

[0186] 9) 高精度数字相位计 15 精确探测两路干涉信号的相位误差；

[0187] 10) 第二计算机 192 利用这一相位误差信号，通过优化的自适应 PID 控制方法反馈控制第二程控电压源 182，进行第二电光相位调制器的电控调相，使本地激光的相位对入射激光的相位进行跟踪和锁定。

[0188] 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。

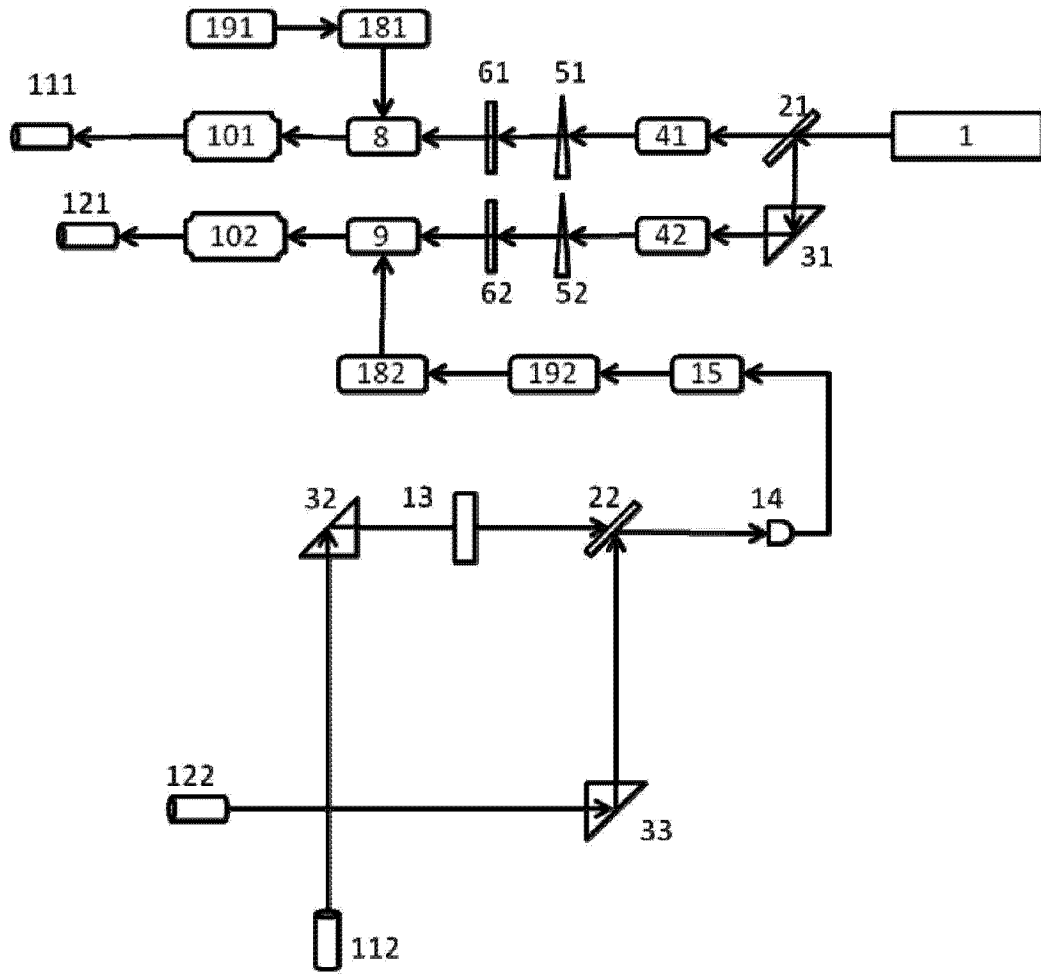


图 1

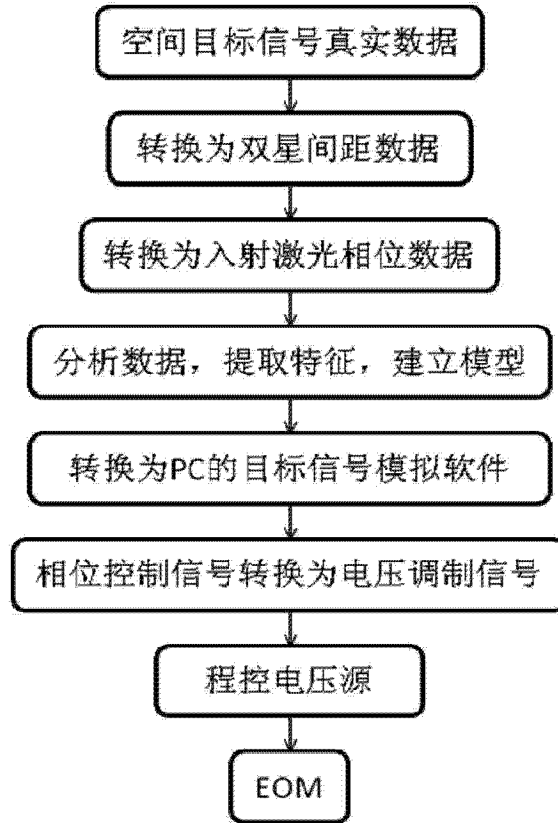


图 2

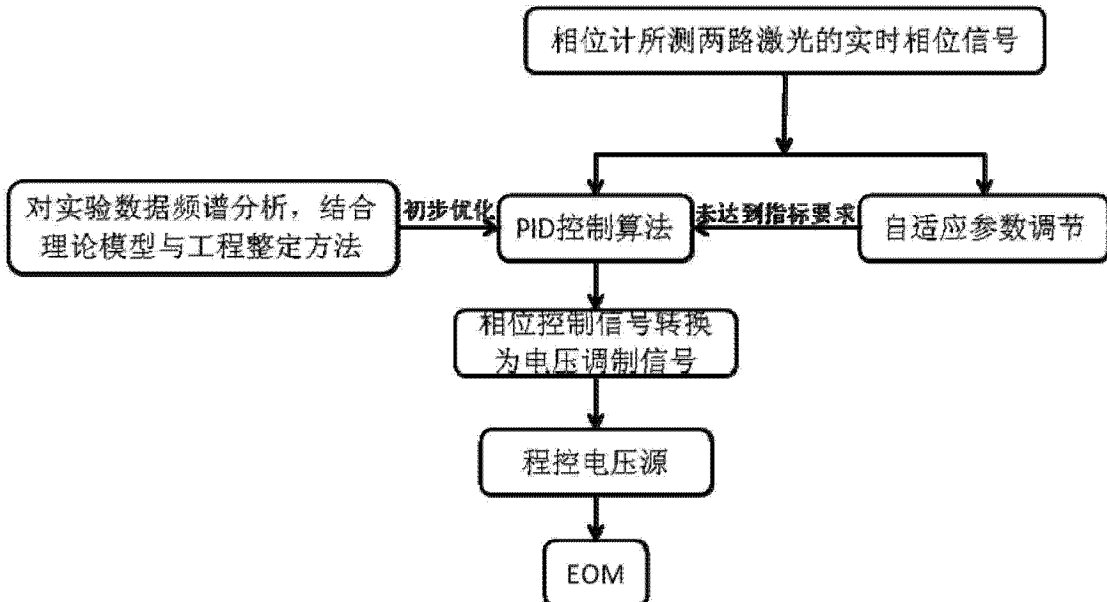


图 3

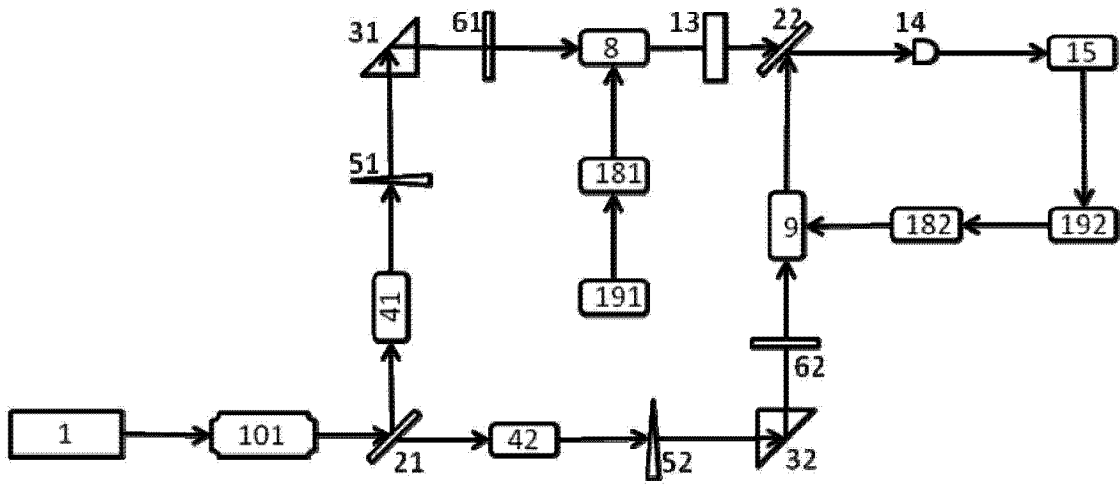


图 4