



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112461353 A

(43) 申请公布日 2021.03.09

(21) 申请号 202011476527.3

(22) 申请日 2020.12.15

(71) 申请人 成都陆迪盛华科技有限公司

地址 610000 四川省成都市成华区二环路
东二段508号万科华茂广场708-710、
712室

(72) 发明人 张舒曼 梅建云

(74) 专利代理机构 成都天嘉专利事务所(普通
合伙) 51211

代理人 苏丹

(51) Int.Cl.

G01H 9/00 (2006.01)

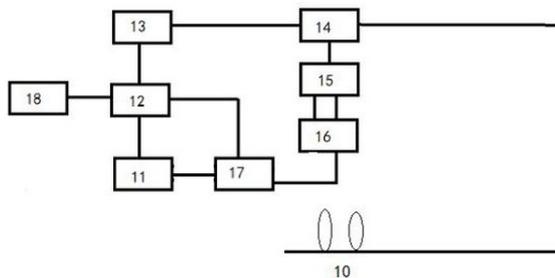
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码装置及方法

(57) 摘要

本申请涉及光纤传感技术领域,具体为一种在光放大下分布式光纤温度传感的编码装置及方法,其方法包括步骤一:编码调制器预存 $2N+1$ 阶编码矩阵 S ;步骤二:编码调制器依次输出矩阵 S 每行编码调制激光脉冲,传感光纤上返回背散射光经过光纤环形器进入光纤偏振分束器,获得背散射瑞利光 O 光和 E 光,编码调制器依次输出矩阵 S 每行编码时输出同步电脉冲开启 A/D 二路同步采集背散射瑞利 O 光和 E 光,以矩阵为单位周期可多次触发进行重复采集。步骤三:判断是否有断纤事件。步骤四:分析较大振动幅度的振动结构,判断这些点振动行为。本发明与传统编码比较,编码矩阵容易产生,奇数阶比指数阶更容易设置,跨度不大。编码无连续码,传感器稳定性好。



1. 一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码装置,其特征在于:包括半导体激光器及驱动模块(18),编码调制器(12),光纤放大器(13),光纤环形器(14),光纤偏振分束器(15),传感光纤(10),APD探测器模块(16),A/D模块(17)和工控机(11);所述工控机(11)与编码调制器(12)连接,且工控机(11)与编码调制器(12)分别与A/D模块(17)相连,半导体激光器及驱动模块(18)与编码调制器(12)光纤连接,编码调制器(12)与光纤放大器(13)光纤连接,光纤放大器(13)与光纤环形器(14)输入端连接,光纤环形器(14)输出端与传感光纤(10)连接,光纤环形器(14)返回端与光纤偏振分束器(15)连接,光纤偏振分束器(15)与APD探测器模块(16)相连,APD探测器模块(16)与A/D模块(17)相连。

2. 根据权利要求1所述的一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码装置,其特征在于:所述工控机(11)与编码调制器(12)相互之间通过USB接口进行连接,工控机(11)和A/D模块(17)通过PCIex16接口相连,编码调制器(12)同步电信号通过电线和A/D模块(17)外同步口连接。

3. 根据权利要求1所述的一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码装置,其特征在于:半导体激光器及驱动模块(18)选用超窄线宽DFB半导体激光器驱动模块,编码调制器(12)以半导体光放大器为核心器件的编码调制器,光纤放大器(13)选用掺铒光纤放大器,光纤环形器(14)选用单模光纤1X2光纤环形器,光纤偏振分束器(15)选用单模光纤1X2光纤偏振分束器。

