



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114172585 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 11

(21) 申请号 202111442193.2

H04J 3/06 (2006.01)

(22) 申请日 2021.11.30

(71) 申请人 中国科学技术大学

地址 230026 安徽省合肥市包河区金寨路  
96号

(72) 发明人 杨孟 廖胜凯 程昱翔 蔡文奇  
任继刚 印娟 彭承志 潘建伟

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 樊晓

(51) Int. Cl.

H04B 10/67 (2013.01)

H04B 10/50 (2013.01)

H04B 10/11 (2013.01)

H04B 10/2581 (2013.01)

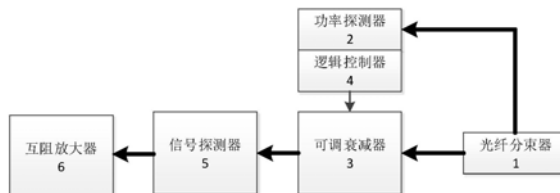
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

探测装置及激光通信系统

(57) 摘要

本发明公开了一种探测装置及激光通信系统,该探测装置包括:光纤分束器,用于按预定分束比将第一目标光信号分成第一光信号和第二光信号;功率探测器,用于将第一光信号的功率转换为第一电信号;可调衰减器,用于调节第二光信号的功率,得到第三光信号;逻辑控制器模块,用于根据第一电信号获取第一光信号的功率,根据第一光信号的功率和光纤分束器的预定分束比得到第二光信号的功率,以及根据预设光信号的功率和第二光信号的功率对可调衰减器进行控制,使可调衰减器调节第二光信号的功率,得到第三光信号;其中,第三光信号功率与预设光信号功率的差值的绝对值满足预设范围。



1. 一种探测装置,包括:

光纤分束器,适用于按照预定分束比将第一目标光信号分成第一光信号和第二光信号;

功率探测器,适用于将所述第一光信号的功率转换为第一电信号;

可调衰减器,适用于对所述第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号;

逻辑控制器模块,适用于根据所述第一电信号获取所述第一光信号的功率,根据所述第一光信号的功率和光纤分束器的预定分束比得到所述第二光信号的功率,以及根据预设光信号的功率和所述第二光信号的功率对所述可调衰减器进行控制,使所述可调衰减器对所述第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号;

其中,所述第三光信号的功率与所述预设光信号的功率的差值的绝对值满足预设范围。

2. 如权利要求1所述的探测装置,其中,所述第二光信号的功率基于以下公式获得:

$$p = \frac{I_m}{\alpha \lambda}$$

其中, $p$ 为所述第二光信号的功率, $I_m$ 为所述第一光信号的光电流值, $\lambda$ 为所述功率探测器的光电响应率, $\alpha$ 为第一光信号与第二光信号的预定分束比且 $\alpha < 1$ 。

3. 如权利要求1所述的探测装置,其中,所述可调衰减器的衰减量基于以下公式获得:

$$A_c = \frac{p}{P_{st} \cdot \beta}$$

其中, $A_c$ 为所述可调衰减器的衰减量, $P_{st}$ 为所述预设光信号的功率, $p$ 为第二光信号的功率, $\beta$ 为所述可调衰减器的衰减系数。

4. 如权利要求1所述的探测装置,还包括:

信号探测器,适用于将所述第三光信号转换成电流信号。

5. 如权利要求4所述的探测装置,还包括:

互阻放大器,适用于将所述信号探测器输出的电流信号转换为电压信号。

6. 一种激光通信系统,包括:

多个激光通信子系统,每个所述激光通信子系统包括:

信号发生装置,用于产生带有第二数据信号和第二时钟信号的放大光信号;以及

如权利要求1-5中任一项所述的探测装置;

其中,所述信号发生装置产生的所述放大光信号用作另外任一个激光通信子系统的探测装置的第二目标光信号。

7. 如权利要求6所述的激光通信系统,其中,每个所述激光通信子系统还包括:

