



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115225246 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 21

(21) 申请号 202210811013.1

(22) 申请日 2022.07.11

(71) 申请人 北京邮电大学  
地址 100876 北京市海淀区西土城路10号

(72) 发明人 张一辰 喻松 罗斌 刘紫豪  
王朝晖 郭弘

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所  
11121

专利代理师 易卜

(51) Int. Cl.

H04L 7/033 (2006.01)

H04J 3/16 (2006.01)

H04B 10/556 (2013.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

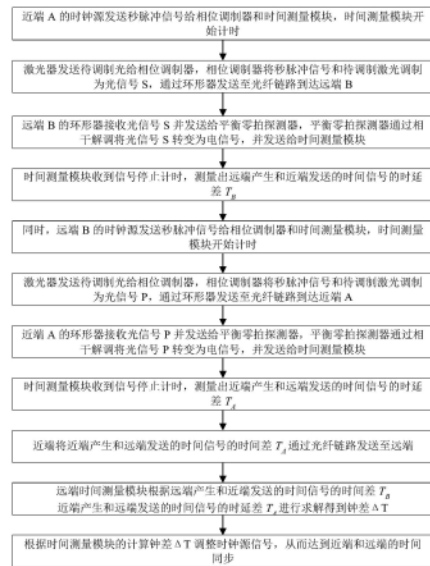
(54) 发明名称

相位调制双向时间同步装置、方法和系统

(57) 摘要

本发明公开了相位调制双向时间同步装置、方法和系统,属于时间同步领域;具体为在近端,接收到的远端信号直接和激光器的光通过分束器混频后,输入平衡零拍探测解调并转换成电信号,通过时间测量模块获得时间信号,通过比较获得的接收远端时间信号和近端发送时间信号之间的时间差 $T_A$ ,发送到远端。在远端,接收到的近端秒脉冲信号和远端激光器的光通过分束器混频后输入平衡零拍探测解调并转换成电信号,通过时间测量模块获得时间信号,通过比较得到接收近端时间信号和远端发送时间信号之间的时间差 $T_B$ ,并与近端发送的时间差 $T_A$ 计算出链路的时延差,从而对远端的时钟源进行反馈调节,补偿产生的时延差。本发明消除了偏置漂移问题和非对称性。

CN 115225246 A



1. 相位调制双向时间同步装置,包括近端A和远端B,其特征在于:

近端A由近端时钟源,近端激光器,第一相位调制器,第一相位控制模块,近端平衡零拍探测器、近端环形器、第一和第二分束器和近端时间测量模块组成;

近端激光器与第一分束器相连,输出的光分成两路,一路进入第一相位调制器,同时近端时钟源产生的时钟信号也输入第一相位调制器,第一相位调制器输出调制后的信号光,并通过近端环形器输入光纤链路;另一路输入第二分束器中,同时,近端环形器通过光纤链路接收远端信号并经第一相位控制模块进行调制,输入第二分束器;第二分束器将两路信号进行合频后,对应两个输出共同进入近端平衡零拍探测器,通过该探测器得到远端时间脉冲信号,并输入近端时间测量模块与近端时钟源信号求出时延差;同时利用光纤链路将近端时延送至远端;

远端B由远端时钟源,远端激光器,第二相位调制器,第二相位控制模块,远端平衡零拍探测器、远端环形器、第三和第四分束器和远端时间测量模块组成;

远端激光器与第三分束器相连,输出的光分成两路,一路进入第三相位调制器,远端时钟源产生的时钟信号也输入第三相位调制器,经第三相位调制器调制后的信号光,通过远端环形器输入光纤链路;另一路输入到第四分束器,同时,远端环形器通过光纤链路接收近端信号,并经过第二相位控制模块进行调制,输入第四分束器中,第四分束器将两路信号进行合频后,对应两个输出共同进入远端平衡零拍探测器,通过该探测器得到近端时间脉冲信号,并输入远端时间测量模块与近端时钟源信号求出时延差;同时根据近端得到的时延差计算钟差  $\Delta T$ ,通过对远端时钟源的时钟信号补偿钟差  $\Delta T$ ,最终实现近端A和远端B的时间同步。

2. 根据权利要求1所述的相位调制双向时间同步装置,其特征在于,所述的近端环形器或远端环形器替换为波分复用器,同时两台激光器设置的波长不同,进行区分。

3. 根据权利要求1所述的相位调制双向时间同步装置的相位调制双向时间同步方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、近端时钟源产生秒脉冲并通过相位调制到光信号上,通过光纤链路发送到远端;

步骤二、远端环形器将接收到的光信号通过分束器和远端激光器的光进行合频,经探测器获得解调的电信号,并输入远端时间测量模块得到远端产生和近端发送的时间信号的时延差 $T_B$ ;

步骤三、远端时钟源产生秒脉冲并通过相位调制到光信号上,通过光纤链路发送到近端;

步骤四、近端环形器将接收到的光信号通过分束器和近端激光器的光进行合频,经探测器获得解调的电信号,并输入近端时间测量模块得到近端产生和远端发送的时间信号的时延差 $T_A$ ;

步骤五、近端将时间差值 $T_A$ 发送到远端;

