



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110375779 B

(45) 授权公告日 2021.06.04

(21) 申请号 201910688206.0

(22) 申请日 2019.07.29

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110375779 A

(43) 申请公布日 2019.10.25

(73) 专利权人 武汉昊衡科技有限公司  
地址 430074 湖北省武汉市东湖新技术开发区东信路SBI创业街1栋9层02室

(72) 发明人 王辉文 张晓磊 温永强 张晓乔

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102

代理人 许美红

(51) Int. Cl.  
G01D 5/353 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 6160826 A, 2000.12.12

US 4789240 A, 1988.12.06  
US 2007051882 A1, 2007.03.08  
US 2015346053 A1, 2015.12.03  
CN 107576341 A, 2018.01.12  
CN 208672199 U, 2019.03.29  
CN 107328429 A, 2017.11.07  
CN 204142467 U, 2015.02.04  
CN 107515017 A, 2017.12.26  
CN 102420650 A, 2012.04.18

张超等. 基于光频域反射计的光纤分布式传感中光谱分辨率提升技术.《光学学报》.2017, 第37卷(第8期),

叶蕾. 基于窄带光纤激光器的光频域反射计研究.《光纤与电缆及其应用技术》.2013, (第5期),

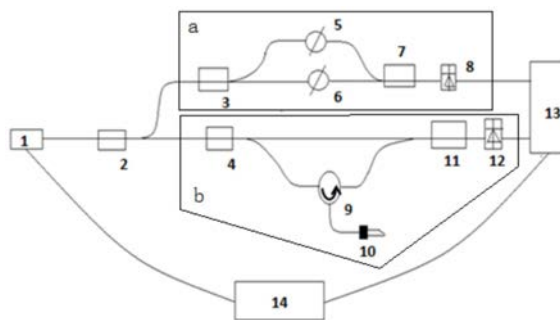
审查员 李亚萍

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称  
提高OFDR频域采样率的装置和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种提高OFDR频域采样率的装置和方法。该装置包括扫频激光器、光纤耦合器、测量模块、辅助模块、数据采集卡、计算机。测量模块中,参考臂信号与测量臂发生拍频干涉,产生的拍频信号由辅助模块中产生的外部时钟信号控制数据采集卡等频域采集。根据测量长度大小,划分N次采样,在辅助模块干涉仪两臂频差固定的条件下,利用移频器调节,依次将采样信号频率平移进行数据采集。将多次采集数据叠加后进行FFT运算,得到最终结果。该方法提高了OFDR频域采样率,有利于扩大OFDR测量范围,且测量范围能按用户需要进行调整,方法便利,结果精准,能满足各类测量环境的需求。



1. 一种提高OFDR频域采样率的装置,其特征在于,该装置包括扫频激光器、第一光纤耦合器、测量模块、辅助模块、数据采集卡和计算机;其中:

所述扫频激光器,用于发出波长周期性变化的线性扫频光;

所述第一光纤耦合器将线性扫频光分为两束,分别进入测量模块和辅助模块;

所述测量模块用于测量信号的获取,产生拍频干涉信号;

所述辅助模块用于外部时钟信号的产生,触发数据采集卡等频域采样;该辅助模块包括并联的第一频移器和第二频移器,两个移频器的频差 $\Delta v_0$ 固定,该频差 $\Delta v_0$ 为当前测量长度下的采样频率间隔;每次数据采集卡采样后,两个频移器均频移 $\Delta v_0$ ,再触发数据采集卡进行下一次数据采集;

所述数据采集卡在外部时钟触发下对测量模块输出的拍频干涉信号进行等频域采样;

所述计算机用于对采集到的信号进行运算处理。

2. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述测量模块包括第二光纤耦合器、光纤环行器、待测器件、第三光纤耦合器、第一光电探测器;光经过第二耦合器分为两路,一路作为参考信号直接进入第三光纤耦合器,另一路经由环行器进入待测器件,反射回来的光与参考信号在第三耦合器处发生拍频干涉,拍频干涉信号由第一光电探测器探测并转化为电信号。

3. 如权利要求2所述的装置,其特征在于,所述辅助模块还包括第四光纤耦合器、第五光纤耦合器、第二光电探测器;第一频移器和第二频移器并联在第四光纤耦合器和第五光纤耦合器之间;第四耦合器出射的光分别进入第一移频器、第二移频器;由于两移频器存在频差,产生拍频信号,该拍频信号被第二光电探测器探测,并作为外部时钟触发数据采集卡进行等频域采样。