4. 一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤一:编码调制器(12)预存 $2N+1$ 阶编码矩阵 $S = (a_{ij})$,其中 N 为自然数,当 $i = j$ 时, $a_{ij} = 0$,当 $i > j$, $i-j$ 是偶数时 $a_{ij} = 0$,当 $i > j$, $i-j$ 是奇数时 $a_{ij} = 1$,当 $i < j$, $j-i$ 是偶数时 $a_{ij} = 1$,当 $i < j$, $j-i$ 是奇数时 $a_{ij} = 0$,这样每行有 $N-1$ 个“1”,每个“1”被“0”隔开,没有连续码,其中 a 为矩阵元素, i 和 j 元素下标,其中 a 为矩阵元素, i 表示矩阵 S 中第 i 行, j 表示矩阵 S 中第 j 列, $0 < i, j < 2N+1$;工控机(11)执行程序初始化时根据设置的激光脉宽 n 纳秒、平均次数 m 和测量长度 L 米,产生最大奇数阶 $2N+1 < 10L/n$,最小测量时间 $(2N+1)mL/10$ 纳秒,这是单脉冲测量时间的 $2N+1$ 倍, S 的可逆阵 $S^{-1} = (b_{ij})$,当 $i = j$ 或 $i > j$, $j = i-1$ 或 $i = 0$, $j = 2N$ 时 $b_{ij} = (1-N)/N$,不满足上述条件时 $b_{ij} = 1/N$; b 为 S 的逆矩阵;

步骤二:工控机(11)执行测量程序时,对编码调制器(12)发出启动信号,编码调制器(12)依次输出矩阵 S 每行编码调制激光脉冲注入光纤放大器(13)、光纤环形器(14)和传感光纤(10),传感光纤(10)上返回背散射光经过光纤环形器(14)进入光纤偏振分束器(15),获得背散射瑞利光 O 光和 E 光,再到对应的APD探测器模块(16),APD后接A/D模块(17),A/D模块(17)与工控机(11)相连;编码调制器(12)依次输出矩阵 S 每行编码时输出同步电脉冲开启A/D二路同步采集背散射瑞利 O 光和 E 光信息存储于A/D缓冲区中,流水线方式传入工控机(11)内存中,以矩阵为单位周期可多次触发进行重复采集;

步骤三:工控机(11)执行程序获取背散射瑞利 O 光和 E 光信息时,计算背向散射的瑞利光信息时,利用解出传感光纤上每点的背散射瑞利光信息,并判断是否有断纤事件,如有装置就要报警,如否则进行步骤四;

步骤四:调整光路和电路参数使干涉初始相位差变化量很小,瑞利背散射光信号和外界振动在 $(0, 2\pi)$ 内有线性关系,设置阈值,超过阈值的在时刻可能有振动,再对这些振动点排序,分析较大振动幅度的振动结构,判断这些点振动行为。

5. 根据权利要求4所述的一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码方法,其特征在在于:用 $2N+1$ 阶S矩阵编码作为探测信号的光纤振动传感器,每次发射编码包括了 N 个光脉冲,其测量曲线的均方误差为 $\frac{\sigma^2}{N^2}$,可得使用阶数为 $2N+1$ 的S矩阵编码作为探测信号后,传感器检测信噪比与传统单脉冲经过 $2N+1$ 次普通累加平均处理后得到的信噪比改善,即编码增益CG:

$$CG = \sqrt{\frac{\frac{\sigma^2}{2N+1}}{\frac{\sigma^2}{N^2}}} = \frac{N}{\sqrt{2N+1}} \quad (1)$$

其中 σ 表示任一过程参数的平均值的分布或离散程度。

6. 根据权利要求4所述的一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码方法,其特征在在于:步骤四中,外界的振动作用于光纤时,引起光纤中纤芯发生形变,使纤芯折射率与长度发生纳变,导致光纤中光相位发生相应变化;将窄线宽光脉冲注入光纤中作为探测信号,在光脉冲沿着光纤传播时,由于光子和纤芯晶格发生作用,不断地向后传输瑞利散射光,通过光耦合器和高速响应的光电检测器检测到输入端的后向散射光的大小和到达时间,就能测量出光纤的振动分布特性 $f(t)$ 、长度 L ,在光纤里入射光强 I_0 的背散射瑞利光强 I_r :

$$I_r = I_0 \zeta \Delta \exp[-2\alpha L] \left(1 + \sum_{\lambda} \cos \delta_{\lambda} \cos(f(t) + d\theta)\right) \quad (2)$$

ζ 是散射系数, Δ 是光放大增益, α 是损耗系数, δ_{λ} 是偏振角度, $d\theta$ 是干涉的初始相位差;

调整光路和电路参数使 $d\theta$ 变化量很小, I_r 和 $f(t)$ 在 $(0, 2\pi)$ 内有线性关系,设置阈值,超过阈值的在时刻可能有振动,再对这些振动点排序,分析较大振动幅度的振动结构,判断这些点振动行为。

