



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 216899218 U

(45) 授权公告日 2022. 07. 05

(21) 申请号 202220315818.2

(22) 申请日 2022.02.15

(73) 专利权人 国网河南省电力公司商丘供电公司

地址 476000 河南省商丘市文化中路142号

专利权人 华中科技大学

(72) 发明人 康国庆 王小鹏 何鹏 周涛
杜宗礼 范存政 孙琪真

(74) 专利代理机构 武汉华之喻知识产权代理有限公司 42267

专利代理师 刘娅婷 张彩锦

(51) Int. Cl.

G01H 9/00 (2006.01)

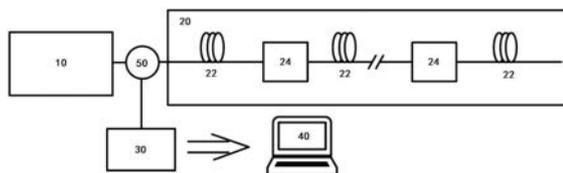
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 实用新型名称

一种超长距离分布式声波传感系统

(57) 摘要

本实用新型公开了一种超长距离分布式声波传感系统,包括:脉冲发射模块,用于产生探测光和本征光,并将探测光调制成脉冲光信号;长距离声波传感模块,包括多段横向布设在待测区域的传感光缆,第一段传感光缆通过环形器与前述脉冲发射模块相连,相邻两段传感光缆通过距离延伸模块相连,其中,距离延伸模块用于放大在其前端的传感光缆传输过来的脉冲光信号及其后端的传感光缆传回的调制有声波信息的后向散射光信号;光接收模块,用于形成拍频光信号,并将其转化为拍频电信号;信号处理模块,用于从拍频电信号中解调出声波信息,并根据声波信息判断待测区域的异常信息。本实用新型通过距离延伸模块对光信号进行放大,能实现超长距离声波探测。



1. 一种超长距离分布式声波传感系统,其特征在于,包括脉冲发射模块、长距离声波传感模块、光接收模块和信号处理模块,其中,

脉冲发射模块,用于产生探测光和本征光,并将所述探测光调制成脉冲光信号;

长距离声波传感模块,包括多段横向布设在待测区域的传感光缆,第一段传感光缆通过环形器与所述脉冲发射模块相连,相邻两段传感光缆通过距离延伸模块相连,其中,所述传感光缆用于传输脉冲光信号,同时用于对应感知其所在待测区域位置段的声波信息,并将声波信息调制在其接收到的脉冲光信号中,激发出调制有声波信息的后向散射光信号;所述距离延伸模块用于放大设置在其前端的传感光缆传输过来的脉冲光信号及设置在其后端的传感光缆传回的调制有声波信息的后向散射光信号;

光接收模块,与所述环形器相连,用于将各传感光缆传回的调制有声波信息的后向散射光信号和通过环形器接收到的本征光进行耦合,形成拍频光信号,并将所述拍频光信号转化为拍频电信号;

信号处理模块,用于从所述拍频电信号中解调出各传感光缆对应感知的声波信息,并根据解调出的各传感光缆对应感知的声波信息判断待测区域的异常信息。

2. 根据权利要求1所述的超长距离分布式声波传感系统,其特征在于,所述距离延伸模块包括前环形器、后环形器、前向掺铒光纤放大器和后向掺铒光纤放大器,其中,

所述前环形器的一端口与其前端的传感光缆相连,所述前环形器的二端口通过前向掺铒光纤放大器与所述后环形器的一端口相连,所述后环形器的二端口与其后端的传感光缆相连,所述后环形器的三端口通过后向掺铒光纤放大器与所述前环形器的三端口相连。

3. 根据权利要求1或2所述的超长距离分布式声波传感系统,其特征在于,所述脉冲发射模块包括窄线宽激光器、耦合器、级联调制器和光放大器,所述窄线宽激光器依次通过耦合器、级联调制器、光放大器与所述环形器相连,其中,

所述窄线宽激光器用于产生窄线宽激光,由所述耦合器按比例分为探测光和本征光;

所述级联调制器由两个或以上脉冲调制器级联而成,用于将所述探测光调制成高消光比的脉冲光信号;