望远镜光学装置,用于将所述信号发生装置产生的所述放大光信号发送到大气中,以及将另外任一个激光通信子系统的探测装置产生的第一目标光信号传输至所述探测装置。

8. 如权利要求6所述的激光通信系统,其中,每个所述激光通信子系统还包括:

信号处理装置:用于对所述信号探测装置输出的所述电压信号中的所述第一数据信号进行提取。

9. 如权利要求8所述的激光通信系统,其中,所述信号处理装置包括:

固定阈值甄别器:用于使所述探测装置输出的所述电压信号转换为第一数字信号;

时钟恢复模块:用于对所述第一数字信号的第一时钟信号进行恢复,使所述第一数字信号与所述第一目标光信号中的时钟信号保持同步,得到第一同步信号;

激光通信逻辑接收模块:用于对所述第一同步信号中的所述第一数据信号进行提取。

10. 如权利要求6所述的激光通信系统,其中,所述信号发生装置包括:

激光通信逻辑发送模块,用于将所述第二数据信号和所述第二时钟信号调制到电信号中,得到带有所所述第二数据信号和所述第二时钟信号的电信号;

激光器,接收所述带有所所述第二数据信号和所述第二时钟信号的电信号的调制,输出光信号,使得所述光信号带有所所述第二数据信号和所述第二时钟信号;以及

光放大器,用于将所述光信号进行放大,得到带有所所述第二数据信号和所述第二时钟信号的放大光信号;

其中,所述激光通信逻辑发送模块与所述激光通信逻辑接收模块组成激光通信同步逻辑模块。

## 探测装置及激光通信系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及激光通信和时间传递同步领域,特别涉及一种空间功率自适应时间稳定的探测装置及其激光通信系统。

### 背景技术

[0002] 随着空间技术的发展,激光通信技术被广泛扩展使用,除了用于经典的数据传输外,还广泛用于不同系统之间的时间传递和同步,可以提高系统光谱资源利用率,这对于复杂的光学系统有重大意义。

[0003] 在激光通信系统中,目前常用的调制探测方案有强度调制(直接探测)和相位调制(相关探测)。直接探测一般采用雪崩二极管(APD)作为光电转换器件,其输出模拟电信号幅度直接和光功率相关。强度调制(直接探测)实现简单,在光纤和自由空间光通信中使用广泛。对于相位调制(相关探测),信号光和本振光混频放大后进入平衡探测器,平衡探测器将光信号转换为模拟电信号,模拟电信号的幅度和输入光信号功率相关。在链路衰减稳定的通信系统中,进入探测器的光信号功率基本是不变的,对应的模拟电信号幅度波动也非常小;模拟电信号通过甄别判决后转化为数字信号,在实际系统中甄别判决一般采用固定电平判据,这对于光信号功率和模拟电信号幅度稳定条件下,可以认为光信号和对应数字信号相位是固定不变的,可以利用激光通信实现高精度的时间传递。但是在自由空间大气系统中,由于大气湍流变化、望远镜跟踪抖动以及链路距离变化等动态变化,引起链路衰减和接收光功率的变化,导致探测器接收的功率波动比较大,这会导致最后得到的对应数字信号相位发生动态变化,影响信号精度。

### 发明内容

[0004] 鉴于此,本发明的主要目的在于提供一种探测装置及激光通信系统,以期部分地解决上述提及的技术问题中的至少之一。

[0005] 为了实现上述目的,作为本发明的一个方面,提供了一种探测装置,包括:

[0006] 光纤分束器,适用于按照预定分束比将第一目标光信号分成第一光信号和第二光信号;

[0007] 功率探测器,适用于将第一光信号的功率转换为第一电信号;

[0008] 可调衰减器,适用于对第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号;

[0009] 逻辑控制器模块,适用于根据第一电信号获取第一光信号的功率,根据第一光信号的功率和光纤分束器的预定分束比得到第二光信号的功率,以及根据预设光信号的功率和第二光信号的功率对可调衰减器进行控制,使可调衰减器对第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号;