一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码装置及方法

技术领域

[0001] 本申请涉及光纤传感技术领域,具体为一种在光放大下分布式光纤温度传感的编码装置及方法。

背景技术

[0002] 分布光纤振动传感装置是一种用于实时测量空间振动场分布的传感器,在传感器中光纤既是传输媒体也是传感媒体。利用光纤的相位敏感效应,光纤所处空间各点振动场调制了光纤中传输的光载波,经解调后,将空间振动场的信息实时显示出来。利用光纤的光时域的反射(optical time domain reflection简称OTDR)技术,由光纤中光的传播速度和背向光回波的时间,对所测振动点定位。这样分布式光纤振动传感可以在线实时预报现场的振动和振动变化的取向,光纤传输光信号并不通电,因此具有很强的抗电磁干扰性能,是一种本质安全型的线型振动探测器,已在安防和地质灾害监测等领域成功地应用。

[0003] 高空间分辨率和高动态范围的分布光纤振动传感在光纤测量系统中具有十分重要的作用,可以提高光纤的振动测量精度和测量长度,为光纤系统中的振动预警精确定位提供了有力保障。

[0004] 高空间分辨率受光脉冲时域宽度、光接收机带宽、A/D采样率的影响。动态范围受注入光脉冲的峰值功率、脉冲时域宽度、光在光纤中的传输损耗、光接收机损耗的影响。可以看出同时得到大的高空间分辨率和高动态范围是不可能的,二者不可兼得。

[0005] 运用现代数字信号处理技术(即脉冲编码的方式),将注入光脉冲信号调制成编码光脉冲信号作为分布光纤振动传感器的探测信号时,它的入纤光功率得到了增加,而此种光功率的增加方式并不是利用传统的增加脉冲宽度来得到的,即脉冲宽度仍保持不变。入纤光功率的增加会使分布光纤振动传感器的动态范围得到提高,而脉冲宽度保持不变即空间分辨率保持不变。

[0006] 现在的分布光纤振动传感通常用光纤窄线宽激光器做种子光源,光峰值功率较弱,需直连光纤放大器来满足激发的相位敏感效应获得较高信噪比的背散射瑞利信号。在这种情况下,固定脉宽的单激光脉冲得到的背散射瑞利信号稳定性非常好。

[0007] 在工程实际中使用的编码方式至今有辛普森编码(Simplex code)、格雷编码(Golay code)和互补相关标准正交序列编码(Complementary Correlated Prometheus Orthonormal Sequence,CCPONS)。辛普森编码矩阵由Hadamard矩阵去除第一行和第一列转换而成,阶数 $N=2^m-1$ (m 是自然数),格雷编码和互补相关标准正交序列编码矩阵按树型追加法转换而成,阶数 $N=2^m$ (m 是自然数)。它们的编码都存在连续码(参考中国发明专利CN201210170373),在直连光放大情况下,单码和连续码产生的入射光纤激光功率不是简单的线性关系,编码解码得到的背散射瑞利信号稳定性差。

发明内容

[0008] 本发明的目的是提供一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码装置及方法,由

一组单极性奇数阶编码矩阵完成(单极性脉冲指发射0或1,而不是-1或1),提高传感装置的稳定性,高动态范围和高空间分辨率,获得稳定的、更高的振动测量精度和测量长度。

[0009] 为实现上述技术效果,本申请具体方案如下:

[0010] 本发明采用瑞利背散射光解调分布式光纤振动传感,具体方案如下:

[0011] 一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码装置,包括半导体激光器及驱动模块,编码调制器,光纤放大器,光纤环形器,光纤偏振分束器,传感光纤,APD探测器模块,A/D模块和工控机;所述工控机与编码调制器连接,且工控机与编码调制器分别与A/D模块相连,半导体激光器及驱动模块与编码调制器光纤连接,编码调制器与光纤放大器光纤连接,光纤放大器与光纤环形器输入端连接,光纤环形器输出端与传感光纤连接,光纤环形器返回端与光纤偏振分束器连接,光纤偏振分束器与APD探测器模块相连,APD探测器模块与A/D模块相连。