所述光放大器用于对所述级联调制器调制的高消光比的脉冲光信号进行放大,并输出至所述环形器。

4. 根据权利要求3所述的超长距离分布式声波传感系统,其特征在于,所述光接收模块包括耦合器、探测器和数字采集卡,所述耦合器分别与所述探测器、所述环形器相连,所述数字采集卡分别与所述探测器、所述信号处理模块相连,其中,

所述耦合器用于将所述长距离声波传感模块传回的调制有声波信息的后向散射光信号与所述脉冲发射模块产生的本征光耦合,形成拍频光信号;

所述探测器用于探测拍频光信号,并将所述拍频光信号转化为拍频电信号;

所述数字采集卡用于采集和记录拍频电信号,并输出到信号处理模块。

5. 根据权利要求4所述的超长距离分布式声波传感系统,其特征在于,所述信号处理模块包括解调器和处理器,所述解调器分别与所述探测器、所述数字采集卡相连,其中,

所述解调器用于解调拍频电信号中各传感光缆对应感知的声波信息;

所述处理器用于根据各传感光缆对应感知的声波信息判断待测区域的异常信息。

6. 根据权利要求1所述的超长距离分布式声波传感系统,其特征在于,每段传感光缆的

长度L1为40~50km。

7.根据权利要求6所述的超长距离分布式声波传感系统,其特征在于,所述传感光缆的数量N为:

$$N=\text{roundup}(L2/L1)$$

式中,roundup表示向上取整运算;L2表示待测区域所需探测的距离长度。

一种超长距离分布式声波传感系统

技术领域

[0001] 本实用新型属于分布式声波传感技术领域,更具体地,涉及一种超长距离分布式声波传感系统。

背景技术

[0002] 在光纤传感领域,基于相位敏感的光时域反射(ϕ -OTDR)的分布式声波传感技术(DAS)由于具有长距离、高精度、线性探测和稳定性高的优势,已经应用于铁路安全监测、管道监测和周界安全检测等诸多工程领域。但是,由于DAS通过解调瑞利后向散射光来恢复声波,而瑞利后向散射光能量极低,仅能反射-50dB的能量,而光在光纤中传输时会产生损耗,进一步降低散射能量。所以,当探测距离较长时,远端的瑞利散射信号信噪比下降,也会给声波恢复带来更大的噪声,从而限制了DAS的探测距离。

[0003] 因此,为了获得更长的探测距离,需要获得更高功率的瑞利散射信号。一种途径为注入更高峰值功率的探测脉冲。但是,高功率会带来调制不稳定性以及受激布里渊等非线形效应,限制了探测距离的进一步提升。因此,在长距离的DAS中,必须很好的控制入纤功率,以避免非线性效应的产生。因此,为了克服这一限制,科研人员提出了分布式放大技术方案,通过光纤散射非线性效应,采用布里渊放大、拉曼放大以及布里渊结合拉曼放大的方式,放大光纤远端的光强度,从而实现远端传感信噪比的提升。但是,由于泵浦光功率的限制,探测距离仍然受限。

[0004] 因此,如何解决传统分布式声波传感系统探测距离有限的问题是亟需解决的问题。

实用新型内容

[0005] 针对现有技术的缺陷,本实用新型的目的在于提供一种能实现超长距离声波探测的超长距离分布式声波传感系统。

[0006] 为实现上述目的,本实用新型提供了一种超长距离分布式声波传感系统,包括脉冲发射模块、长距离声波传感模块、光接收模块和信号处理模块,其中,

[0007] 脉冲发射模块,用于产生探测光和本征光,并将所述探测光调制成脉冲光信号;

[0008] 长距离声波传感模块,包括多段横向布设在待测区域的传感光缆,第一段传感光缆通过环形器与所述脉冲发射模块相连,相邻两段传感光缆通过距离延伸模块相连,其中,所述传感光缆用于传输脉冲光信号,同时用于对应感知其所在待测区域位置段的声波信息,并将声波信息调制在其接收到的脉冲光信号中,激发出调制有声波信息的后向散射光信号;所述距离延伸模块用于放大设置在其前端的传感光缆传输过来的脉冲光信号及设置在其后端的传感光缆传回的调制有声波信息的后向散射光信号;