4. 如权利要求3所述的装置,其特征在于,第一光纤耦合器的分光比为90:10,90%的激光进入测量模块,10%的激光进入辅助模块;第二、第三、第四、第五光纤耦合器的分光比为50:50。

5. 如权利要求3所述的装置,其特征在于,第一移频器和第二移频器为可实现移频功能的器件。

6. 如权利要求3所述的装置,其特征在于,第一移频器和第二移频器为电光调制器或者声光调制器。

7. 一种基于权利要求1-6中任一项所述的提高OFDR频域采样率的装置的数据采集方法,其特征在于,包括以下步骤:

a. 根据测量长度大小,将整个过程划分为N次采样;其中 $\Delta v$ 为两移频器的频差, $\Delta v_0$ 为当前测量长度下的采样频率间隔;

b. 进行第一次数据采集,得到数据N1 ( $a_1, a_2, a_3 \dots$ );

c. 将两移频器频移 $\Delta v_0$ 进行数据采集,得到数据N2 ( $b_1, b_2, b_3 \dots$ );

d. 重复N次,得到N组数据;

e. 将N组数据进行叠加,得到( $a_1, b_1, c_1 \dots, a_2, b_2, c_2 \dots, \dots$ ),作为最终的采集数据。

## 提高OFDR频域采样率的装置和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光纤传感技术领域,更具体而言,涉及一种提高OFDR频域采样率的装置和频域采样方法。

### 背景技术

[0002] 作为分布式光纤传感领域中最有前景的一项技术,光频域反射测量技术的研究和应用一直是广泛关注的热点问题。基于频域分析和光外差技术相结合,相较于传统的OTDR技术,OFDR技术拥有更高的分辨率和更大的动态范围,在光通信测量,工程、医疗领域应变、温度传感等方面具有广阔的应用前景。

[0003] OFDR系统使用的是扫频光源。受温度变化、器件振动等因素的影响,会导致输出激光谱线发生变化,波长不再随时间呈周期性变化而出现一定的抖动,称为光源非线性效应。这种现象会限制OFDR的空间分辨率,在实际系统中需要消除。通常在测量主干涉仪外附加一个辅助干涉仪产生拍频信号,作为数据采集的时钟信号,触发主干涉仪等频域间隔采样,将等时域采样转化为等频域采样,从而消除光源非线性的影响。由采样定理可知,OFDR系统可探测的最大频率由辅助干涉仪的臂差决定,最大可测范围是辅助干涉仪臂差的一半。

[0004] 通常,在OFDR系统辅助干涉仪臂差明确的情况下,系统可测距离是固定的。若想要扩大或缩小测量范围,则必须重新制作、更换辅助干涉仪,否则就会出现超量程不可测或以大量程系统测量短距离光纤导致测量时间过长、速度慢等问题。并且,由于OFDR的空间分辨率通常在微米级别,长距离测量时单次采集数据点可达几千万,采样频率间隔小,常规数据采集卡和计算机难以满足数据采集和运算处理的要求,必须使用高性能模块,这样一来,就会加大OFDR系统的成本。因此,简化辅助干涉仪频繁更换的复杂操作,有效提高OFDR系统的测量范围都是亟待解决的问题。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提出一种提高OFDR频域采样率的装置和方法,用于实现OFDR测量距离可调,有效扩大OFDR测量范围。

[0006] 本发明采用的技术方案如下:

[0007] 提高OFDR频域采样率的装置,其特征在于,该装置包括扫频激光器、第一光纤耦合器、测量模块、辅助模块、数据采集卡和计算机;其中:

[0008] 所述扫频激光器,用于发出波长周期性变化的线性扫频光;

[0009] 所述第一光纤耦合器将线性扫频光分为两束,分别进入测量模块和辅助模块;

[0010] 所述测量模块用于测量信号的获取,产生拍频干涉信号;

[0011] 所述辅助模块用于外部时钟信号的产生,触发数据采集卡等频域采样;该辅助模块包括并联的第一频移器和第二频移器,两个移频器的频差 $\Delta v_0$ 固定,该频差 $\Delta v_0$ 为当前测量长度下的采样频率间隔;每次数据采集卡采样后,两个频移器均频移 $\Delta v_0$ ,再触发数据采集卡进行下一次数据采集;