[0012] 进一步地,所述工控机与编码调制器相互之间通过USB接口进行连接,工控机和A/D模块通过PCIex16接口相连,编码调制器同步电信号通过电线和A/D模块外同步口连接。

[0013] 进一步地,半导体激光器及驱动模块选用超窄线宽DFB半导体激光器驱动模块,编码调制器以半导体光放大器为核心器件的编码调制器,光纤放大器选用掺铒光纤放大器,光纤环形器选用单模光纤1X2光纤环形器,光纤偏振分束器选用单模光纤1X2光纤偏振分束器,APD探测器模块选用厦门彼格APD1550-100M—40dBm,A/D模块选用北京坤驰QT1144.x,工控机选用研华YT70系列。

[0014] 一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码方法,包括如下步骤:

[0015] 步骤一:编码调制器预存 $2N+1$ 阶编码矩阵 $S = (a_{ij})$,其中 N 为自然数,当 $i = j$ 时, $a_{ij} = 0$,当 $i > j$, $i-j$ 是偶数时 $a_{ij} = 0$,当 $i > j$, $i-j$ 是奇数时 $a_{ij} = 1$,当 $i < j$, $j-i$ 是偶数时 $a_{ij} = 1$,当 $i < j$, $j-i$ 是奇数时 $a_{ij} = 0$,这样每行有 $N-1$ 个“1”,每个“1”被“0”隔开,没有连续码,其中 a 为矩阵元素, i 和 j 元素下标,其中 a 为矩阵元素, i 表示矩阵 S 中第 i 行, j 表示矩阵 S 中第 j 列, $0 < i, j < 2N+1$;工控机执行程序初始化时根据设置的激光脉宽 n 纳秒、平均次数 m 和测量长度 L 米,产生最大奇数阶 $2N+1 < 10L/n$,最小测量时间 $(2N+1)mL/10$ 纳秒,这是单脉冲测量时间的 $2N+1$ 倍, S 的可逆阵 $S^{-1} = (b_{ij})$,当 $i = j$ 或 $i > j$, $j = i-1$ 或 $i = 0$, $j = 2N$ 时 $b_{ij} = (1-N)/N$,不满足上述条件时 $b_{ij} = 1/N$; b 为 S 的逆矩阵;

[0016] 步骤二:工控机执行测量程序时,对编码调制器发出启动信号,编码调制器依次输出矩阵 S 每行编码调制激光脉冲注入光纤放大器、光纤环形器和传感光纤,传感光纤上返回背散射光经过光纤环形器进入光纤偏振分束器,获得背散射瑞利光 O 光和 E 光,再到对应的APD探测器模块,APD后接A/D模块,A/D模块与工控机相连;编码调制器依次输出矩阵 S 每行编码时输出同步电脉冲开启A/D二路同步采集背散射瑞利 O 光和 E 光信息存储于A/D缓冲区中,流水线方式传入工控机内存中,以矩阵为单位周期可多次触发进行重复采集。

[0017] 步骤三:工控机执行程序获取背散射瑞利 O 光和 E 光信息时,计算背向散射的瑞利光信息(O 光和 E 光平方和再开方)时,利用解出传感光纤上每点的背散射瑞利光信息,并判断是否有断纤事件,如有装置就要报警,如否则进行步骤四。

[0018] 步骤四:调整光路和电路参数使干涉初始相位差变化量很小,瑞利背散射光信号和外界振动在 $(0, 2\pi)$ 内有线性关系,设置阈值,超过阈值的在时刻可能有振动,再对这些振动点排序,分析较大振动幅度的振动结构,判断这些点振动行为。

[0019] 编码解码对比一般意义上的数字平均的信噪比比较：

[0020] 传统单脉冲光纤振动传感器累加平均测量 $2N+1$ 次后得到的曲线的均方误差为 $\frac{\sigma^2}{2N+1}$ ，而用 $2N+1$ 阶S矩阵编码作为探测信号的光纤振动传感器，每次发射编码包括了 N 个光

