



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102322880 B

(45) 授权公告日 2013.06.05

(21) 申请号 201110237417.6

(22) 申请日 2011.08.18

(73) 专利权人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

(72) 发明人 刘铁根 刘琨 丁振扬 江峻峰

李定杰

(74) 专利代理机构 天津佳盟知识产权代理有限

公司 12002

代理人 侯力 李益书

(51) Int. Cl.

G01D 5/30(2006.01)

(56) 对比文件

EP 0320255 A2, 1989.06.14, 全文.

US 5268741, 1993.12.07, 全文.

US 2006/0204165 A1, 2006.09.14, 全文.

CN 101680782 A, 2010.03.24, 全文.

JP 特表 2008-523396 A, 2008.07.03, 全文.

CN 101611301 A, 2009.12.23, 全文.

Gang Zheng, etc. Reflectometric frequency-modulation continuous-wave distributed fiber-optic stress sensor with forward coupled beams. 《Applied Optics》. 1996, 第 35 卷 (第 28 期), 第 5722-5726 页.

审查员 尹眉

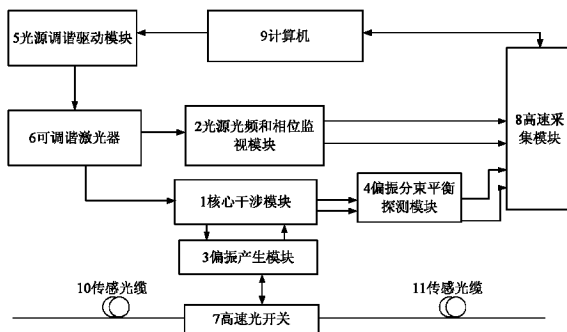
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置和解调方法

(57) 摘要

偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置和解调方法。装置中采用光频域反射技术和偏振控制及提取技术,包括超窄线宽可调谐激光器模块,偏振产生和偏振分集探测模块,光频和相位监控模块,高速光开关模块,组成大规模长距离光传感网络。解调方法上采用光频非线性及光源相位噪声的抑制和补偿,超分辨分析方法,先进去噪方法以及基于光纤分布式波片模型的琼斯和穆勒矩阵的偏振解算方法实现传感光缆中偏振信息提取。



CN 102322880 B

1. 一种偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置,其特征在于该装置包括:

可调谐激光器:用于为光频域反射扰动传感装置提供光源,包括超窄线宽可调谐光纤激光器、外腔式半导体激光器;

光源调谐驱动模块:与可调谐激光器连接,为可调谐激光器提供调谐驱动,是一种超低纹波的电压驱动器,由高精度的数模转换器、可编程门阵列、放大器组成;

分束比为 1:99 光分束器:将可调谐激光器的出射光进行 1:99 比例分束,分别分配到光源光频和相位监视模块与核心干涉模块;

光源光频和相位监视模块:用于对可调谐激光器光频的采集和监控,采用以下两种结构中任一种结构实现,一种结构是消偏振迈克逊干涉仪结构,另一种结构是基于 3×3 耦合器的马赫曾德尔干涉仪结构;

核心干涉模块:是光频域反射扰动传感装置的核心,具体结构由可调保偏衰减器,保偏分束器、参考臂、测试臂以及保偏耦合器组成;可调保偏衰减器,用于调节光强大小;保偏分束器,将光以 50:50、20:80、30:70 或 40:60 的比例分配到干涉仪的参考臂和测试臂,其中比例的选择,根据传感光纤中受激布里渊吸收效应较大时,选择较大的比例 20:80 或 30:70,受激布里渊吸收效应较小时,选择比例为 50:50 或 40:60;参考臂,由相位调制器和 45 度对准器组成,其中参考臂光纤是保偏光纤,相位调制器以测试的最大拍频值为调制频率值调制,后续将采集信号做高通滤波,能够抑制瑞利散射相干噪声和幻峰,45 度对准器将保偏光纤快轴和慢轴 45 度对轴,保证参考臂快慢轴有等量光强;核心干涉模块的测试臂上连接偏振产生模块中偏振产生器,传感光纤的背向散射光经过高速光开关和偏振产生模块中的环形器进入保偏耦合器的第二端口,核心干涉模块的参考臂光进入保偏耦合器的第一端口,传感光纤的背向散射光与参考臂光在保偏耦合器中发生拍频干涉产生拍频干涉信号,其拍频信号从保偏耦合器的第三端口和第四端口进入偏振分束平衡探测模块;

偏振产生模块,作用是能够产生固定几种偏振态的光包括:线偏光、左旋圆偏光或右旋圆偏光,为后面算法处理提供已知的参考偏振态;偏振产生模块的结构包括偏振产生器和环形器,环形器为双轴工作的保偏环形器,其作用是连接偏振产生模块、高速光开关以及核心干涉模块的保偏耦合器,具体连接方式将光由第一端口进入环形器,从第二端口进入高速光开关,传感光纤的背向散射光经过高速光开关返回到环形器的第二端口,然后背向散射光从环形器的第三端口进入核心干涉模块的保偏耦合器的第一端口和第二端口;

高速光开关:连接传感光纤,能够实现多路传感光纤的传感,拓展了光频域反射扰动传感装置的测试距离,便于形成大规模传感网络;

偏振分束平衡探测模块:其结构包括两个偏振分束器以及两个平衡探测器;其中偏振分束器,将进入其中的核心干涉模块输出拍频光信号分解成偏振本征正交的快慢轴两个分量;其中两个偏振分束器的快轴分量进入第一个平衡探测器,慢轴分量进入第二个平衡探测器;

高速采集模块:用于采集偏振分束平衡探测模块的平衡探测器以及光源光频和相位监视模块的干涉信号;

计算机,对高速采集模块采集的信号进行数据处理,包括光源光频和相位的提取和解调算法以及对于核心干涉模块产生的拍频信号进行解调,为光源调谐驱动模块提供控制信号;