[0010] 其中,第三光信号的功率与预设光信号的功率的差值的绝对值满足预设范围。

[0011] 根据本发明的一种实施例,第二光信号的功率基于以下公式获得:

$$[0012] \quad p = \frac{I_m}{\alpha \lambda}$$

[0013] 其中,  $p$  为第二光信号的功率,  $I_m$  为第一光信号的光电流值,  $\lambda$  为功率探测器的光电响应率,  $\alpha$  为第一光信号与第二光信号的预定分束比且  $\alpha < 1$ 。

[0014] 根据本发明的一种实施例, 可调衰减器的衰减量基于以下公式获得:

$$[0015] \quad A_c = \frac{p}{P_{st} \cdot \beta}$$

[0016] 其中,  $A_c$  为可调衰减器的衰减量,  $P_{st}$  为预设光信号的功率,  $p$  为第二光信号的功率,  $\beta$  为可调衰减器的衰减系数。

[0017] 根据本发明的一种实施例, 所述的探测装置, 还包括:

[0018] 信号探测器, 适用于将第三光信号转换成电流信号。

[0019] 根据本发明的一种实施例, 所述的探测装置, 还包括:

[0020] 互阻放大器, 适用于将信号探测器输出的电流信号转换为电压信号。

[0021] 作为本发明的另一个方面, 提供了一种激光通信系统, 包括:

[0022] 多个激光通信子系统, 每个激光通信子系统包括:

[0023] 信号发生装置, 用于产生带有第二数据信号和第二时钟信号的放大光信号; 以及

[0024] 如权利要求1-5中任一项所述的探测装置;

[0025] 其中, 信号发生装置产生的放大光信号用作另外任一个激光通信子系统的探测装置的第二目标光信号。

[0026] 根据本发明的一种实施例, 每个所述激光通信子系统还包括:

[0027] 望远镜光学装置, 用于将信号发生装置产生的放大光信号发送到大气中, 以及将另外任一个激光通信子系统的探测装置产生的第一目标光信号传输至探测装置。

[0028] 根据本发明的一种实施例, 每个所述激光通信子系统还包括:

[0029] 信号处理装置, 用于对信号探测装置输出的电压信号中的第一数据信号进行提取。

[0030] 根据本发明的一种实施例, 所述信号处理装置包括:

[0031] 固定阈值甄别器, 用于使探测装置输出的电压信号转换为第一数字信号;

[0032] 时钟恢复模块, 用于对第一数字信号的第一时钟信号进行恢复, 使第一数字信号与第一目标光信号中的时钟信号保持同步, 得到第一同步信号;

[0033] 激光通信逻辑接收模块: 用于对第一同步信号中的第一数据信号进行提取。

[0034] 根据本发明的一种实施例, 所述信号发生装置包括:

[0035] 激光通信逻辑发送模块, 用于将第二数据信号和第二时钟信号调制到电信号中, 得到带有第二数据信号和第二时钟信号的电信号;

[0036] 激光器, 接收带有所述第二数据信号和第二时钟信号的电信号的调制, 输出光信号, 使得光信号带有第二数据信号和第二时钟信号; 以及

[0037] 光放大器, 用于将光信号进行放大, 得到带有第二数据信号和第二时钟信号的放大光信号。

[0038] 其中, 所述激光通信逻辑发送模块与所述激光通信逻辑接收模块组成激光通信同步逻辑模块。

[0039] 根据本发明的上述实施例的探测装置及激光通信系统,探测装置由光纤分束器将第一目标光信号分束为第一光信号和第二光信号,通过功率探测器和逻辑控制器模块对第一光信号进行处理,得到第一光信号功率信息,由第一光信号功率信息得到对第二光信号的功率进行调节的衰减量,通过可调衰减器对衰减量进行处理,得到第三光信号。当第三光信号功率大于预设光信号的功率,增大可调衰减器的衰减量使得第三光信号功率接近预设光信号的功率;当输入光信号功率小于预设光信号的功率时,减少可调衰减器的衰减量使得第三光信号功率接近预设光信号的功率。探测装置解决了在空间链路中进入探测器的光信号功率不稳定的问题,可以有选择的使用不同的时间精度和同步精度,应用于不同场景的需求中。