步骤六、远端通过两个时间差值计算出两端的时钟延时,根据时钟延时调整远端时钟源达成远近两端的时间同步;

时钟延时的计算公式为:

$$\Delta T = \frac{T_A - T_B}{2} + \frac{T_{AB} - T_{BA}}{2} + \frac{t_A + r_B - t_B - r_A}{2}$$

$T_{AB}$ 为近端到远端的光纤传输时延, $T_{BA}$ 为远端到近端的光纤传输时延; $t_A$ 为近端A的发送时延, $t_B$ 为远端B的发送时延, $r_A$ 为近端A的接收时延, $r_B$ 为远端B的接收时延, $\Delta T$ 为钟差。

4. 根据权利要求1所述的相位调制双向时间同步装置的相位调制双向时间同步系统,其特征不在于,包括以下内容:

在近端A平衡零拍探测器将第二分束器的两路输出:光纤链路传输的远端光信号经相位调制后的P信号光与激光器的输出光,进行相干解调,得到P信号上的调制秒脉冲,并输入近端时间测量模块,与近端时钟源的时钟信号计算时延差 $T_A$ ,该时延差 $T_A$ 通过光纤链路发送到远端;

时延差 $T_A$ 为近端发送秒脉冲信号与接收到远端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时钟差;计算公式为:

$$T_A = \Delta T + T_{BA} + t_B + r_A$$

$\Delta T$ 为时延差 $T_A$ 与时延差 $T_B$ 之间的钟差; $T_{BA}$ 为远端到近端的光纤传输时延; $t_B$ 为远端B的发送时延, $r_A$ 为近端A的接收时延;

同时,近端时钟源产生的秒脉冲信号和时钟信号提供给相位调制器,相位调制器根据接收到经近端平衡零拍探测器输出的电信号,将近端激光器输出的光进行相位调制,转变为光信号S,经光纤链路输出到远端B;

在远端B时钟源产生的秒脉冲信号和时钟信号提供给相位调制器,相位调制器根据接收到的经远端平衡零拍探测器输出的电信号,将远端激光器输出的光进行相位调制,转变为光信号P;

远端平衡零拍探测器将接收的光信号S与远端激光器的输出光进行相干解调,得到信号S上的调制秒脉冲;得出的秒脉冲信号输入远端时间测量模块,并与远端时钟源的时钟信号计算时延差 $T_B$ ;

$T_B$ 为远端发送秒脉冲信号与接收到近端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时钟差;计算公式为:

$$T_B = -\Delta T + T_{AB} + t_A + r_B$$

$T_{AB}$ 为近端到远端的光纤传输时延, $t_A$ 为近端A的发送时延, $r_B$ 为远端B的接收时延;

同时根据时延差 $T_A$ 计算钟差 $\Delta T$ 调整远端时钟源的时钟信号,从而对远端时钟源补偿 $\Delta T$ 实现远近两端的时间同步。

5. 根据权利要求3所述的相位调制双向时间同步系统,其特征不在于,所述钟差 $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{T_A - T_B}{2} + \frac{T_{AB} - T_{BA}}{2} + \frac{t_A + r_B - t_B - r_A}{2}$$

中,由于系统往返使用同一光纤链路, $T_{AB} - T_{BA} = 0$ ;而 $t_A + r_B - t_B - r_A$ 项由于在远端和近端使用了相同的调制和解调方式且该项为固定值,通过在系统运行前设置补偿,产生的时间差忽略;

因此钟差 $\Delta T$ 化简为: $\Delta T = \frac{T_A - T_B}{2}$ 。

## 相位调制双向时间同步装置、方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于时间同步领域,具体涉及一种相位调制双向时间同步装置、方法和系统。

### 背景技术

[0002] 不同位置之间的时间同步在许多应用中起着重要作用,基础研究领域如原子钟间的对比和同步、长基线相干射电望远镜同步、粒子加速器,抑或是全球定位系统、火箭和导弹精确制导、相控雷达阵列协调控制、突发保密通信等,涉及国家战略层面的应用都离不开高精度的时间同步,因此高精度高稳定度的时间同步技术在科学研究和国民生活中的作用越发凸显。

[0003] 传统的双向卫星时间同步容易受到干扰,并且存在时间同步精度较低等缺点,与传统的双向卫星时间和频率传输相比,光纤链路具有带宽大、损耗低、温度系数小、造价低、稳定性高、中继距离长和抗干扰能力强的优点,被认为是高稳定性和长距离时间传输的一种有前途的替代介质。然而,光纤链路的时延是漂移的,主要由机械扰动和温度变化引起。克服这个问题的经典方法之一是在两个参与站点中设置时间信号的双向传输,被称为双向时间同步系统。另一种方法是将到达远程站点的信号重定向回本地站点,也被称为环回时间同步系统。这两种解决方案都是比较本地信号和每个站点接收到的信号所不可缺少的。根据远近站点的比较结果,可以对传播时延波动进行动态补偿和校准,以提高时间传输系统的稳定性。