传感光纤,由普通通讯光缆或振动传感光纤构成,使用时只使用单芯,布设于围栏、大型结构要扰动监测的位置。

2. 根据权利要求 1 所述的偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置,其特征在于所述的光源光频和相位监视模块中的一种结构,消偏振迈克逊干涉仪结构包括隔离器,分束比 50 :50 耦合器,两个法拉第转镜,干涉探测器,延迟光纤,相位调制器;其中各组成单元的作用,隔离器:防止 50 :50 耦合器的第二端口的反射光进入激光器,分束比 50 :50 耦合器用于光干涉,光从 50 :50 耦合器的第二端口进入,从第三、第四端口出射,分别被两臂的法拉第转镜反射,返回到第三、第四端口,两束光在 50 :50 耦合器中发生干涉,从第一端口输出,两个法拉第转镜用于干涉仪提供反射,且能够消除干涉仪的偏振衰落现象,延迟光纤,用于实现非等臂的拍频干涉,能够根据拍频和延迟光纤长度得到光频,干涉探测器,用于采集耦合器从第一端口出射光,即光源光频和相位监视模块的拍频信号;相位调制器,用于对干涉仪的一臂进行相位调制,便于后续的锁相解调出干涉信号的相位。

3. 根据权利要求 1 所述的偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置,其特征在于所述的光源光频和相位监视模块中的另一种结构,基于 3×3 耦合器的马赫曾德尔干涉仪包括,50 :50 分束器,延迟光纤, 3×3 耦合器,两个探测器;其中各组成单元的作用,50 :50 分束器,用于入射光的 50:50 分束,经过延迟光纤,进入 3×3 耦合器进行干涉, 3×3 耦合器的两个端口分别接入两个探测器光接口,探测器将采集的电信号接入高速采集模块。

4. 一种基于如权利要求 1 所述的偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置的偏振敏感的分布式光频域反射扰动的解调方法,其特征在于该方法的步骤包括:

第一步、激光器实时相位光频采集,对光源光频和相位监视模块采集的信号进行希尔伯特变换或三角函数变换和时频域变换,得到各个时间点的激光器的光频或相位;

第二步、利用第一步实时采集的激光器的光频和相位的信号,采用非均匀快速傅立叶变换、补偿插值算法,对核心干涉模块的信号中包括偏振本征态的两路信号进行相位补偿,以抑制光频非线性和光源相位噪声对传感装置信噪比和空间分辨率的影响;

第三步、对经过第二步补偿后核心干涉模块的信号进行谱估计:用以下两种方法中任一种方法对信号进行谱估计,具体方法分为非参数化谱估计和参数化谱估计两种方法;其中第一种方法,非参数化谱估计方式的处理方法:对第二步处理后的信号采用窗函数:凯泽窗或高斯窗,来抑制信号旁瓣,然后采用先进窗技术:卷积窗和空间变迹法或切趾法对信号处理;第二种方法另外采用参数化谱估计的方式:对第二步处理后的信号采用自回归滑动平均模型或自回归模型或多重信号分类的参数化方法对传感装置输出信号进行建模,实现传感装置的超分辨率分析;

第四步、对第三步处理后的信号进行去噪处理,具体方法:小波去噪,维纳反卷积自适应去噪,中值去噪,形态学去噪,偏微分去噪和基于局部统计特征去噪;

第五步、采用以下两种方法中任一种方法,对第四步处理后的信号进行基于光纤分布式波片模型的偏振解算:

第一种方法:通过偏振产生模块和偏振分束平衡探测模块,已知输入和输出光的偏振态和琼斯向量,利用琼斯矩阵的相似矩阵求本征值法,这种方法只需在偏振产生模块输入两个正交偏振态,就得到传感光纤中各个小段的琼斯矩阵,即可得传感光纤中各个小段的线性双折射和线性双衰减;

第二种方法：通过偏振产生模块和偏振分束平衡探测模块，已知输入和输出光的斯托克斯向量，利用矩阵运算，得到传感光纤中各个小段的分布式穆勒矩阵，即可得传感光纤中各个小段的线性双折射和线性双衰减，圆双折射。

偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置和解调方法

技术领域

[0001] 本发明属于光纤传感技术领域。本发明应用于长距离光纤分布式扰动、应力传感，涉及一种偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置和方法。

背景技术

[0002] 目前，应用于长距离光纤分布式扰动、应力传感，主要技术方案有激光干涉方法、相位敏感光时域反射方法和偏振敏感光时域反射方法，这些方法都存在测试距离短(<80km)，本课题针对目前全光纤分布式扰动传感技术：测试距离短(小于80km)、空间分辨率低(大于10m)、单点分立等缺陷。

[0003] 由于上述技术的缺陷，将偏振特性提取与控制技术和光频域反射(OFDR, Optical Frequency Domain Reflectometry)相结合，提出了基于偏振敏感的光频域反射扰动技术和装置(P-OFDR)。

[0004] 在用于光纤通讯网络测试以及应力、温度、扰动传感等领域的已知的技术光频域反射技术)采用高相干激光器进行高速和线性扫描波长，参考臂是由法拉第反射镜反射的光与单模光纤背向散射光(瑞利反射光)相干。由于二者的光程不同，干涉端实际是不同频率的两臂光进行干涉，形成拍频。通过探测不同的拍频信号，就可以探测传感光纤不同位置的背向散射信息。

发明内容

[0005] 本发明目的是解决现有技术存在测试距离短(小于80km)、空间分辨率低(大于10m)和单点分立等问题，提供一种偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置和解调方法。

[0006] 其基本原理是

[0007] 偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置的基本原理是利用光频域反射方法和偏振敏感检测扰动方法的结合。

[0008] 其中光频域反射方法其采用光外差干涉技术，采用超窄线宽激光器进行高速和线性扫描波长，参考臂是由反射镜反射的光与单模光纤背向散射光(瑞利反射光)相干。由于二者的光程不同，干涉端实际是，不同频率的两臂光进行干涉，形成拍频。不同频率的拍频信号对应传感光纤不同位置。通过FFT变换就可以得到不同位置的背向瑞利散射信息。