### 附图说明

[0040] 图1示意性示出了传统激光通信系统中探测器后端的数字信号位置随接收功率变化的曲线图

[0041] 图2示意性示出了本发明的一实施例的探测装置的方框图;以及

[0042] 图3示意性示出了本发明的一实施例的激光通信系统的方框图。

[0043] 1-光纤分束器;

[0044] 2-功率探测器;

[0045] 3-可调衰减器;

[0046] 4-逻辑控制器模块;

[0047] 5-信号探测器;

[0048] 6-互阻放大器;

[0049] 7-望远镜光学装置;

[0050] 8-激光器;

[0051] 9-光放大器;

[0052] 10-固定阈值甄别器;

[0053] 11-时钟恢复模块;

[0054] 12-激光通信同步逻辑模块。

### 具体实施方式

[0055] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明作进一步的详细说明。

[0056] 在此使用的术语仅仅是为了描述具体实施例,而并非意在限制本发明。在此使用的术语“包括”、“包含”等表明了所述特征、步骤、操作和/或部件的存在,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、步骤、操作或部件。

[0057] 在此使用的所有术语(包括技术和科学术语)具有本领域技术人员通常所理解的含义,除非另外定义。应注意,这里使用的术语应解释为具有与本说明书的上下文相一致的含义,而不应以理想化或过于刻板的方式来解释。

[0058] 在使用类似于“A、B和C等中至少一个”这样的表述的情况下,一般来说应该按照本领域技术人员通常理解该表述的含义来予以解释(例如,“具有A、B和C中至少一个的系统”

应包括但不限于单独具有A、单独具有B、单独具有C、具有A和B、具有A和C、具有B和C、和/或具有A、B、C的系统等)。

[0059] 常规激光通信系统中,对信号的传输和采集不会对探测器的时间性能做特别要求。随着接收功率的变化,探测器前端的光信号和探测器后端的数字信号相位相对变化不会影响数据的传输,如图1所示,随着探测器接收功率的变化,探测器后端的数字信号位置会发生变化。在调制速率 156.25Mbps条件下,探测器功率从-45dBm到-15dBm波动时,数字信号位置变化了约800ps。

[0060] 在激光雷达中,一般采用恒比定时甄别方法来解决该问题。在信号上升沿固定时间点对信号进行采样,该方法在激光脉冲时间传递和激光雷达中非常有用。但是在激光通信中,由于恒比定时甄别会限制通信速率,无法使用。

[0061] 因此针对激光通信时间同步需求以及当前技术的不足,本发明提供了一个可应用于空间应用中的空间功率自适应时间稳定的探测装置及方法。

[0062] 根据本发明总体上的发明构思,提供一种探测装置,包括:光纤分束器,适用于按照预定分束比将第一目标光信号分成第一光信号和第二光信号;功率探测器,适用于将第一光信号的功率转换为第一电信号;可调衰减器,适用于对第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号;逻辑控制器模块,适用于根据第一电信号获取第一光信号的功率,根据第一光信号的功率和光纤分束器的预定分束比得到第二光信号的功率,以及根据预设光信号的功率和第二光信号的功率对可调衰减器进行控制,使可调衰减器对第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号。第三光信号的功率与预设光信号的功率的差值的绝对值满足预设范围。

[0063] 图2示意性示出了本发明的一实施例的探测装置的结构图方框图。

[0064] 根据本发明的示例性实施例,如图2所示,探测装置包括:光纤分束器1、功率探测器2、可调衰减器以及逻辑控制器模块4。

[0065] 光纤分束器1适用于按照预定分束比将第一目标光信号分成第一光信号和第二光信号。可选的,经过光纤分束器1的分束后,第一光信号与第二光信号的功率比值为正数且小于1,第一光信号与第二光信号是携带有一致的信息但能量大小不同的两个信号,第二光信号的功率始终大于预设光信号的功率。