[0012] 所述数据采集卡在外部时钟触发下对测量模块输出的拍频干涉信号进行等频域采样；

[0013] 所述计算机用于对采集到的信号进行运算处理。

[0014] 接上述技术方案，所述测量模块包括第二光纤耦合器、光纤环行器、待测器件、第三光纤耦合器、第一光电探测器；光经过第二耦合器分为两路，一路作为参考信号直接进入第三光纤耦合器，另一路经由环行器进入待测器件，反射回来的光与参考信号在第三耦合器处发生拍频干涉，拍频干涉信号由第一光电探测器探测并转化为电信号。

[0015] 接上述技术方案，所述辅助模块还包括第四光纤耦合器、第五光纤耦合器、第二光电探测器；第一频移器和第二频移器并联在第四光纤耦合器和第五光纤耦合器之间；第四耦合器出射的光分别进入第一移频器、第二移频器；由于两移频器存在频差，产生拍频信号，该拍频信号被第二光电探测器探测，并作为外部时钟触发数据采集卡进行等频域采样。

[0016] 接上述技术方案，第一光纤耦合器的分光比为90:10，90%的激光进入测量模块，10%的激光进入辅助模块；第二、第三、第四、第五光纤耦合器的分光比为50:50。

[0017] 接上述技术方案，第一移频器和第二移频器为可实现移频功能的器件。

[0018] 接上述技术方案，第一移频器和第二移频器为电光调制器或者声光调制器。

[0019] 本发明还提供了一种基于上述提高OFDR频域采样率的装置的数据采集方法，其特征在于，包括以下步骤：

[0020] a. 根据测量长度大小，将整个过程划分为N次采样；其中  $\Delta v$  为两移频器的频差， $\Delta v_0$  为当前测量长度下的采样频率间隔；

[0021] b. 进行第一次数据采集，得到数据N1 ( $a_1, a_2, a_3 \dots$ )；

[0022] c. 将两移频器频移  $\Delta v_0$  进行数据采集，得到数据N2 ( $b_1, b_2, b_3 \dots$ )；

[0023] d. 重复N次，得到N组数据；

[0024] e. 将N组数据进行叠加，得到 ( $a_1, b_1, c_1 \dots N_1, a_2, b_2, c_2 \dots N_2, \dots$ )，作为最终的采集数据。

[0025] 通过移频器每次频移  $\Delta v_0$ ，将原有的采样频率间隔降低N倍，有效提高了OFDR系统频域采样率。

[0026] 与现有的技术相比，本发明的有益效果为：本发明利用辅助模块中的两个移频器，在差频固定的情况下，将采样信号频率多次平移进行数据采集，再将多次平移采集的数据叠加运算处理。该方法将原有的采样频率间隔降低N倍，有效提高了OFDR系统频域采样率，有利于扩大OFDR测量范围，且能根据测量范围选择合适的频移量，有利于节省测量时间，提高测量速度，方便简洁，能适应多变的测量需求。

## 附图说明

[0027] 为了完善说明并帮助更好地理解本发明特性的目的，下面通过附图对本发明的具体实施方式作进一步详细的说明。

[0028] 图1为本发明实施例提高OFDR频域采样率的装置示意图；

[0029] 图2为本发明实施例单次采样频域示意图；

[0030] 图1中，1为扫频激光器，2为第一光纤耦合器，3为第四光纤耦合器，4为第二光纤耦合器，5为第一移频器，6为第二移频器，7为第五光纤耦合器，8为第二光电探测器，9为光纤

环形器,10为待测器件,11为第三光纤耦合器,12为第一光电探测器,13为数据采集卡,14为计算机。

### 具体实施方式

[0031] 下面实施例结合附图对本发明做进一步的描述。

[0032] 本发明实施例提高OFDR频域采样率的装置包括扫频激光器1、第一光纤耦合器2、测量模块b、辅助模块a、数据采集卡13和计算机14;其中:

[0033] 所述扫频激光器1,用于发出波长周期性变化的线性扫频光;

[0034] 所述第一光纤耦合器2将线性扫频光分为两束,分别进入测量模块b和辅助模块a;

[0035] 所述测量模块b用于测量信号的获取,产生拍频干涉信号;