脉冲，而不是1个光脉冲，其测量曲线的均方误差为 $\frac{\sigma^2}{N^2}$ ，由此可以得使用阶数为 $2N+1$ 的S矩阵编码作为探测信号后，传感器检测信噪比与传统单脉冲经过 $2N+1$ 次普通累加平均处理后得到的信噪比改善，即编码增益CG：

$$[0021] \quad CG = \sqrt{\frac{\frac{\sigma^2}{2N+1}}{\frac{\sigma^2}{N^2}}} = \frac{N}{\sqrt{2N+1}} \quad (1)$$

[0022] 其中 σ 表示任一过程参数的平均值的分布或离散程度。

[0023] 此编码当阶数大于5的奇数阶时产生好的益处。

[0024] 本发明的编码矩阵很容易产生。

[0025] 分布式光纤振动传感原理：

[0026] 外界的振动作用于光纤时，引起光纤中纤芯发生形变，使纤芯折射率与长度发生纳变，导致光纤中光相位发生相应变化；将窄线宽光脉冲注入光纤中作为探测信号，在光脉冲沿着光纤传播时，由于光子和纤芯晶格发生作用，不断地向后传输瑞利散射光，通过合适的光耦合器和高速响应的光电探测器检测到输入端的后向散射光的大小和到达时间，就能测量出光纤的振动分布特性 $f(t)$ 、长度 L ，在光纤里入射光强 I_0 的背散射瑞利光强 I_r ：

$$[0027] \quad I_r = I_0 \zeta \Delta \exp[-2\alpha L] \left(1 + \sum_{\lambda} \cos \delta_{\lambda} \cos(f(t) + d\theta)\right) \quad (2)$$

[0028] ζ 是散射系数， Δ 是光放大增益， α 是损耗系数， δ_{λ} 是偏振角度， $d\theta$ 是干涉的初始相位差。

[0029] 调整光路和电路参数使 $d\theta$ 变化量很小， I_r 和 $f(t)$ 在 $(0, 2\pi)$ 内有线性关系，设置阈值，超过阈值的在时刻可能有振动，再对这些振动点排序，分析较大振动幅度的振动结构，判断这些点振动行为。

[0030] 本发明的有益效果在于：

[0031] 1、与传统的三种Simplex, Golay code, CCPONS编码比较，编码矩阵容易产生，奇数阶比指数阶更容易设置，跨度不大。

[0032] 2、编码无连续码，在光放大下编码脉冲的背散射信号与单脉冲背散射信号有线性关系，传感器稳定性好。

[0033] 3、编码脉冲比单脉冲产生更高的增益，传感器信噪比得到改善，提高了传感器的动态范围和空间分辨率。

附图说明

[0034] 图1是一种在光放大下分布式光纤振动传感的装置示意图。

[0035] 附图中：10-传感光纤，11-工控机，12-编码调制器，13-光纤放大器，14-光纤环形器，15-光纤偏振分束器，16-APD探测器模块，17-A/D模块，18-半导体激光器及驱动模块。

具体实施方式

[0036] 以下将结合附图对本发明各实施例的技术方案进行清楚、完整的描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所得到的所有其它实施例,都属于本发明所保护的范围。

[0037] 实施例1

[0038] 参照图1,本发明采用的一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码方法及装置,该装置包括半导体激光器及驱动模块18,编码调制器12,光纤放大器13,光纤环形器14,光纤偏振分束器15,传感光纤10,APD探测器模块16,A/D模块17和工控机11。工控机11与编码调制器12经USB连接和A/D模块17PCIex16连接,半导体激光器及驱动模块18与编码调制器12光纤连接,编码调制器12与光纤放大器13光纤连接,光纤放大器13与光纤环形器14输入端连接,光纤环形器14输出端与传感光纤10连接,光纤环形器14返回端与光纤偏振分束器15连接,光纤偏振分束器15与APD探测器模块16相连,APD探测器模块16与A/D模块17相连。本实施例实现距离10km的振动场测量,选用单模光纤传感,激光脉宽10纳秒,16位100MHzA/D,实现9阶编码,重复次数1千次,编码矩阵 $S = \{(0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1), (1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0), (0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1), (1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0), (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1)\}$ 。