[0066] 功率探测器2适用于将第一光信号的功率转换为第一电信号,输入到逻辑控制器模块4。可选的,可以使用雪崩二极管光功率探测器作为功率探测器2,雪崩二极管光功率探测器响应稳定,可以真实准确地反应第一光信号的功率。

[0067] 可调衰减器3适用于对第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号;根据第一光信号的功率与光纤分束器1的预定分束比 $\alpha$ 可以得到第二光信号的功率 $p$ ,由第二光信号的功率 $p$ 和已知的预设光信号的功率 $P_{st}$ 以及可调衰减器3的衰减系数 $\beta$ 可以得到可调衰减器3的衰减量 $A_c$ ,可调衰减器3利用衰减量 $A_c$ 对第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号。

[0068] 逻辑控制器模块4适用于根据第一电信号获取第一光信号的功率,以及控制可调衰减器3得到第三光信号。可选的,逻辑控制器模块可以包括模拟数字转换器和数字控制器;模拟数字转换器适用于将第一电信号转换为第一数字信号;数字控制器,接收到功率探测器2输入的第一数字信号后,获取第一数字信号的电压值,由此得到了第一光信号的功率值,探测到的第一数字信号的电压值可以反映第一光信号的功率的强度变化情况根据第一

光信号的功率和光纤分束器1的预定分束比 $\alpha$ 得到第二光信号的功率 $p$ ,以及根据预设光信号的功率 $P_{st}$ 和第二光信号的功率 $p$ 和可调衰减器3的的衰减系数 $\beta$ ,可以计算得到衰减量 $A_c$ ,根据预设光信号的功率 $P_{st}$ 和第二光信号的功率 $p$ 的误差值,对可调衰减器3的衰减器的控制量 $A_c$ 进行控制,通过增大或减小衰减器的控制量 $A_c$ 使可调衰减器3对第二光信号的功率进行调节,得到第三光信号。

[0069] 根据本发明的一种实施例,第三光信号的功率与预设光信号的功率的差值的绝对值满足预设范围。第三光信号的功率与预设光信号的功率的差值的绝对值越小,表明进入探测器的第三光信号功率越稳定,探测器的时间精度和同步精度就越高,可以有选择的使用不同的时间精度和同步精度,应用于不同场景的需求中。

[0070] 根据本发明的一种实施例,第二光信号的功率基于以下公式获得:

$$[0071] \quad p = \frac{I_m}{\alpha \lambda}$$

[0072] 其中, $p$ 为第二光信号的功率, $I_m$ 为第一光信号的光电流值, $\lambda$ 为功率探测器的光电响应率, $\alpha$ 为第一光信号与第二光信号的预定分束比且 $\alpha < 1$ 。可以通过对光纤分束器的选择,获取不同的预定分束比 $\alpha$ ,以满足实际需求。

[0073] 根据本发明的一种实施例,可调衰减器的衰减量基于以下公式获得:

$$[0074] \quad A_c = \frac{p}{P_{st} \cdot \beta}$$

[0075] 其中, $A_c$ 为可调衰减器的衰减量, $P_{st}$ 为预设光信号的功率, $p$ 为第二光信号的功率, $\beta$ 为可调衰减器的衰减系数。可以通过对可调衰减器的选择,获取不同的衰减系数 $\beta$ ,以满足实际需求。

[0076] 根据本发明的一种实施例,的探测装置,还包括信号探测器5,信号探测器5适用于将第三光信号转换成电流信号,由信号探测器得到的电流信号可以用于后续的数据处理和同步信息的提取。

[0077] 根据本发明的一种实施例,上述探测装置,还包括互阻放大器6,互阻放大器6适用于将信号探测器输出的电流信号转换为电压信号。

[0078] 作为本发明的另一个方面,提供了一种基于探测装置的激光通信系统,

[0079] 多个激光通信子系统,每个激光通信子系统包括:

[0080] 信号发生装置,用于产生带有第二数据信号和第二时钟信号的放大光信号;以及

[0081] 如上所述的探测装置;