[0004] 目前,国内外对光纤时间同步系统的研究已经有了很大进展。欧美等发达国家对光纤时间频率信号传输方面的研究已经取得了突破性的进展。2010年,捷克教育科研网中心利用波分复用双向时间比对的方法,在744km的实地光纤链路上实现了时间同步传输,稳定度优于100ps@1s,不确定度112ps。2016年,荷兰国家计量院VSL采用双向光放大器结构与White Rabbit系统,在274 km的光纤链路上实现了时间同步传输,不确定度优于8.2ns。2019年,波兰克拉科夫AGH科技大学提出了一种通过改变光纤色散补偿模块的长度或温度来修正相位延迟的方法,在1550km的实地光纤链路上获得了优于20ps的时间传输稳定度。在国内,2017年,清华大学在25km的光纤链路上实现了高精度多路光纤时间信号同步传输,稳定度优于3ps@1s,不确定度约为100ps。2019年,上海交通大学提出了一种在商用波分复用系统中通过光监控信道进行时间传输的方法,在100 km的实验室光纤链路上获得了优于15ps@1s和2ps@10<sup>4</sup>s的时间传输稳定度。2020年,上海光机所将时间信号和微波信号同时加载到同一波长激光上,在110km的实验室光纤链路上实现了高精度的时间信号传输,其时间传输稳定度为16ps@1s和0.91ps@10<sup>4</sup>s。

[0005] 传统的双向时间同步系统大体如图1所示,近端和远端同时向对端发送自己的时间信息,同时接收对端站发送过来的时间信息。近端钟发出的时间信号 $t_A$ 分为两路,一路作为本地时间间隔计数器的开始计数信号,另一路由光脉冲发送模块以 $\lambda_1$ 波长发送出去,经波分复用进入光纤链路,在远端光信号经波分复用被分离出来,经过光脉冲接收模块转换

成电信号,在远端恢复的秒脉冲作为远端时间间隔计数器的停止信号。类似的,远端钟发出的时间信号 $t_B$ 分为两路,一路作为远端时间间隔计数器的开始计数信号,另一路由光脉冲发送模块以 $\lambda_2$ 波长发送出去,经波分复用进入光纤链路,在近端光信号经波分复用被分离出来,经过光脉冲接收模块转换成电信号,在近端恢复的秒脉冲作为近端时间间隔计数器的停止信号。通过测量近端与远端发送信号间的时间差,计算两地钟差。利用该钟差数据,以一端钟源为基准,通过伺服控制来调整另一地钟源,从而实现两地的时间同步。

[0006] 但是,上述系统在光信号调制时一般采用的是强度调制,需要为强度调制器设定对应的直流偏置点,不同的偏置点会影响强度调制器的工作状态。由于强度调制器在使用中会受到外部干扰以及温度和老化等影响,容易导致设置好的直流偏置点产生漂移,从而导致调制器的传输函数发生漂移,发生漂移后,接收端所探测到的秒脉冲信号的上升沿会发生变化,从而影响整个系统的传输性能。

### 发明内容

[0007] 针对信号调制时,偏置点漂移造成的系统性能的影响,本发明提出了相位调制双向时间同步装置、方法和系统,使用相位调制改变光信号的相位,通过计算链路的时延差,对时钟源进行反馈调节,补偿产生的时延差;同时,通过相位调制的双向时间同步,解决了在传统双向时间同步中光信号进行强度调制时容易产生的直流偏置点漂移而导致系统传输性能恶化的问题。

[0008] 所述相位调制双向时间同步装置,包括近端A和远端B;

[0009] 近端A由近端时钟源,近端激光器,第一相位调制器,第一相位控制模块,近端平衡零拍探测器、近端环形器、第一和第二分束器和近端时间测量模块组成。

[0010] 近端激光器与第一分束器相连,输出的光分成两路,一路进入第一相位调制器,同时近端时钟源产生的时钟信号也输入第一相位调制器,第一相位调制器输出调制后的信号光,并通过近端环形器输入光纤链路;另一路输入第二分束器中,同时,近端环形器通过光纤链路接收远端信号并经第一相位控制模块进行调制,输入第二分束器;第二分束器将两路信号进行合频后,对应两个输出共同进入近端平衡零拍探测器,通过该探测器得到远端时间脉冲信号,并输入近端时间测量模块与近端时钟源信号求出时延差;同时利用光纤链路将近端时延送至远端。

[0011] 远端B由远端时钟源,远端激光器,第二相位调制器,第二相位控制模块,远端平衡零拍探测器、远端环形器、第三和第四分束器和远端时间测量模块组成。

[0012] 远端激光器与第三分束器相连,输出的光分成两路,一路进入第三相位调制器,远端时钟源产生的时钟信号也输入第三相位调制器,经第三相位调制器调制后的信号光,通过远端环形器输入光纤链路;另一路输入到第四分束器,同时,远端环形器通过光纤链路接收近端信号,并经过第二相位控制模块进行调制,输入第四分束器中,第四分束器将两路信号进行合频后,对应两个输出共同进入远端平衡零拍探测器,通过该探测器得到近端时间脉冲信号,并输入远端时间测量模块与近端时钟源信号求出时延差;同时根据近端得到的时延差计算钟差 $\Delta T$ ,通过对远端时钟源的时钟信号补偿钟差 $\Delta T$ ,最终实现近端A和远端B的时间同步。