[0036] 所述辅助模块a用于外部时钟信号的产生,触发数据采集卡13等频域采样;该辅助模块a包括并联的第一频移器和第二频移器,两个移频器的频差 $\Delta v_0$ 固定,该频差 $\Delta v_0$ 为当前测量长度下的采样频率间隔;每次数据采集卡13采样后,两个频移器均频移 $\Delta v_0$ ,再触发数据采集卡13进行下一次数据采集;

[0037] 所述数据采集卡13在外部时钟触发下对测量模块b输出的拍频干涉信号进行等频域采样;

[0038] 所述计算机14用于对采集到的信号进行运算处理。

[0039] 如图1所示,所述测量模块b包括第二光纤耦合器4、光纤环形器9、待测器件10、第三光纤耦合器11、第一光电探测器12;光经过第二耦合器分为两路,一路作为参考信号直接进入第三光纤耦合器11,另一路经由环形器进入待测器件10,反射回来的光与参考信号在第三耦合器处发生拍频干涉,拍频干涉信号由第一光电探测器12探测并转化为电信号。

[0040] 进一步地,所述辅助模块a还包括第四光纤耦合器3、第五光纤耦合器7、第二光电探测器8;第一频移器和第二频移器并联在第四光纤耦合器3和第五光纤耦合器7之间;第四耦合器出射的光分别进入第一移频器5、第二移频器6;由于两移频器存在频差,产生拍频信号,该拍频信号被第二光电探测器8探测,并作为外部时钟触发数据采集卡13进行等频域采样。

[0041] 由于两移频器存在频差,会产生拍频信号。该拍频信号被第二光电探测器8探测,并作为外部时钟触发数据采集卡13进行等频域采样。

[0042] 本发明较佳实施例中,第一光纤耦合器2的分光比为90:10,90%的激光进入测量模块b,10%的激光进入辅助模块a。第二、第三、第四、第五光纤耦合器的分光比为50:50。

[0043] 第一移频器5、第二移频器6可为电光调制器、声光调制器等所有可实现移频功能的器件。

[0044] 如图1所示,扫频光源1发出的激光经90:10第一光纤耦合器2一分为二,90%的光进入测量模块b,10%的光进入辅助模块a。

[0045] 测量模块b中,出射光经由第二光纤耦合器4后分别进入参考臂和信号臂。参考臂信号随后直接进入第三光纤耦合器11,信号臂中光经过环形器9进入待测器件10,反射回来的光与参考光在耦合11处发生拍频干涉,产生的拍频信号被光电探测器12转化为电信号后由数据采集卡13采集。

[0046] 辅助模块a中,激光进入第四光纤耦合器3被分为两路,分别进入移频器5、移频器

6.由于移频器频移量不同,两个路径下的光频率不同,存在差频,因此两束光在第五光纤耦合器77处发生干涉,产生拍频信号。该信号是等频域间隔的信号,经由第二光电探测器8转化为电信号后,用于触发数据采集卡13对测量模块b中的拍频信号进行等频域采样。

[0047] 由公式推导可得,第二光电探测器8转化后的电信号为:

$$[0048] \quad U(t) = U_0 \{1 + \cos[2\pi(f_a - f_b)v(t) + \varphi]\}$$

[0049] 其中 $f_a$ 、 $f_b$ 分别为移频器1、2的频移量。该信号为周期 $f_a - f_b$ 的正弦信号,即采样频率间隔 $\Delta v = f_a - f_b$ ,OFDR装置最大可测范围为:

$$[0050] \quad L = \frac{C}{2(f_a - f_b)}$$

[0051] 设某次测量中,需要测量长度为 $L_0$ 的光纤链路。由采样定理可知,此时的采样频率间隔为:

$$[0052] \quad \Delta v_0 = \frac{C}{2L_0}$$

[0053] 由当前采样频率间隔将本次测量划分为N次,其中:

$$[0054] \quad N = \frac{\Delta v}{\Delta v_0}$$

[0055] 确定采集次数N后,开始数据采集。包括以下步骤:

[0056] 使用本发明装置进行第一次采集,得到数据N1 ( $a_1, a_2, a_3 \dots$ );

[0057] 将两移频器频移 $\Delta v_0$ 进行数据采集,得到数据N2 ( $b_1, b_2, b_3 \dots$ )