[0009] 本发明装置在传统光频域反射方法装置上加入了光源光频和相位监视模块以及核心干涉模块中参考臂加入相位调制，通过相应的解调算法抑制了光源的相位噪声、非线性扫描噪声、以及瑞利相干散射噪声，实现了高灵敏度、高信噪比。

[0010] 偏振敏感检测扰动方法的基本原理是外界扰动信息(振动、应力)等施加到传感光纤上，根据光弹效应，外界扰动必然引起光纤中双折射变化，进而导致光纤中光的偏振态变化，偏振敏感光频域反射技术(P-OFDR)，是将几个已知偏振态的偏振光注入到普通通讯光纤中，通过偏振分集探测技术和光频域反射的光外差相干探测技术，得到光纤中各个位置

的偏振信息,可以通过偏振信息得到光纤中各个位置的双折射信息,进行扰动传感。

[0011] 本发明装置采用偏振产生模块和偏振分束平衡探测模块,可对传感光缆注入两到四种已知偏振态的偏振光(线偏振光、 45° 线偏振光、左旋圆偏振光、右旋圆偏振光),通过偏振分束平衡探测模块的偏振本征态采集,利用串联波片模型和琼斯矩阵或穆勒矩阵算法,可以得到光纤中各个位置的波片模型,继而得到光纤中各个位置的偏振信息,利用得到光纤中各个位置的线性双折射、偏振相关损耗、圆双折射等偏振参量与外界扰动(应力、振动)作用关系,实现分布式扰动传感的目的。

[0012] 本发明装置采用拓展传感距离和组成超长距离传感网络。

[0013] 本发明提供的偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置如图 1 所示,具体实现见图 2 和图 3,该装置包括:

[0014] 1. 核心干涉模块:采用马赫曾德尔干涉仪(Mach-Zehnder)结构,是传感光纤背向散射光与参考臂发生拍频干涉,其中参考臂加入可编程门阵列调制的相位调制器(EOM)形成频移,频移值大于测试光纤产生最大拍频,接收端通过带通滤波器进行去噪和并用混频器将频率降下来,便于采集卡接受抑制瑞利散射相干噪声(Fading noise)和幻峰(Ghost peak)。

[0015] 2. 光源光频和相位监视模块:由于激光器存在光频非线性扫描和相位噪声,这会严重影响系统空间分辨率和信噪比,采用消偏振迈克逊干涉仪(Michelson)干涉结构,采用调制器相位调制,后续进行锁相解调出干涉信号的相位,即可提取各个时间点的激光器的光频与相位,采用校正与补偿算法,解决这一问题。此外,也可以基于 3×3 耦合器的马赫曾德耳(Mach Zehnder)干涉仪结构,利用 3×3 耦合器的端口输出的 120° 相位差,通过采集两路 3×3 耦合器的端口输出的信号,通过一定三角函数运算关系,可以得到各个时间点的激光器的光频与相位。

[0016] 3. 偏振产生模块:利用其产生几种固定偏振态,便于后面的偏振信息解算。

[0017] 4. 偏振分束平衡探测模块:将进入其中的光分解为正交本征的两态并采集,功能抑制偏振衰落和得到偏振信息,平衡探测模块可以已知共模噪声,提升信噪比 3dB。

[0018] 5. 光源调谐驱动模块:为光源调谐提供驱动信号,采用可编程门阵列(FPGA)和 20 位数模转换器组成。

[0019] 6. 可调谐激光器:提供高速线性调谐的超窄线宽连续线偏振光。

[0020] 7. 高速光开关:便于切换传感光缆,可以利用光开关拓展传感距离和组成超长距离传感网络。

[0021] 8. 高速采集模块:用于采集核心干涉模块和光源光频和相位监视模块产生的信号进行高速同步采集。

[0022] 9. 计算机:对高速采集模块采集的数据进行解调和信号处理。

[0023] 10. 传感光缆,由普通通讯光缆或振动传感光缆构成,使用时只使用单芯,布设于围栏、大型结构等需要扰动监测的位置。

[0024] 传感装置各模块具体组成和连接方式见图 2:

[0025] 可调谐激光器 6:用于为光频域反射系统提供光源,包括超窄线宽可调谐光纤激光器、外腔式半导体激光器;

[0026] 光源调谐驱动模块 5:与可调谐激光器连接,为可调谐激光器提供调谐驱动,是一

种超低纹波的电压驱动器,由高精度的数模转换器、可编程门阵列、放大器组成;

[0027] 1:99 光分束器 12:将激光器的出射光进行 1:99 比例分束,分别分配到核心干涉模块 1 和光源相位光频监视模块 2;

[0028] 光源光频和相位监视模块 2:用于对激光器光频的采集和监控,可以采用两种结构一种是消偏振迈克逊干涉仪(Michelson)干涉仪结构;第二种结构是基于 3×3 耦合器的马赫曾德耳干涉仪(Mach Zehnder)结构如图 3。其中消偏振迈克逊干涉仪(Michelson)干涉包括隔离器 13:防止 50:50 耦合器 15 的 2 端口的反射光进入激光器。50:50 耦合器 15 用于光干涉,光从耦合器 15 的 2 端口进入,从 3、4 端口出射,分别被迈克逊干涉仪两臂的法拉第转镜 17 和 18 反射,返回到 3、4 端口,两束光在耦合器 15 中发生干涉,从 1 端口输出。两个法拉第转镜 17 和 18 用于干涉仪提供反射,且可以消除干涉仪的偏振衰落现象。延迟光纤 16,用于实现非等臂的拍频干涉,可以根据拍频和延迟光纤长度得到光频。干涉探测器 14,用于采集耦合器 15 从 1 端口出射光,即光源相位光频监视模块 2 的拍频信号。相位调制器 16,用于对干涉仪的一臂进行相位调制,便于后续的锁相解调出干涉信号的相位。基于 3×3 耦合器的马赫曾德耳(Mach Zehnder)干涉仪结构如图 3,其包括 50:50 分束器 33,用于入射光的 50:50 分束,经过延迟光纤 34,进入 3×3 耦合器进行干涉 35,3×3 耦合器的两个端口分别接入两个探测器 36 和 37 光接口,其采集的电信号接入高速采集模块。