[0013] 进一步,所述的近端环形器或远端环形器替换为波分复用器;同时两台激光器设

置成波长不同,进行区分。

[0014] 所述相位调制双向时间同步方法,包括以下步骤:

[0015] 步骤一、近端时钟源产生秒脉冲并通过相位调制到光信号上,通过光纤链路发送到远端;

[0016] 步骤二、远端环形器将接收到的光信号通过分束器和远端激光器的光进行合频,经探测器获得解调的电信号,并输入远端时间测量模块得到远端产生和近端发送的时间信号的时延差 $T_B$ ;

[0017] 步骤三、远端时钟源产生秒脉冲并通过相位调制到光信号上,通过光纤链路发送到近端;

[0018] 步骤四、近端环形器将接收到的光信号通过分束器和近端激光器的光进行合频,经探测器获得解调的电信号,并输入近端时间测量模块得到近端产生和远端发送的时间信号的时延差 $T_A$ ;

[0019] 步骤五、近端将时间差值 $T_A$ 发送到远端;

[0020] 步骤六、远端通过两个时间差值计算出两端的时钟延时,根据时钟延时调整远端时钟源达成远近两端的时间同步。

[0021] 时钟延时的计算公式为:

$$[0022] \quad \Delta T = \frac{T_A - T_B}{2} + \frac{T_{AB} - T_{BA}}{2} + \frac{t_A + r_B - t_B - r_A}{2}$$

[0023]  $T_{AB}$ 为近端到远端的光纤传输时延, $T_{BA}$ 为远端到近端的光纤传输时延; $t_A$ 为近端A的发送时延, $t_B$ 为远端B的发送时延, $r_A$ 为近端A的接收时延, $r_B$ 为远端B的接收时延, $\Delta T$ 为钟差。

[0024] 所述相位调制双向时间同步系统,包括以下内容:

[0025] 在近端A平衡零拍探测器将第二分束器的两路输出:光纤链路传输的远端光信号经相位调制后的P信号光与激光器的输出光,进行相干解调,得到P信号上的调制秒脉冲,并输入近端时间测量模块,与近端时钟源的时钟信号计算时延差 $T_A$ ,该时延差 $T_A$ 通过光纤链路发送到远端。

[0026] 时延差 $T_A$ 为近端发送秒脉冲信号与接收到远端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时钟差;计算公式为:

$$[0027] \quad T_A = \Delta T + T_{BA} + t_B + r_A$$

[0028]  $\Delta T$ 为时延差 $T_A$ 与时延差 $T_B$ 之间的钟差; $T_{BA}$ 为远端到近端的光纤传输时延; $t_B$ 为远端B的发送时延, $r_A$ 为近端A的接收时延;

[0029] 同时,近端时钟源产生的秒脉冲信号和时钟信号提供给相位调制器,相位调制器根据接收到经近端平衡零拍探测器输出的电信号,将近端激光器输出的光进行相位调制,转变为光信号S,经光纤链路输出到远端B。

[0030] 在远端B时钟源产生的秒脉冲信号和时钟信号提供给相位调制器,相位调制器根据接收到的经远端平衡零拍探测器输出的电信号,将远端激光器输出的光进行相位调制,转变为光信号P。

[0031] 远端平衡零拍探测器将接收的光信号S与远端激光器的输出光进行相干解调,得到信号S上的调制秒脉冲。得出的秒脉冲信号输入远端时间测量模块,并与远端时钟源的时

钟信号计算时延差 $T_B$ 。

[0032]  $T_B$ 为远端发送秒脉冲信号与接收到近端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时钟差;计算公式为:

$$[0033] \quad T_B = -\Delta T + T_{AB} + t_A + r_B$$

[0034]  $T_{AB}$ 为近端到远端的光纤传输时延,  $t_A$ 为近端A的发送时延,  $r_B$ 为远端B的接收时延。

[0035] 同时根据时延差 $T_A$ 计算钟差 $\Delta T$ 调整远端时钟源的时钟信号,从而对远端时钟源补偿 $\Delta T$ 实现远近两端的时间同步。

[0036] 时延差计算公式为:

$$[0037] \quad \Delta T = \frac{T_A - T_B}{2}$$

[0038] 本发明的优点在于:

[0039] 1)、本发明相位调制双向时间同步装置、方法和系统,采用相位调制产生信号光,消除了传统马赫-曾德尔调制器中经常出现的偏置漂移问题;

[0040] 2)、本发明相位调制双向时间同步装置、方法和系统,克服了双向时间同步时信道物理长度不一致的问题,有利于消除非对称性。

## 附图说明

[0041] 图1是现有技术中传统的双向时间同步系统结构图;

[0042] 图2是本发明采用的相位调制双向时间同步装置和系统结构图;