[0082] 其中,信号发生装置产生的放大光信号用作另外任一个激光通信子系统的探测装置的第二目标光信号。

[0083] 图3示意性示出了本发明的一实施例的激光通信系统的方框结构图如图3所示,为包含两个激光通信子系统的激光通信系统,上述两个激光通信子系统分别为A端和B端,其中,

[0084] A端与B端都可以作为接收信号端和发射信号端。B端信号发生装置产生的放大光信号可以用与A端探测装置的第一目标信号信号发生装置产生的放大光信号用作B端探测装置的第二目标信号。

[0085] 根据探测装置中的信号探测器5的灵敏度和链路裕量,设置信号探测器的预设光



信号的功率 $P_{st}$ ,再进行后续操作,链路裕量即接收设备实际接收到的信号与接收设备允许的最低接收阈值(可以是设备接收灵敏度)相比多的富裕dB数值。信号发生装置产生的放大光信号用作另外任一个激光通信子系统的探测装置的第二目标光信号。

[0086] 根据本发明的一种实施例,每个激光通信子系统还包括望远镜光学装置7,望远镜光学装置7用于将信号发生装置产生的放大光信号发送到大气中,以及将另外任一个激光通信子系统的探测装置产生的第一目标光信号传输至探测装置。

[0087] 根据本发明的一种实施例,每个激光通信子系统还包括信号处理装置,望远镜光学装置7用于对信号探测装置输出的电压信号中的第一数据信号进行提取。

[0088] 根据本发明的一种实施例,信号处理装置包括固定阈值甄别器10、时钟恢复模块11、以及激光通信逻辑接收模块(图中未示出)。固定阈值甄别器10用于使探测装置输出的电压信号转换为第二数字信号。时钟恢复模块11用于对第二数字信号的第一时钟信号进行恢复,使第二数字信号与第一目标光信号中的时钟信号保持同步,得到第一同步信号。激光通信逻辑接收模块(图中未示出)用于对第一同步信号中的第一数据信号进行提取,第一数据信号可以是包括串行数据流和时钟信号的信号。

[0089] 根据本发明的一种实施例,信号发生装置包括激光通信逻辑发送模块(图中未示出)、激光器8以及光放大器9。激光通信逻辑发送模块(图中未示出)用于将第二数据信号和第二时钟信号调制到电信号中,得到带有第二数据信号和第二时钟信号的电信号。激光器8接收带有第二数据信号和第二时钟信号的电信号的调制,输出光信号,使得光信号带有第二数据信号和第二时钟信号。光放大器9用于将光信号进行放大,得到带有第二数据信号和第二时钟信号的放大光信号。激光通信逻辑发送模块与激光通信逻辑接收模块组成激光通信同步逻辑模块12。

[0090] 根据本发明的一种实施例,在信号发生装置中,激光器8将带有第二数据信号和第二时钟信号的光信号输入到光放大器9,以及光放大器9将带有第二数据信号和第二时钟信号的放大光信号输入到望远镜光学装置7时,使用保偏光纤作为传输光纤,使用保偏光纤可以保持光纤中传输的光信号的偏振状态不变,光信号在传输到望远镜光学装置时发送角保持在比较小的角度范围内,减少光信号携带的能量的损失,减少光纤中传输的光信号的失真。

[0091] 根据本发明的一种实施例,在探测装置中,在光纤分束器1与望远镜光学装置7之间,光纤分束器1与功率探测器2之间、光纤分束器1与可调衰减器3之间、可调衰减器3与信号探测器5之间,都使用多模光纤作为传输光纤,使用多模光纤可以增大收集能量的效率,尽可能多的接收光信号,减少光信号携带的能量的损失,减少光纤中传输的光信号的失真。

[0092] 根据本发明的一种实施例,通过在实验室内模拟测试,在第三光信号接收功率波动20dB,调制速率156.25Mbps的条件下,探测装置可以将信号功率引起的时间平移控制在5ps内,可以满足高精度的ps级激光通信同步需求。