[0009] 光接收模块,与所述环形器相连,用于将各传感光缆传回的调制有声波信息的后向散射光信号和通过环形器接收到的本征光进行耦合,形成拍频光信号,并将所述拍频光信号转化为拍频电信号;

[0010] 信号处理模块,用于从所述拍频电信号中解调出各传感光缆对应感知的声波信息,并根据解调出的各传感光缆对应感知的声波信息判断待测区域的异常信息。

[0011] 本实用新型提供的超长距离分布式声波传感系统,通过距离延伸模块对光信号进行放大,既能避免过大的输入功率产生的非线性效应,也能避免信号过小信噪比过低产生的信号无法探测的问题,实现对超长距离的声波探测。

[0012] 在其中一个实施例中,所述距离延伸模块包括前环形器、后环形器、前向掺铒光纤放大器和后向掺铒光纤放大器,其中,

[0013] 所述前环形器的一端口与其前端的传感光缆相连,所述前环形器的二端口通过前向掺铒光纤放大器与所述后环形器的一端口相连,所述后环形器的二端口与其后端的传感光缆相连,所述后环形器的三端口通过后向掺铒光纤放大器与所述前环形器的三端口相连。

[0014] 在其中一个实施例中,所述脉冲发射模块包括窄线宽激光器、耦合器、级联调制器和光放大器,所述窄线宽激光器依次通过耦合器、级联调制器、光放大器与所述环形器相连,其中,

[0015] 所述窄线宽激光器用于产生窄线宽激光,由所述耦合器按比例分为探测光和本征光;

[0016] 所述级联调制器由两个或以上脉冲调制器级联而成,用于将所述探测光调制成高消光比的脉冲光信号;

[0017] 所述光放大器用于对所述级联调制器调制的高消光比的脉冲光信号进行放大,并输出至所述环形器。

[0018] 在其中一个实施例中,所述光接收模块包括耦合器、探测器和数字采集卡,所述耦合器分别与所述探测器、所述环形器相连,所述数字采集卡分别与所述探测器、所述信息处理模块相连,其中,

[0019] 所述耦合器用于将所述长距离声波传感模块传回的调制有声波信息的后向散射光信号与所述脉冲发射模块产生的本征光耦合,形成拍频光信号;

[0020] 所述探测器用于探测拍频光信号,并将所述拍频光信号转化为拍频电信号;

[0021] 所述数字采集卡用于采集和记录拍频电信号,并输出到信号处理模块。

[0022] 在其中一个实施例中,所述信息处理模块包括解调器和处理器,所述解调器分别与所述处理器,所述数字采集卡相连,其中,

[0023] 所述解调器用于解调拍频电信号中各传感光缆对应感知的声波信息;

[0024] 所述处理器用于根据各传感光缆对应感知的声波信息判断待测区域的异常信息。

[0025] 在其中一个实施例中,每段传感光缆的长度 L_1 为40~50km。

[0026] 在其中一个实施例中,所述传感光缆的数量 N 为:

[0027] $N = \text{roundup}(L_2/L_1)$

[0028] 式中,roundup表示向上取整运算; L_2 表示待测区域所需探测的距离长度。

附图说明

[0029] 图1是一实施例中超长距离分布式声波传感系统的结构示意图;

[0030] 图2是一实施例中距离延伸模块的结构示意图。

具体实施方式

[0031] 为了使本实用新型的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本实用新型进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本实用新型,并不用于限定本实用新型。

[0032] 为解决传统分布式声波传感系统存在探测距离有限的问题,本实用新型提供了一种能够实现超长距离声波探测的分布式声波传感系统,可应用于铁路安全监测、管道监测和周界安全检测等工程领域。

[0033] 图1是本实用新型一实施例提供的超长距离分布式声波传感系统,如图1所示,本实用新型提供的超长距离分布式声波传感系统包括脉冲发射模块10、长距离声波传感模块20、光接收模块30和信号处理模块40。

[0034] 其中,脉冲发射模块10,用于产生探测光和本征光,并将探测光调制成脉冲光信号。需要说明的是,本实施例提供的脉冲发射模块10可采用本领域常用的激光器、耦合器和调制器实现,激光器通过耦合器与调制器相连。其中,激光器用于产生激光,耦合器将该激光按比例分为探测光和本征光,调制器用于将该探测光调制成脉冲光信号。