[0043] 图3是本发明采用的相位调制双向时间同步方法流程图。

## 具体实施方式

[0044] 下面将结合附图和实例对本发明作进一步的详细说明,

[0045] 本发明公开了一种相位调制双向时间同步装置、方法和系统,采用双向时间同步,通过使用相位调制光信号;在光信号调制时采用相位调制器将秒脉冲时间信号调制到光载波上。在近端,接收到的远端信号直接和近端激光器通过分束器混频,混频后信号直接输入平衡零拍探测解调并转换成电信号,电信号通过时间测量模块获得时间信号,通过比较获得的接收远端时间信号和近端发送时间信号之间的时间差 $T_A$ ,通过光纤链路将该时间差发送到远端。在远端,接收到的近端秒脉冲信号直接和远端激光器通过分束器混频,混频后信号直接输入平衡零拍探测解调并转换成电信号,电信号通过时间测量模块获得时间信号,通过比较得到接收近端时间信号和远端发送时间信号之间的时间差 $T_B$ ,并与近端发送的时间差 $T_A$ 计算出链路的时延差,从而对远端的时钟源进行反馈调节,补偿产生的时延差。

[0046] 所述相位调制双向时间同步装置,如图2所示,包括近端A和远端B;

[0047] 近端A由近端时钟源,近端激光器,第一相位调制器,第一相位控制模块,近端平衡零拍探测器、近端环形器、第一和第二分束器和近端时间测量模块组成。

[0048] 近端激光器与第一分束器相连,输出的光分成两路,一路进入第一相位调制器,同时近端时钟源产生的时钟信号也输入第一相位调制器,第一相位调制器输出调制后的信号光,并通过近端环形器输入光纤链路;另一路输入第二分束器中,同时,近端环形器通过光纤链路接收远端光信号P并经第一相位控制模块进行相干调制,输入第二分束器;第二分

束器将两路信号进行合频后,对应两个输出共同进入近端平衡零拍探测器,通过该探测器得到远端时间脉冲信号,并输入近端时间测量模块与近端时钟源信号求出时延差;同时利用光纤链路将近端时延送至远端。

[0049] 近端时钟源产生的秒脉冲信号和近端时钟信号提供给相位调制器,相位调制器根据接收到的电信号将近端激光器输出光进行相位调制,转变为光信号S。

[0050] 远端B由远端时钟源,远端激光器,第二相位调制器,第二相位控制模块,远端平衡零拍探测器、远端环形器、第三和第四分束器和远端时间测量模块组成。

[0051] 远端激光器与第三分束器相连,输出的光分成两路,一路进入第三相位调制器,远端时钟源产生的时钟信号也输入第三相位调制器,经第三相位调制器调制后的信号光,通过远端环形器输入光纤链路;另一路输入到第四分束器,同时,远端环形器通过光纤链路接收近端信号光S,并经过第二相位控制模块进行调制,输入第四分束器中,第四分束器将两路信号进行合频后,对应两个输出共同进入远端平衡零拍探测器,通过该探测器得到近端时间脉冲信号,并输入远端时间测量模块与近端时钟源信号求出时延差;

[0052] 远端时钟源产生的秒脉冲信号和时钟信号提供给远端相位调制器,相位调制器根据接收到的电信号将远端激光器输出光进行相位调制,转变为光信号P。

[0053] 同时根据近端得到的时延差计算钟差 $\Delta T$ ,通过对远端时钟源的时钟信号补偿钟差 $\Delta T$ 调整时钟源的时钟信号,最终实现近端A和远端B的时间同步。

[0054] 进一步,所述的近端环形器或远端环形器替换为波分复用器;同时两台激光器设置成波长不同,进行区分。

[0055] 所述相位调制双向时间同步方法,如图3所示,包括以下步骤:

[0056] 步骤一、针对近端A,时钟源发送秒脉冲信号给相位调制器,同时时钟源发送秒脉冲信号给时间测量模块,时间测量模块开始计时。

[0057] 步骤二、近端激光器发送待调制光给相位调制器,相位调制器将秒脉冲信号和待调制激光调制为光信号S,通过环形器发送至光纤链路到达远端B。

[0058] 步骤三、远端B的环形器接收光信号S并发送给平衡零拍探测器。

[0059] 步骤四、平衡零拍探测器通过相干解调将光信号S转变为电信号,并发送给远端时间测量模块,时间测量模块收到信号停止计时,测量出远端产生和近端发送的时间信号的时延差 $T_B$ 。

$$[0060] \quad T_B = -\Delta T + T_{AB} + t_A + r_B$$

[0061] 步骤五、针对远端B,时钟源发送秒脉冲信号给相位调制器,同时时钟源发送秒脉冲信号给时间测量模块,时间测量模块开始计时。

[0062] 步骤六、激光器发送待调制光给远端相位调制器,远端相位调制器将秒脉冲信号和待调制激光调制为光信号P,通过环形器发送至光纤链路到达近端A。

[0063] 步骤七、近端环形器接收光信号P并发送给平衡零拍探测器。

[0064] 步骤八、平衡零拍探测器通过相干解调将光信号P转变为电信号,并发送给时间测量模块,时间测量模块收到信号停止计时,测量出近端产生和远端发送的时间信号的时延差 $T_A$ 。

$$[0065] \quad T_A = \Delta T + T_{BA} + t_B + r_A$$

[0066] 步骤九、近端将近端产生和远端发送的时间信号的时间差 $T_A$ 通过光纤链路发送至



远端。

[0067] 步骤十、远端时间测量模块根据远端产生和近端发送的时间信号的时间差 $T_B$ ，近端产生和远端发送的时间信号的时延差 $T_A$ ，进行求解得到钟差 $\Delta T$ 如下：

$$[0068] \quad \Delta T = \frac{T_A - T_B}{2} + \frac{T_{AB} - T_{BA}}{2} + \frac{t_A + r_B - t_B - r_A}{2}$$