[0093] 根据本发明的上述实施例的探测装置及其激光通信系统,探测装置由光纤分束器将第一目标光信号分束为第一光信号和第二光信号,通过功率探测器和逻辑控制器模块对第一光信号进行处理,得到第一光信号功率信息,由第一光信号功率信息得到对第二光信号的功率进行调节的衰减量,通过可调衰减器对衰减量进行处理,得到第三光信号。当第三光信号功率大于预设光信号的功率,增大可调衰减器的衰减量使得第三光信号功率接近预

设光信号的功率;当输入光信号功率小于预设光信号的功率时,减少可调衰减器的衰减量使得第三光信号功率接预设光信号的功率。探测装置解决了在空间链路中进入探测器的光信号功率不稳定的问题,可以有选择的使用不同的时间精度和同步精度,应用于不同场景的需求中,具有实用性强的优点。

[0094] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

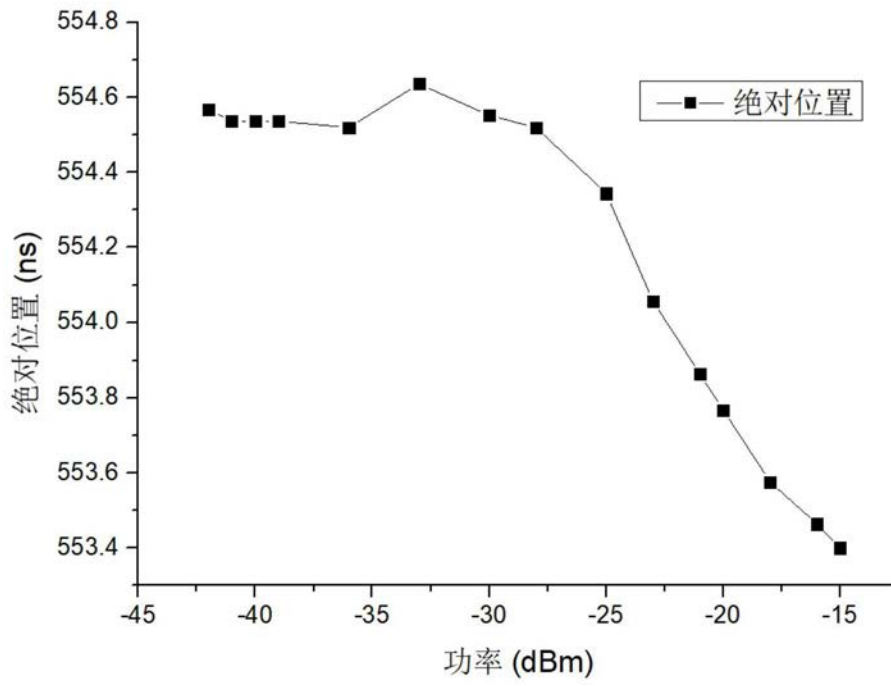


图1

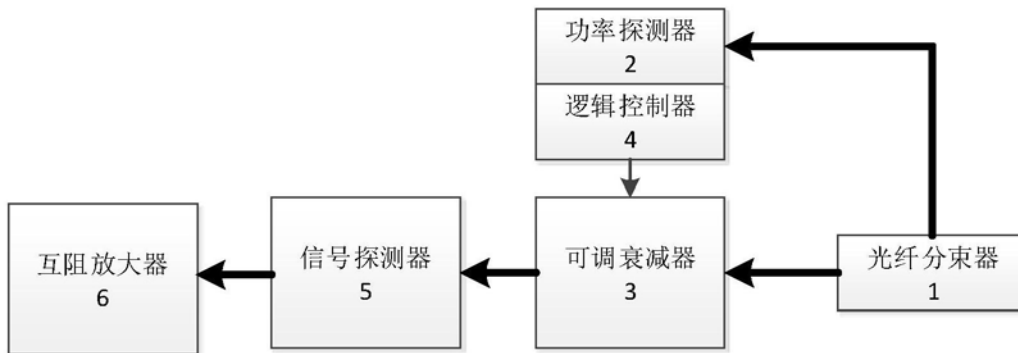


图2

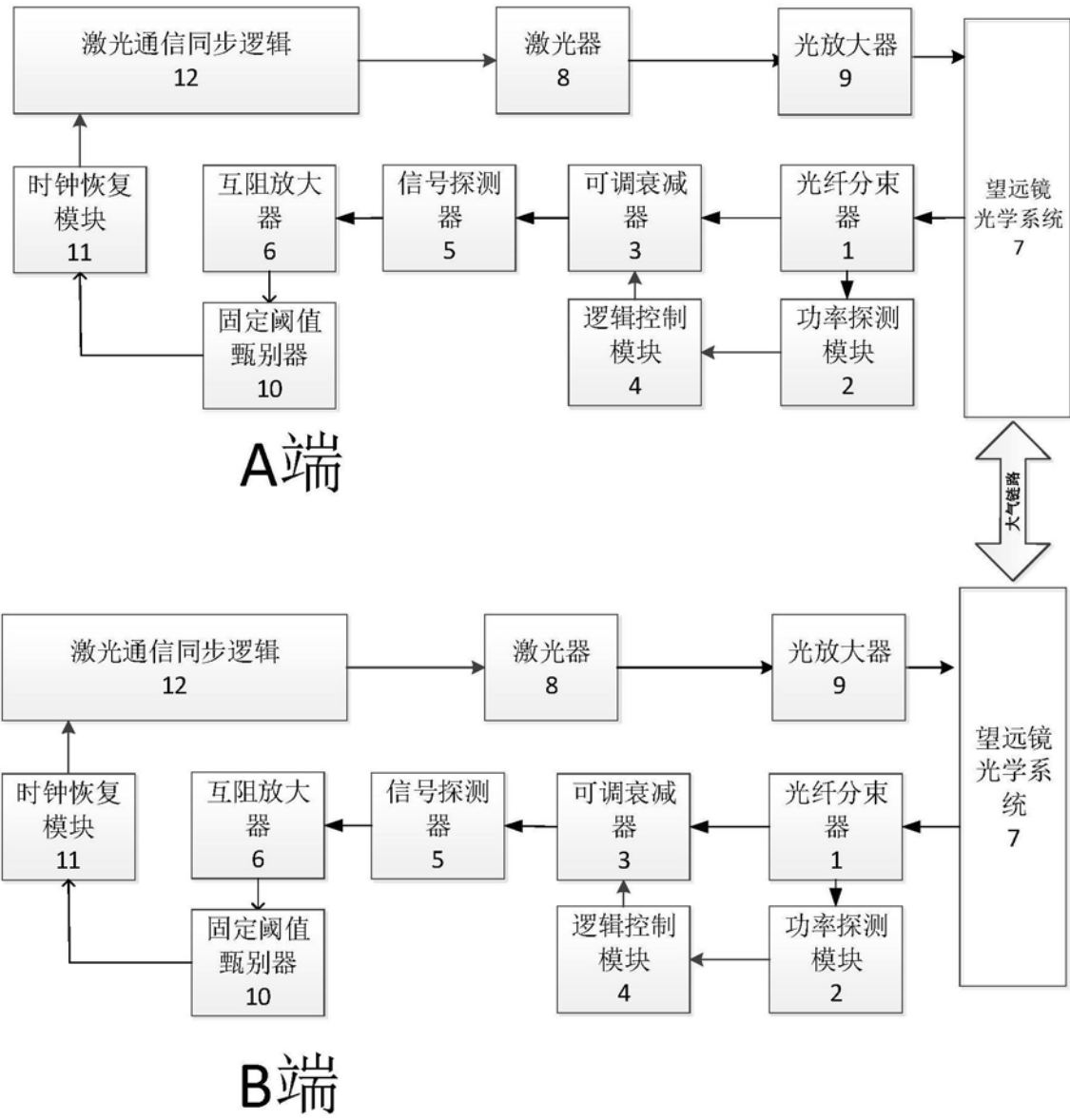


图3