[0029] 核心干涉模块 1:是光频域反射仪的核心,由可调保偏衰减器 20,保偏分束器 21、参考臂、测试臂以及保偏耦合器 24 组成,其可调保偏衰减器 20,用于调节光强大小,保偏分束器 21,将光以一定比例 50:50,20:80,30:70 或 40:60 分配到干涉仪的参考臂和测试臂。其中比例的选择,根据测试光纤中受激布里渊吸收效应较大时,选择比例较大的如 20:80,30:70,受激布里渊吸收效应较小时,选择比例如 50:50,40:60。

[0030] 参考臂由相位调制器 22 和 45 度对准器 23 组成,其中参考臂光纤是保偏光纤。相位调制器 22 用可编程门阵列 31 以测试的最大拍频值为调制频率值调制,后续将采集信号做高通滤波,可以抑制瑞利散射相干噪声(Fading noise)和幻峰(Ghost peak)。45 度对准器 23 将保偏光纤快轴和慢轴 45 度对轴,保证参考臂快慢轴有等量光强。

[0031] 核心干涉模块 1 的测试臂上连接核心干涉模块 1 的测试臂上连接偏振产生模块 3 中偏振产生器 38,传感光缆 10 和 11 的背向散射光经过高速光开关 7 和偏振产生模块 3 中的环形器进入保偏耦合器 24 的第二端口,核心干涉模块 3 的参考臂光进入保偏耦合器 24 的第一端口,传感光缆 10 和 11 的背向散射光与参考臂光在保偏耦合器 24 中发生拍频干涉产生拍频干涉信号,其拍频信号从保偏耦合器 24 的第三端口和第四端口进入偏振分束平衡探测模块 4;

[0032] 偏振产生模块 3,包括偏振产生器 38 和环形器 29,偏振产生器 38 能够产生固定几种偏振态的光包括:线偏光、45 度线偏光、左旋圆偏光或右旋圆偏光,为后面算法处理提供已知的参考偏振态;环形器 29 为双轴工作的保偏环形器,其作用是连接偏振产生器 38,高速光开关 7 以及核心干涉模块 1 的保偏耦合器 24,具体连接方式将光由第一端口进入环形器,从第二端口进入高速光开关 7,与连接的高速光开关的传感光缆的背向散射光通过环形器的第二端口返回,从环形器的第三端口进入核心干涉模块 1 的保偏耦合器 24 的第一端口和第二端口

[0033] 高速光开关 7,连接传感光缆 10 和 11 可以实现多路传感光缆的传感,拓展了系统

的测试距离,便于形成大规模传感网络。

[0034] 偏振分束平衡探测模块 4:包括两个偏振分束器 25 和 26 以及两个平衡探测器 27 和 28;其中偏振分束器 25 和 26 将进入其中的核心干涉模块 1 输出拍频信号分解成偏振本征正交的快慢轴两个分量;其中两个偏振分束器 25 和 26 的快轴分量进入第一个平衡探测器 27,慢轴分量进入第二个平衡探测器 28;

[0035] 高速采集模块 8,用于采集偏振分束平衡探测模块的第一和第二平衡探测器 27 和 28、光源光频和相位监视模块的探测器 14(第一种结构)或探测器 36 和 37(第二种结构)的干涉信号。

[0036] 计算机 9,高速采集模块 8 采集的信号进行数据处理,包括光源光频和相位模块 2 的相位、光频的提取和解调算法以及对于核心干涉模块 1 产生的拍频信号进行解调,为光源调谐驱动模块 5 提供控制信号

[0037] 传感光缆 10 和 11,由普通通讯光缆或振动传感光缆构成,使用时只使用单芯,布设于围栏、大型结构等需要扰动监测的位置。

[0038] 具体技术方案解调方法包括几步骤:

[0039] 第一步、激光器实时相位光频采集,对光源光频和相位监视模块采集的信号进行希尔伯特变换或三角函数变换和时频域变换得到各个时间点的激光器的光频或相位;

[0040] 第二步、利用第一步实时采集的激光器的光频和相位的信号,采用非均匀快速傅立叶变换或补偿插值算法,对核心干涉模块的信号中包括偏振本征态的两路信号进行相位补偿,以抑制光频非线性和光源相位噪声对系统信噪比和空间分辨率的影响;

[0041] 第三步、对经过第二步补偿后核心干涉模块的信号进行谱分析:以下两种方法中任一种方法对信号进行谱估计,其具体方法分为非参数化谱估计和参数化谱估计两种方法。其中第一种方法,非参数化谱估计方式的处理方法:对第二步处理处理后的信号采用窗函数:凯泽窗或高斯窗,来抑制信号旁瓣,然后采用先进窗技术:卷积窗和空间变迹法或切趾法对信号处理进一步抑制信号旁瓣;第二种方法另外采用参数化谱估计的方式:对第二步处理处理后的信号采用自回归滑动平均模型或自回归模型或多重信号分类等参数化方法对系统输出信号进行建模,实现系统超分辨率分析;

[0042] 第四步、对第三步处理后的信号进行去噪处理,具体方法:小波去噪,维纳反卷积自适应去噪,中值去噪,形态学去噪,偏微分去噪和基于局部统计特征去噪;如图 3 是未采用第三步抑制旁瓣的先进窗技术和第四步去噪处理的信号,图 3 是采用第三步抑制旁瓣的先进窗技术和第四步去噪处理的信号

[0043] 第五步、采用以下两种方法中任一种方法对第四步处理后的信号进行基于光纤分布式波片模型的偏振解算:

[0044] 第一种方法:通过偏振产生器和偏振分束探测,已知输入和输出光的偏振态和琼斯向量,利用琼斯矩阵的相似矩阵求本征值法,这种方法只需输入两个偏振态,就得到测试光纤中各个小段的琼斯矩阵,即可得测试光纤中各个小段到线性双折射和线性双衰减;

[0045] 第二种方法:通过偏振产生器和偏振分束探测,已知输入和输出光的斯托克斯向量,利用矩阵运算,得到测试光纤中各个小段的分布式穆勒矩阵,即可得测试光纤中各个小段到线性双折射和线性双衰减,圆双折射。

[0046] 本发明的优点和积极效果:

[0047] 本发明提出的基于偏振敏感的光频域反射扰动装置和方法(P-OFDR),具有测试距离长(>200km)、空间分辨率高(厘米级)、灵敏度高、可以连续多点测量的特点。可应用于长距离周界安全、油气管道安全等电力、通讯线缆安全实时监控领域。

附图说明

[0048] 图 1 是偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置框图;

[0049] 图中,1 是核心干涉模块,2 是光源光频和相位监视模块,3 是偏振产生模块,4 是偏振分束平衡探测模块,5 是光源调谐驱动模块,6 是可调谐激光器,7 是高速光开关,8 是高速采集模块,9 是计算机,10 是传感光缆。11 是传感光缆。

[0050] 图 2 是偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置具体结构一示意图;

[0051] 图 3 是偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置中光源光频和相位监视模块的第二种具体结构基于 3×3 耦合器的马赫曾德耳干涉仪 (Mach Zehnder) 结构的示意图;

[0052] 图 4 是未采用去噪和窗技术处理的信号谱。

[0053] 图 5 是采用去噪和窗技术处理的信号谱。

[0054] 图中,1 是核心干涉模块,2 是光源光频和相位监视模块,3 是偏振产生模块,4 是偏振分束平衡探测模块,5 是光源调谐驱动模块,6 是可调谐激光器,7 是高速光开关,8 是高速采集模块,9 是计算机,10 是传感光缆。11 是传感光缆。12 是分束器(1:99) 13 是隔离器,14 是探测器,15 是耦合器,16 是延迟光纤,17 是法拉第旋转镜,18 是法拉第旋转镜,19 相位调制器,20 是可调衰减器,21 是保偏分束器,22 是相位调制器,23 是 45 度对准器,,24 是保偏耦合器,25 是偏振分束器,26 是偏振分束器,27 是第一平衡探测器,28 是第二平衡探测器,29 保偏环行器,30 是高精度数模转换器,31 是可编程门阵列(FPGA) 32 是放大器。33 是 50:50 分束器,34 是延迟光纤,35 是 3×3 耦合器,36 是探测器 1 和 37 是探测器 2。38 是偏振产生器。

具体实施方式

[0055] 实施例 1:偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置

[0056] 如图 1 所示,核心干涉模块 1 其基本结构是马赫曾德耳 (Mach Zehnder) 干涉仪结构,构成光外差干涉结构;光源光频和相位监视模块 2,其主要是采集激光器实时的光频和相位,用以对核心干涉模块的信号进行非线性扫描和相位噪声补偿;偏振产生模块 3 和偏振分束平衡探测模块 4 实现传感光缆中偏振信息的提取;光源调谐驱动模块 5 和可调谐激光器 6 为偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感装置提供高速和线性扫描波长的窄线宽激光光源;高速光开关 7 用于构建长距离大规模的传感网络;高速采集模块 8 用于采集核心干涉模块 1 和光源光频和相位监视模块 2 的信号;计算机 9 是对高速采集模块采集的信号进行解调和信号处理,最终得到传感光缆上分布式的扰动(振动、应力)信息;传感光缆 10 和 11 由普通通讯光缆或振动传感光缆构成,使用时只使用单芯,布设于围栏、大型结构等需要扰动监测的位置。

[0057] 图 2 和图 3 所示是图 1 中各功能模块的具体实现,包括各模块的连接和组成

[0058] 可调谐激光器 6:用于为光频域反射系统提供光源,包括超窄线宽可调谐光纤激光器、外腔式半导体激光器;

[0059] 光源调谐驱动模块 2 :与可调谐激光器连接,为可调谐激光器提供调谐驱动,是一种超低纹波的电压驱动器,由高精度的数模转换器 30、可编程门阵列 31、放大器 32 组成。

[0060] 分束比 1 :99 光分束器 12 :将激光器的出射光进行 1 :99 比例分束,分别分配到光源光频和相位监视模块与核心干涉模块 ;

[0061] 光源光频和相位监视模块 2 :用于对激光器光频的采集和监控,可以采用两种结构,一种是消偏振迈克逊干涉仪(Michelson)干涉仪结构,如图 2 所示 ;第二种结构是基于 3×3 耦合器的马赫曾德耳干涉仪(Mach Zehnder)结构,如图 3 所示。其中消偏振迈克逊干涉仪(Michelson)干涉包括隔离器 13 :防止 50 :50 耦合器 15 的 2 端口的反射光进入激光器。50 :50 耦合器 15 用于光干涉,光从耦合器 15 的 2 端口进入,从 3、4 端口出射,分别被迈克逊干涉仪两臂的法拉第转镜 17 和 18 反射,返回到 3、4 端口,两束光在耦合器 15 中发生干涉,从 1 端口输出。两个法拉第转镜 17 和 18 用于干涉仪提供反射,且可以消除干涉仪的偏振衰落现象。延迟光纤 16,用于实现非等臂的拍频干涉,可以根据拍频和延迟光纤长度得到光频。干涉探测器 14,用于采集耦合器 15 从 1 端口出射光,即光源相位光频监视模块 2 的拍频信号。相位调制器 16,用于对干涉仪的一臂进行相位调制,便于后续的锁相解调出干涉信号的相位。基于 3×3 耦合器的马赫曾德耳(Mach Zehnder)干涉仪结构如图 3,其包括 50 :50 分束器 33,用于入射光的 50:50 分束,经过延迟光纤 34,进入 3×3 耦合器进行干涉 35,3×3 耦合器的两个端口分别接入两个探测器 36 和 37 光接口,探测器采集的电信号接入高速采集模块。