[0058] 重复N次,得到N组数据。

[0059] 将N组数据进行叠加,得到( $a_1, b_1, c_1 \dots N_1, a_2, b_2, c_2 \dots N_2, \dots$ )。对该数据进行运算处理得到最终结果。具体为FFT运算。

[0060] 如图2所示,为单次采样的频域示意图。每次采样中,数据采集卡13在触发信号的上升沿(或下降沿)进行数据采集,完成N次采样。

[0061] 需要特别指出的是,本发明的 $\Delta v_0$ 是可变的,根据不同的长度测量需求,调整 $\Delta v_0$ ,可实现测量长度可调。

[0062] 本领域的技术人员容易理解,此处所说明的附图及实施例仅用以说明本发明技术方案而非对其限制,凡不脱离本发明方案的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,其均应涵盖在本发明请求保护的技术方案范围当中。

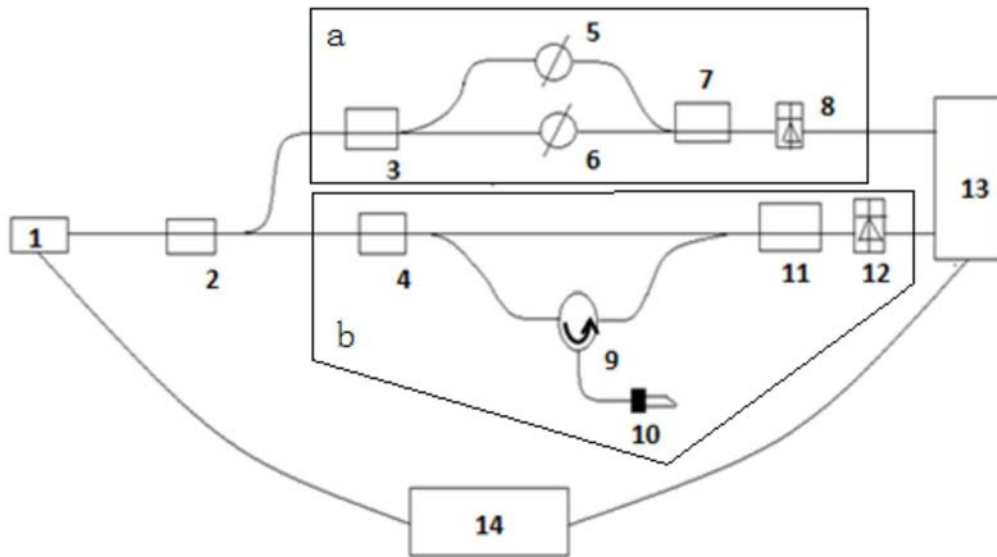


图1

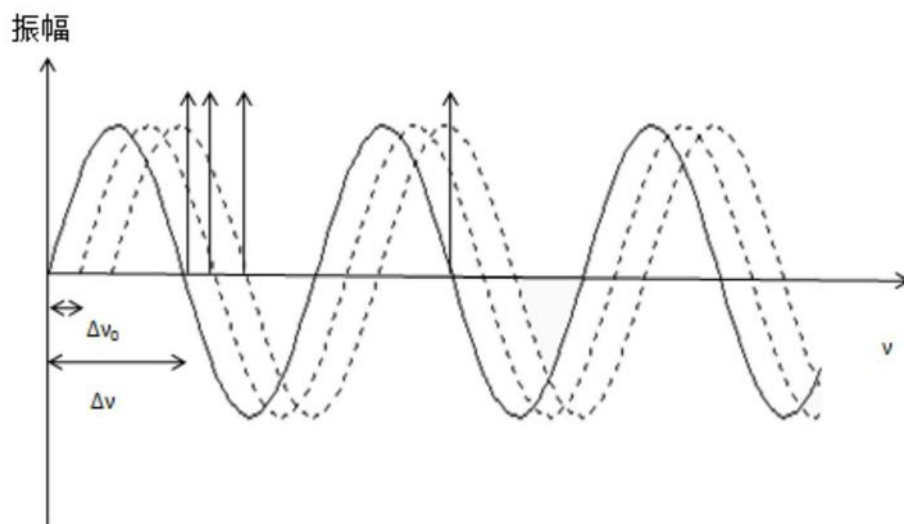


图2