[0039] 工控机11执行测量程序时,对编码调制器12发出启动信号,编码调制器12依次输出矩阵S每行编码调制激光脉冲10纳秒脉宽和峰值功率5mW注入光纤放大器13、光纤放大器13增益20dbm,注入光纤环形器14和传感光纤10的峰值功率达4X500mW,传感光纤10上返回背散射光经过光纤环形器14进入光纤偏振分束器15,分两路得背散射瑞利O光和背散射瑞利E光,再到对应的APD探测器模块16,APD后接A/D模块17,A/D模块17与工控机11相连。编码调制器12依次输出矩阵S每行编码时输出同步电脉冲开启A/D同步采集背散射瑞利O光和E光信息存储于A/D缓冲区中,流水线方式传入工控机11内存中,以矩阵为单位周期可1千次触发进行采集。这里100MHzA/D采样频率与10ns光脉冲对齐,当探测器APD带宽大于100MHz时,可获得传感光纤空间分辨率1m,当采样和计算双线程运行,每次测量时间最小0.9秒。

[0040] 实施例2

[0041] 一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码装置,包括半导体激光器及驱动模块18,编码调制器12,光纤放大器13,光纤环形器14,光纤偏振分束器15,传感光纤10,APD探测器模块16,A/D模块17和工控机11;所述工控机11与编码调制器12连接,且工控机11与编码调制器12分别与A/D模块17相连,半导体激光器及驱动模块18与编码调制器12光纤连接,编码调制器12与光纤放大器13光纤连接,光纤放大器13与光纤环形器14输入端连接,光纤环形器14输出端与传感光纤10连接,光纤环形器14返回端与光纤偏振分束器15连接,光纤偏振分束器15与APD探测器模块16相连,APD探测器模块16与A/D模块17相连。

[0042] 进一步地,所述工控机11与编码调制器12相互之间通过USB接口进行连接,工控机11和A/D模块17通过PCIex16接口相连,编码调制器12同步电信号通过电线和A/D模块17外同步口连接。

[0043] 进一步地,半导体激光器及驱动模块18选用超窄线宽DFB半导体激光器驱动模块,编码调制器12以半导体光放大器为核心器件的编码调制器,光纤放大器13选用掺铒光纤放大器,光纤环形器14选用单模光纤1X2光纤环形器,光纤偏振分束器15选用单模光纤1X2光

纤偏振分束器,APD探测器模块16选用厦门彼格APD1550-100M—40dBm,A/D模块17选用北京坤驰QT1144.x,工控机11选用研华YT70系列。

[0044] 一种在光放大下分布式光纤振动传感的编码方法,包括如下步骤:

[0045] 步骤一:编码调制器12预存 $2N+1$ 阶编码矩阵 $S=(a_{ij})$,其中 N 为自然数,当 $i=j$ 时, $a_{ij}=0$,当 $i>j$, $i-j$ 是偶数时 $a_{ij}=0$,当 $i>j$, $i-j$ 是奇数时 $a_{ij}=1$,当 $i<j$, $j-i$ 是偶数时 $a_{ij}=1$,当 $i<j$, $j-i$ 是奇数时 $a_{ij}=0$,这样每行有 $N-1$ 个“1”,每个“1”被“0”隔开,没有连续码,其中 a 为矩阵元素, i 和 j 元素下标,其中 a 为矩阵元素, i 表示矩阵 S 中第 i 行, j 表示矩阵 S 中第 j 列, $0<=i,j<2N+1$;工控机11执行程序初始化时根据设置的激光脉宽 n 纳秒、平均次数 m 和测量长度 L 米,产生最大奇数阶 $2N+1<10L/n$,最小测量时间 $(2N+1)mL/10$ 纳秒,这是单脉冲测量时间的 $2N+1$ 倍, S 的可逆阵 $S^{-1}=(b_{ij})$,当 $i=j$ 或 $i>j$, $j=i-1$ 或 $i=0$, $j=2N$ 时 $b_{ij}=(1-N)/N$,不满足上述条件时 $b_{ij}=1/N$; b 为 S 的逆矩阵;

[0046] 步骤二:工控机11执行测量程序时,对编码调制器12发出启动信号,编码调制器12依次输出矩阵 S 每行编码调制激光脉冲注入光纤放大器13、光纤环形器14和传感光纤10,传感光纤10上返回背散射光经过光纤环形器14进入光纤偏振分束器15,获得背散射瑞利光 O 光和 E 光,再到对应的APD探测器模块16,APD后接A/D模块17,A/D模块17与工控机11相连;编码调制器12依次输出矩阵 S 每行编码时输出同步电脉冲开启A/D二路同步采集背散射瑞利 O 光和 E 光信息存储于A/D缓冲区中,流水线方式传入工控机11内存中,以矩阵为单位周期可多次触发进行重复采集。