[0035] 长距离声波传感模块20,用于感知待测区域的声波信息。具体地,本实施例提供的长距离声波传感模块20包括多段横向布设在待测区域的传感光缆22,第一段传感光缆通过环形器50与脉冲发射模块10相连,相邻两段传感光缆通过距离延伸模块24相连。也即是说,本实施例提供的长距离声波传感模块20包括N段传感光缆22和N-1个距离延伸模块24。

[0036] 在本实施例中,传感光缆22的数量N由待测区域所需探测的距离长度L2和每段传感光缆的长度L1决定,即 $N = \text{roundup}(L2/L1)$, roundup表示向上取整运算,每段传感光缆的长度L1可优选为40~50km。

[0037] 本实施例提供的长距离声波传感模块20的工作原理为:传感光缆22用于传输脉冲光信号,同时用于对应感知其所在待测区域位置段的声波信息,并将声波信息调制在其接收到的脉冲光信号中,激发出调制有声波信息的后向散射光信号;距离延伸模块24用于放大设置在其前端的传感光缆传输过来的脉冲光信号,并放大设置在其后端的传感光缆传回的调制有声波信息的后向散射光信号。

[0038] 本实施例提供的长距离声波传感模块20除了包括多段传感光缆外,还在相邻两段传感光缆之间增设有距离延伸模块24,通过距离延伸模块24放大其前后两端传感光缆传输过来的光信号,即前端传感光缆传输过来的脉冲光信号、以及后端传感光缆传输过来的调制有声波信息的后向散射光信号,由此可避免光信号在光缆中传输因损耗导致探测距离有限的问题。相比于传统采用向脉冲发射模块输入过大的功率产生高峰值功率脉冲光信号,来减少光信号传输损耗,能有效避免其产生的非线性效应;同时也能避免因探测距离过长,使得远端传感光缆传输回来的后向散射光信号信噪比低导致产生的信号无法探测的问题。

[0039] 具体地,如图2所示,本实施例提供的距离延伸模块24的结构可包括前环形器240、后环形器242、前向掺铒光纤放大器244和后向掺铒光纤放大器246,其中,前环形器240的一端口与其前端的传感光缆相连,前环形器240的二端口通过前向掺铒光纤放大器244与后环形器242的一端口相连,后环形器242的二端口与其后端的传感光缆相连,后环形器242的三端口通过后向掺铒光纤放大器246与前环形器240的三端口相连。

[0040] 光接收模块30,与环形器50相连,用于将各传感光缆传回的调制有声波信息的后

向散射光信号和通过环形器50接收到的本征光进行耦合,形成拍频光信号,并将拍频光信号转化为拍频电信号。

[0041] 本实施例提供的光接收模块30可采用本领域常用的光信号接收器,比如由耦合器、探测器和数字采集卡组成的光接收器,耦合器分别与探测器、环形器相连,数字采集卡分别与探测器、后端信息处理模块40相连。其中,耦合器则用于将长距离声波传感模块20传回的调制有声波信息的后向散射光信号与脉冲发射模块10产生的本征光耦合,形成拍频光信号;探测器则用于探测拍频光信号,并将其转化为拍频电信号;数字采集卡则用于采集和记录拍频电信号,并输出到信号处理模块40。

[0042] 信号处理模块40,用于从拍频电信号中解调出各传感光缆对应感知的声波信息,并根据解调出的各传感光缆对应感知的声波信息判断待测区域的异常信息,从而实现长距离分布式声波探测。

[0043] 本实施例提供的信号处理模块40可采用本领域常用的解调器和处理器,解调器分别与数字采集卡、处理器相连。其中,解调器用于解调拍频电信号中携带不同位置的声波信息,即各传感光缆对应感知的声波信息;处理器用于根据携带不同位置的声波信息判断待测区域的异常信息。