[0069]  $T_A$ 为近端发送秒脉冲信号与接收到远端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时钟差， $T_B$ 为远端发送秒脉冲信号与接收到近端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时钟差。 $T_{AB}$ 为近端到远端的光纤传输时延， $T_{BA}$ 为远端到近端的光纤传输时延； $t_A$ 为近端A的发送时延， $t_B$ 为远端B的发送时延， $r_A$ 为近端A的接收时延， $r_B$ 为远端B的接收时延。

[0070] 由于系统往返使用同一光纤链路， $T_{AB} - T_{BA} = 0$ 。而 $t_A + r_B - t_B - r_A$ 项由于在远端和近端使用了相同的调制和解调方式且该项为固定值，可在系统运行前设置补偿，产生的时间差可以忽略。

[0071] 因此钟差 $\Delta T$ 可以化简为：

$$[0072] \quad \Delta T = \frac{T_A - T_B}{2}$$

[0073] 步骤十一、根据时间测量模块的计算钟差 $\Delta T$ 调整时钟源信号，从而达到近端和远端的时间同步。

[0074] 所述相位调制双向时间同步系统，包括以下内容：

[0075] 针对近端A：相位调制器将时钟源的秒脉冲信号，调制到激光源，转变为光信号S，同时时间测量模块接收到时钟源的秒脉冲开始计时。

[0076] 环形器将光纤链路传输的远端B发送的光信号P发送到平衡零拍探测器，与激光器的输出光，进行相干解调，得到P信号上的调制秒脉冲，并输入近端时间测量模块，时间测量模块停止计时；时间测量模块根据计时结果得出到近端发送秒脉冲信号与接收到远端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时延差 $T_A$ ，该时延差 $T_A$ 通过光纤链路发送到远端。

[0077] 时延差 $T_A$ 为近端发送秒脉冲信号与接收到远端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时钟差；在近端A，开始时，近端时钟源发出脉冲信号，同时进入近端相位调制器和近端时间测量模块，近端时间测量模块收到脉冲开始计时；在近端接收到远端信号光并解调后，解调的脉冲信号输入近端时间测量模块则停止计时，所得的这一段为从近端发送信号到接收远端信号的时延差，即：

$$[0078] \quad T_A = \Delta T + T_{BA} + t_B + r_A$$

[0079]  $\Delta T$ 为时延差 $T_A$ 与时延差 $T_B$ 之间的钟差； $T_{BA}$ 为远端到近端的光纤传输时延； $t_B$ 为远端B的发送时延， $r_A$ 为近端A的接收时延；

[0080] 同时，近端时钟源产生的秒脉冲信号和时钟信号提供给相位调制器，相位调制器根据接收到经近端平衡零拍探测器输出的电信号，将近端激光器输出的光进行相位调制，转变为光信号S，经光纤链路输出到远端B。

[0081] 针对远端B：相位调制器将时钟源的秒脉冲信号，调制到激光源，转变为光信号P，同时时间测量模块接收到时钟源的秒脉冲开始计时。

[0082] 在远端B时钟源产生的秒脉冲信号和时钟信号提供给相位调制器，相位调制器根据接收到的经远端平衡零拍探测器输出的电信号，将远端激光器输出的光进行相位调制，

转变为光信号P。

[0083] 远端平衡零拍探测器将接收的光信号S与远端激光器的输出光进行相干解调,得到信号S上的调制秒脉冲。得出的秒脉冲信号输入远端时间测量模块,时间测量模块停止计时;时间测量模块根据计时结果得出远端发送秒脉冲信号与接收到近端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时延差  $T_B$ 。

[0084]  $T_B$ 为远端发送秒脉冲信号与接收到近端发送来的秒脉冲信号之间的时间的时钟差;在远端 B,开始时,远端时钟源发出脉冲信号,同时进入远端相位调制器和远端时间测量模块,远端时间测量模块收到脉冲开始计时,在远端接收到远端信号光并解调后,解调的脉冲信号输入远端时间测量模块则停止计时,所得的这一段时延即为从远端发送信号到接收近端信号的时延差,即:

$$[0085] \quad T_B = -\Delta T + T_{AB} + t_A + r_B$$

[0086]  $T_{AB}$ 为近端到远端的光纤传输时延, $t_A$ 为近端A的发送时延, $r_B$ 为远端B的接收时延。

[0087] 同时根据时延差 $T_A$ 计算钟差 $\Delta T$ 调整远端时钟源的时钟信号,从而对远端时钟源补偿 $\Delta T$ 实现远近两端的时间同步。