[0062] 核心干涉模块 1 :是光频域反射仪的核心,由可调保偏衰减器 20,保偏振分束器 21、参考臂、测试臂以及保偏耦合器 24 组成,其可调保偏衰减器 20,用于调节光强大小,保偏分束器 21,将光以一定比例 50 :50,20 :80,30 :70 或 40 :60 分配到干涉仪的参考臂和测试臂。其中比例的选择,根据测试光纤中受激布里渊吸收效应较大时,选择比例较大的如 20 :80,30 :70,受激布里渊吸收效应较小时,选择比例如 50 :50,40 :60。

[0063] 参考臂由相位调制器 22 和 45 度对准器 23 组成,其中参考臂光纤是保偏光纤。相位调制器 22 用可编程门阵列 31 以测试的最大拍频值为调制频率值调制,后续将采集信号做高通滤波,可以抑制瑞利散射相干噪声(Fading noise)和幻峰(Ghost peak)。45 度对准器 23 将保偏光纤快轴和慢轴 45 度对轴,保证参考臂快慢轴有等量光强。

[0064] 核心干涉模块 1 的测试臂上连接核心干涉模块 1 的测试臂上连接偏振产生模块 3 中偏振产生器 38,传感光缆 10 和 11 的背向散射光经过高速光开关 7 和偏振产生模块 3 中的环形器进入保偏耦合器 24 的第二端口,核心干涉模块 3 的参考臂信号进入保偏耦合器 24 的第一端口,背向散射光与参考臂信号在保偏耦合器 24 中发生拍频干涉产生拍频干涉信号,其拍频信号从保偏耦合器 24 的第三端口和第四端口进入偏振分束平衡探测模块 4 ;

[0065] 偏振产生模块 3,包括偏振产生器 38 和环形器 29,偏振产生器 38 能够产生固定几种偏振态的光包括 :线偏光、45 度线偏光、左旋圆偏光或右旋圆偏光,为后面算法处理提供已知的参考偏振态 ;环形器 29 为双轴工作的保偏环形器,其作用是连接偏振产生器 38,高速光开关 7 以及核心干涉模块 1 的保偏耦合器 24,具体连接方式将光由第一端口进入环形器,从第二端口进入高速光开关 7,与连接的高速光开关 7 的传感光缆 10 和 11 的背向散射光通过环形器 29 的第二端口返回,从环形器 29 的第三端口进入核心干涉模块 1 的保偏耦合器 24 的第一端口和第二端口 ;

[0066] 偏振分束平衡探测模块 4 :包括两个偏振分束器 25 和 26 以及两个平衡探测器 27 和 28 ;其中偏振分束器 25 和 26 将进入其中的核心干涉模块 1 输出拍频信号分解成偏振本征正交的快慢轴两个分量 ;其中两个偏振分束器 25 和 26 的快轴分量进入第一个平衡探测器 27,慢轴分量进入第二个平衡探测器 28 ;

[0067] 高速光开关 7,连接传感光缆 10 和 11 可以实现多路传感光缆的传感,拓展了系统的测试距离,便于形成大规模传感网络。

[0068] 高速采集模块 8,用于采集偏振分束平衡探测模块的第一和第二平衡探测器 27 和 28、光源光频和相位监视模块的探测器 14 (第一种结构)或探测器 36 和 37 (第二种结构)的干涉信号。

[0069] 计算机 9,高速采集模块 8 采集的信号进行数据处理,包括光源光频和相位模块 2 的相位、光频的提取和解调算法以及对于核心干涉模块 1 产生的拍频信号进行解调,为光源调谐驱动模块 5 提供控制信号

[0070] 传感光缆 10 和 11,由普通通讯光缆或振动传感光缆构成,使用时只使用单芯,布设于围栏、大型结构等需要扰动监测的位置。

[0071] 实施例 2 :偏振敏感的分布式光频域反射扰动传感方法

[0072] 其具体技术方法和算法包括几个步骤 :

[0073] 第一步、激光器实时相位光频采集,对光源光频和相位监视模块采集的信号进行希尔伯特变换或三角函数变换和时频域变换得到各个时间点的激光器的光频或相位 ;

[0074] 第二步、利用第一步实时采集的激光器的光频或相位的信号,采用非均匀快速傅立叶变换或补偿插值算法,对核心干涉模块的信号中包括偏振本征态的两路信号进行相位补偿,以抑制光频非线性和光源相位噪声对系统信噪比和空间分辨率的影响 ;

[0075] 第三步、对经过第二步补偿后核心干涉模块的信号进行谱分析 :以下两种方法中任一种方法对信号进行谱估计,其具体方法分为非参数化谱估计和参数化谱估计两种方法。其中第一种方法,非参数化谱估计方式的处理方法 :对第二步处理后的信号采用窗函数 :凯泽窗或高斯窗,来抑制信号旁瓣,然后采用先进窗技术 :卷积窗和空间变迹法或切趾法对信号处理进一步抑制信号旁瓣 ;第二种方法另外采用参数化谱估计的方式 :对第二步处理后的信号采用自回归滑动平均模型或自回归模型或多重信号分类等参数化方法对系统输出信号进行建模,实现系统超分辨率分析 ;

[0076] 第四步、对第三步处理后的信号进行去噪处理,具体方法 :小波去噪,维纳反卷积自适应去噪,中值去噪,形态学去噪,偏微分去噪和基于局部统计特征去噪 ;如图 3 是未采用第三步抑制旁瓣的先进窗技术和第四步去噪处理的信号,图 3 是采用第三步抑制旁瓣的先进窗技术和第四步去噪处理的信号