[0044] 需要说明的是,本实施例提供的处理器可采用本领域采用的声波信息解耦和判断算法来实现对异常信息的判断,本实施例不作限制。例如,采用的声波信息解耦算法可以为:a、根据每段传感光缆的长度分段,共 $N+1$ 段;b、在一段传感光缆内,将光缆分为长度为 L_3 的若干传感窗口,具体 L_3 可以为5~20米,优选为10米;c、选取一个高消光比脉冲光信号,对每个窗口两端的拍频电信号进行相位解调,并对窗口两端的相位做差,获得该窗口的相位差;d、选取不同时刻发射的高消光比脉冲,重复步骤c,获得窗口的相位差随时间的变化,该结果即为解调得到的该传感窗口的声波信息;e、重复步骤b、c、d,直到 $N+1$ 段传感光缆全部解调完毕。

[0045] 本实施例提供的超长距离分布式声波传感系统,通过距离延伸模块24对光信号进行放大,既能避免过大的输入功率产生的非线性效应,也能避免信号过小信噪比过低产生的信号无法探测的问题,实现对超长距离的声波探测。

[0046] 为了减小超长距离中调制漏光导致的相位噪声,上述实施例提供的脉冲发射模块10可通过级联调制的方式得到超高消光比的脉冲,能抑制漏光导致的相位噪声。具体地,脉冲发射模块10可包括窄线宽激光器、耦合器、级联调制器和光放大器,窄线宽激光器依次通过耦合器、级联调制器、光放大器与环形器相连。

[0047] 其中,窄线宽激光器用于产生窄线宽激光,由耦合器按比例分为探测光和本征光,该比例可根据待测区域的实际情况进行相应选择,例如当待测区域为铁轨时,该比例可优选为9:1。级联调制器由两个或以上脉冲调制器级联而成,用于将探测光调制成高消光比的脉冲光信号。光放大器对级联调制器调制的高消光比的脉冲光信号进行放大,并输出至环形器50。

[0048] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本实用新型的较佳实施例而已,并不用以限制本实用新型,凡在本实用新型的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本实用新型的保护范围之内。

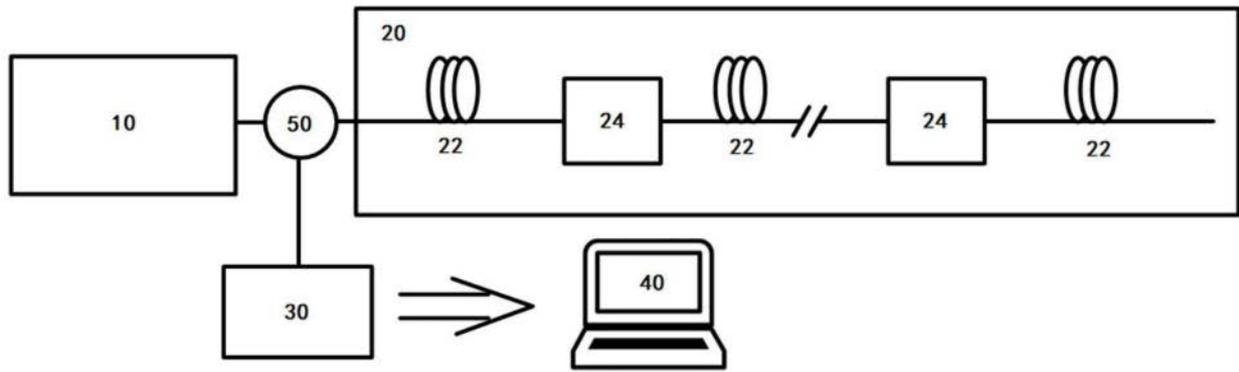


图1

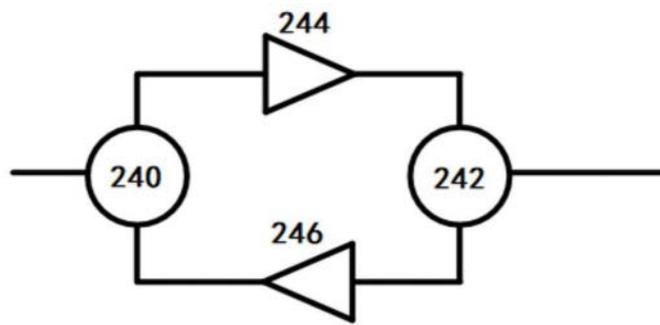


图2