[0088] 通过光纤链路将其中一端的时延差传递给另一端,在同时得到两个时延差的情况下,通过两个时延差做差即可得到钟差 $\Delta T$ :

$$[0089] \quad \Delta T = \frac{T_A - T_B}{2} + \frac{T_{AB} - T_{BA}}{2} + \frac{t_A + r_B - t_B - r_A}{2}$$

[0090] 其中, $T_{AB} - T_{BA}$ 为光纤链路产生的时延差。由于本系统中,光纤链路为同一条光纤,因此不存在此延时项,钟差公式可简化为:

$$[0091] \quad \Delta T = \frac{T_A - T_B}{2} + \frac{t_A + r_B - t_B - r_A}{2}$$

[0092] 其中 $t_A + r_B - t_B - r_A$ 发送时延和接收时延皆由两端的装置内部的时延导致。首先,本系统中近端和远端高度对称,所采用的装置和结构都是相同的,因此本项时延影响较小。其次,在系统开始运行前,可以将两端直接连接,在此时先进行一次校准,即可完全消除 $t_A + r_B - t_B - r_A$ 项的影响,在上述处理后,最终钟差公式可简化为:

$$[0093] \quad \Delta T = \frac{T_A - T_B}{2}。$$

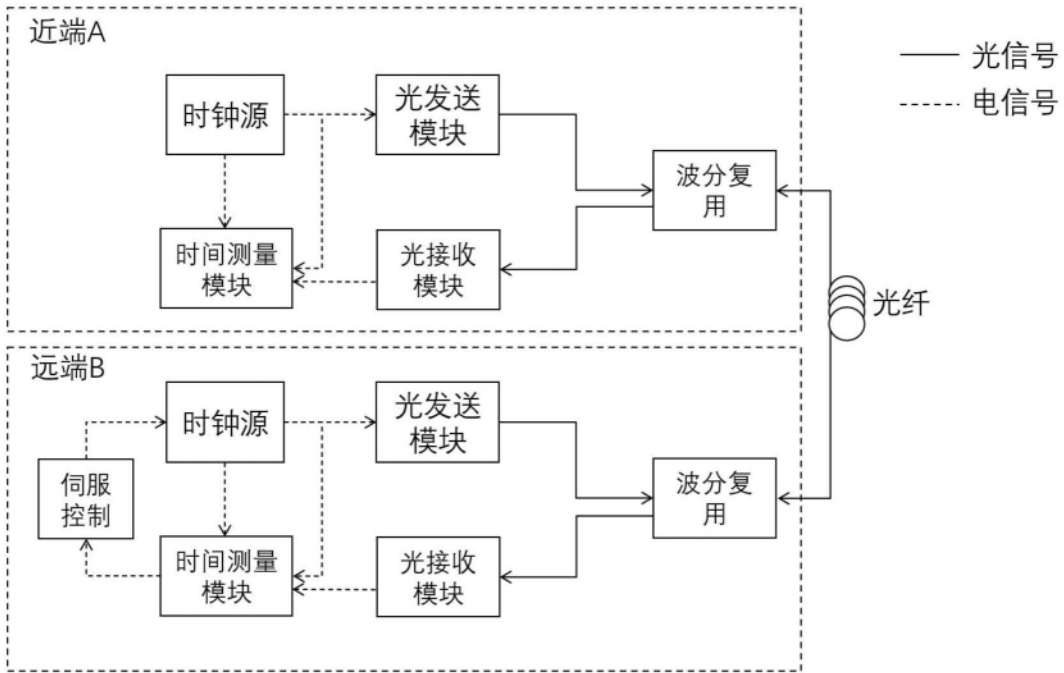


图1

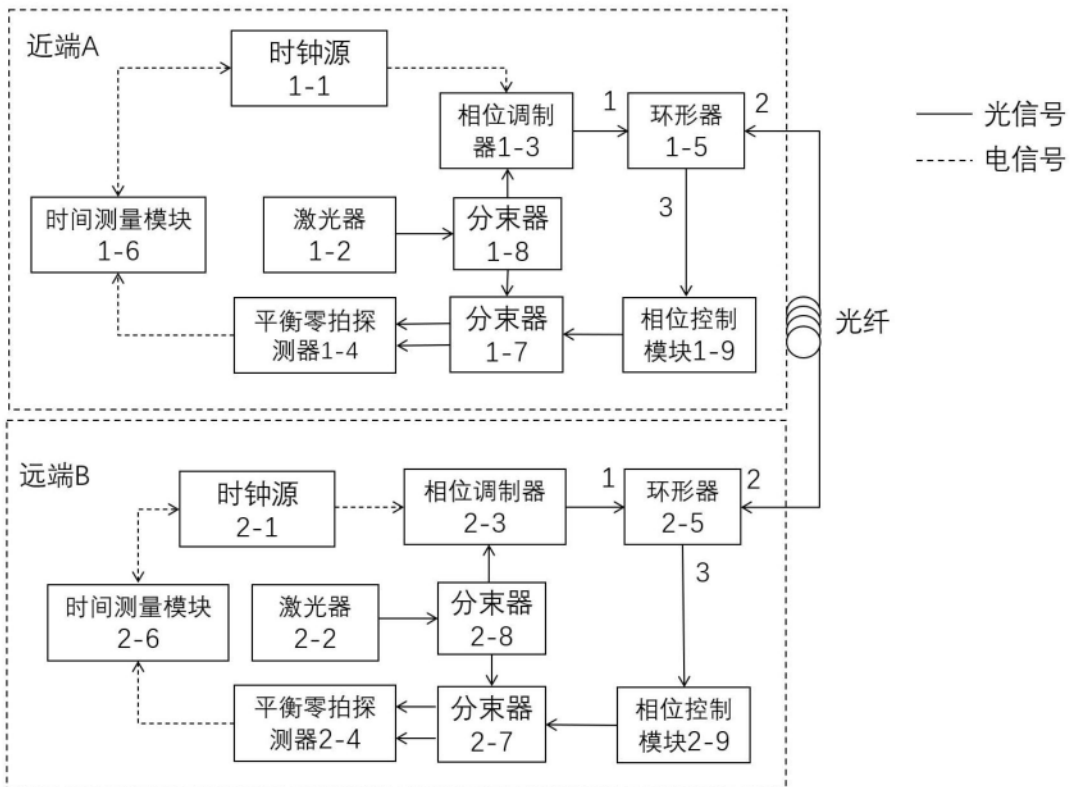


图2

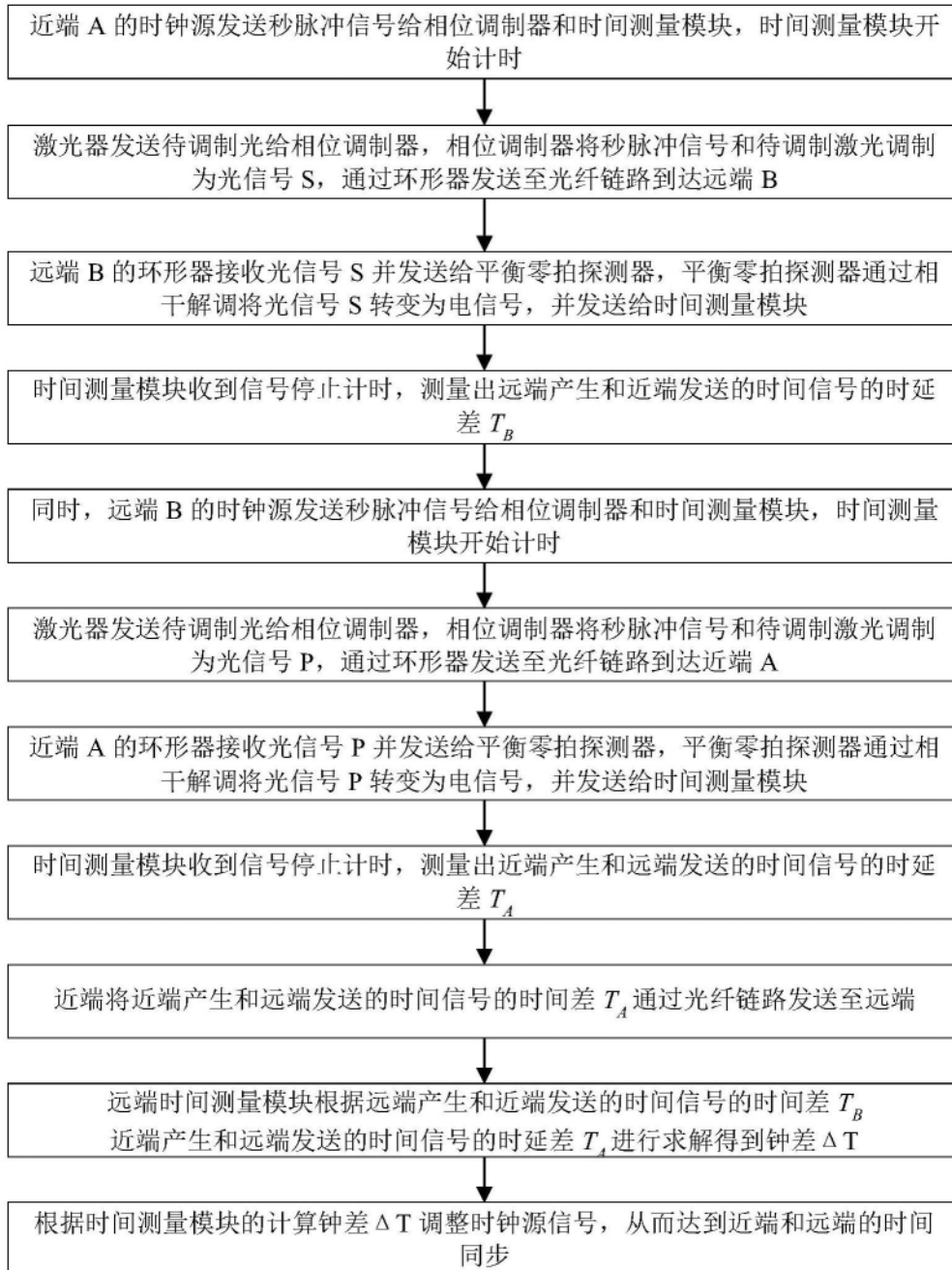


图3