[0047] 步骤三:工控机11执行程序获取背散射瑞利 O 光和 E 光信息时,计算背向散射的瑞利光信息(O 光和 E 光平方和再开方)时,利用解出传感光纤上每点的背散射瑞利光信息,并判断是否有断纤事件,如有装置就要报警,如否则进行步骤四。

[0048] 步骤四:调整光路和电路参数使干涉初始相位差变化量很小,瑞利背散射光信号和外界振动在 $(0,2\pi)$ 内有线性关系,设置阈值,超过阈值的在时刻可能有振动,再对这些振动点排序,分析较大振动幅度的振动结构,判断这些点振动行为。

[0049] 编码解码对比一般意义上的数字平均的信噪比比较:

[0050] 传统单脉冲光纤振动传感器累加平均测量 $2N+1$ 次后得到的曲线的均方误差为 $\frac{\sigma^2}{2N+1}$,而用 $2N+1$ 阶 S 矩阵编码作为探测信号的光纤振动传感器,每次发射编码包括了 N 个光脉冲,而不是1个光脉冲,其测量曲线的均方误差为 $\frac{\sigma^2}{N^2}$,由此可以得使用阶数为 $2N+1$ 的 S 矩阵编码作为探测信号后,传感器检测信噪比与传统单脉冲经过 $2N+1$ 次普通累加平均处理后得到的信噪比改善,即编码增益 CG :

$$[0051] \quad CG = \sqrt{\frac{\frac{\sigma^2}{2N+1}}{\frac{\sigma^2}{N^2}}} = \frac{N}{\sqrt{2N+1}} \quad (1)$$

[0052] 其中 σ 表示任一过程参数的平均值的分布或离散程度。

[0053] 此编码当阶数大于5的奇数阶时产生好的益处。

[0054] 本发明的编码矩阵很容易产生。

[0055] 分布式光纤振动传感原理:

[0056] 外界的振动作用于光纤时,引起光纤中纤芯发生形变,使纤芯折射率与长度发生纳变,导致光纤中光相位发生相应变化;将窄线宽光脉冲注入光纤中作为探测信号,在光脉冲沿着光纤传播时,由于光子和纤芯晶格发生作用,不断地向后传输瑞利散射光,通过合适的光耦合器和高速响应的光电检测器检测到输入端的后向散射光的大小和到达时间,就能测量出光纤的振动分布特性 $f(t)$ 、长度 L ,在光纤里入射光强 I_0 的背散射瑞利光强 I_r :

$$[0057] \quad I_r = I_0 \zeta \Delta \exp[-2\alpha L] \left(1 + \sum_{\lambda} \cos \delta_{\lambda} \cos(f(t) + d\theta)\right) \quad (2)$$

[0058] ζ 是散射系数, Δ 是光放大增益, α 是损耗系数, δ_{λ} 是偏振角度, $d\theta$ 是干涉的初始相位差。

[0059] 调整光路和电路参数使 $d\theta$ 变化量很小, I_r 和 $f(t)$ 在 $(0, 2\pi)$ 内有线性关系,设置阈值,超过阈值的在时刻可能有振动,再对这些振动点排序,分析较大振动幅度的振动结构,判断这些点振动行为。

[0060] 本发明与传统的三种Simplex, Golay code, CCPONS编码比较,编码矩阵容易产生,奇数阶比指数阶更容易设置,跨度不大。编码无连续码,在光放大下编码脉冲的背散射信号与单脉冲背散射信号有线性关系,传感器稳定性好。编码脉冲比单脉冲产生更高的增益,传感器信噪比得到改善,提高了传感器的动态范围和空间分辨率。

[0061] 本领域的普通技术人员将会意识到,这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理,应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。本领域的普通技术人员可以根据本发明公开的这些技术启示做出各种不脱离本发明实质的其它各种具体变形和组合,这些变形和组合仍然在本发明的保护范围内。