[0077] 第五步、采用以下两种方法中任一种方法对第四步处理后的信号进行基于光纤分布式波片模型的偏振解算 :

[0078] 第一种方法 :通过偏振产生器和偏振分束探测,已知输入和输出光的偏振态和琼斯向量,利用琼斯矩阵的相似矩阵求本征值法,这种方法只需在偏振产生模块输入两个偏振态,就得到测试光纤中各个小段的琼斯矩阵,即可得测试光纤中各个小段到线性双折射和线性双衰减 ;

[0079] 第二种方法 :通过偏振产生器和偏振分束探测,已知输入和输出光的斯托克斯向

量,利用矩阵运算,得到测试光纤中各个小段的分布式穆勒矩阵,即可得测试光纤中各个小段的性双折射和线性双衰减,圆双折射。

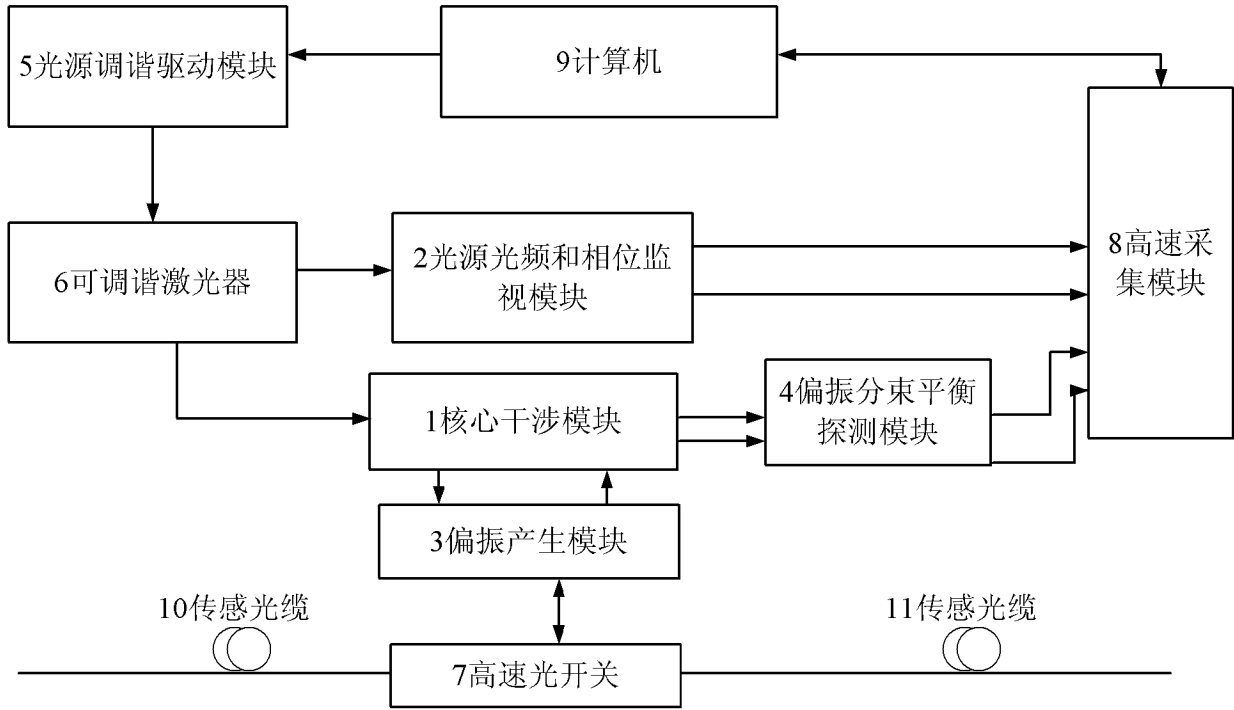


图 1

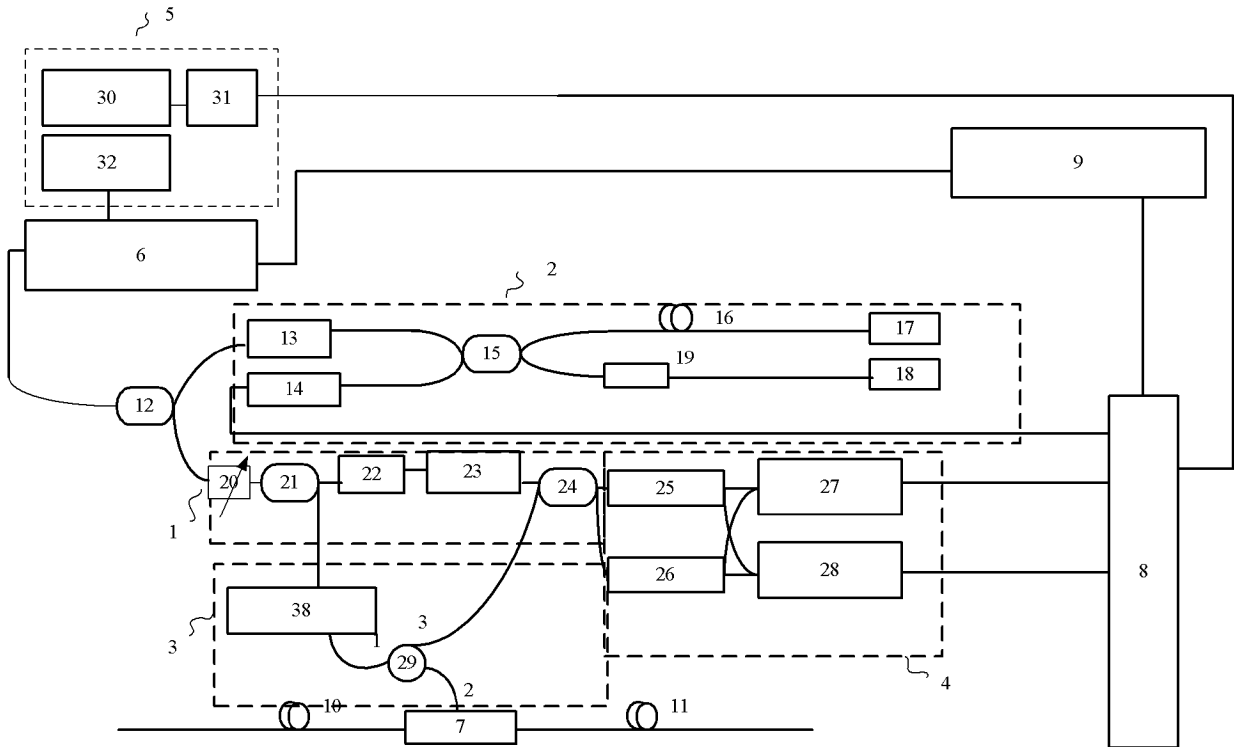


图 2

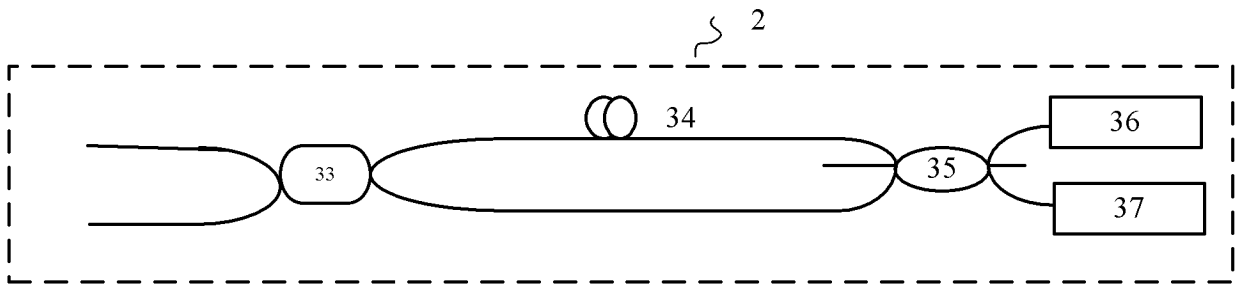


图 3

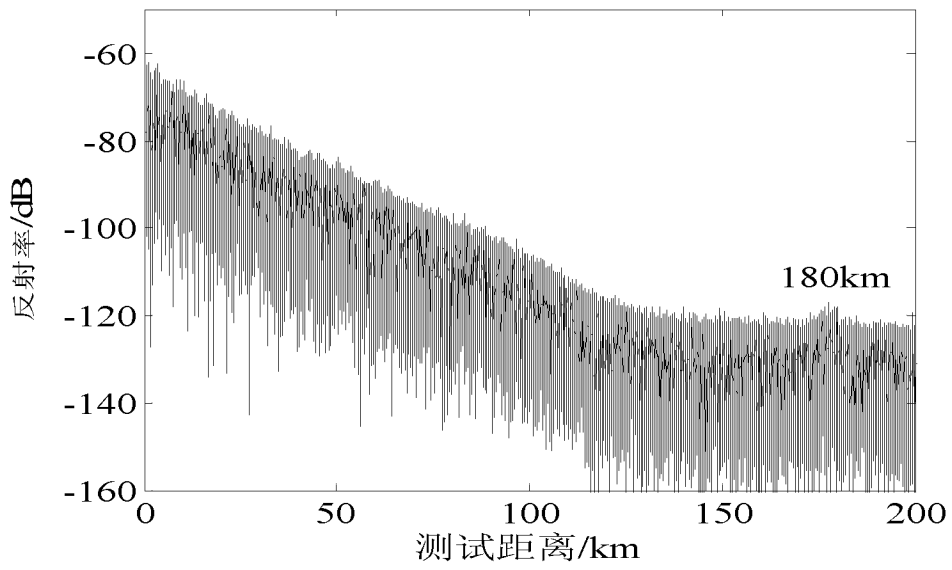


图 4

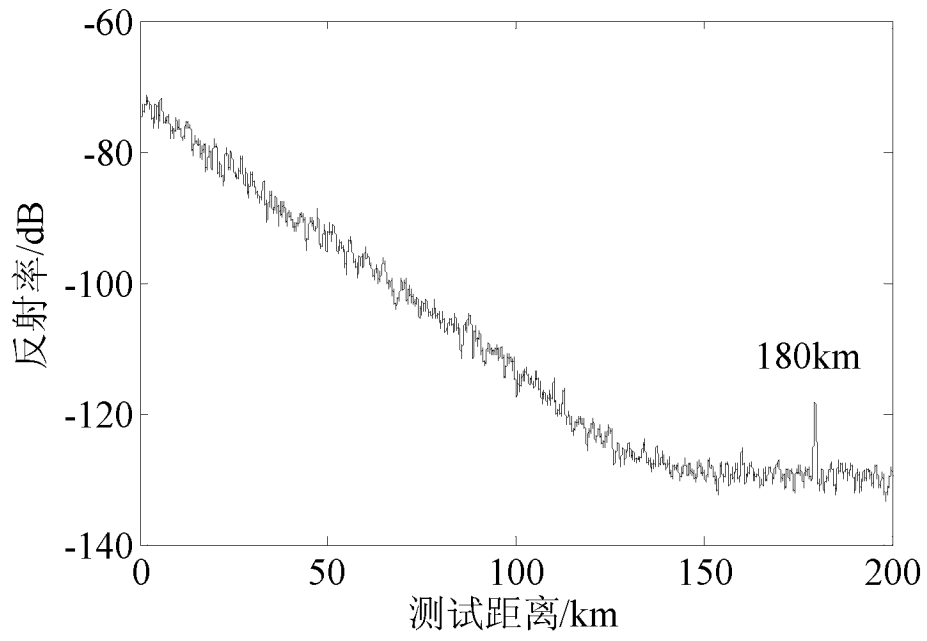


图 5