

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 6 月 29 日 (29.06.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/107657 A1

- (51) 国际专利分类号:
G08B 13/186 (2006.01) *G01D 5/353* (2006.01)
G01H 9/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/103521
- (22) 国际申请日: 2016 年 10 月 27 日 (27.10.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510993836.0 2015 年 12 月 25 日 (25.12.2015) CN
- (71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。
- (72) 发明人: 刘琨 (LIU, Kun); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 刘铁根 (LIU, Tiegeng); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 江俊峰 (JIANG, Jun-feng); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学,

Tianjin 300072 (CN)。 马春宇 (MA, Chunyu); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 柴天娇 (CHAI, Tianjiao); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 何畅 (HE, Chang); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 田苗 (TIAN, Miao); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 李志辰 (LI, Zhichen); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。

(74) 代理人: 天津市北洋有限责任专利代理事务所 (BEI&OCEAN); 中国天津市南开区鞍山西道时代公寓 A 座 603 室, Tianjin 300193 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,

[见续页]

(54) Title: ASYMMETRIC DUAL MACH-ZEHNDER INTERFERENCE BASED DISTRIBUTED OPTICAL FIBRE DISTURBANCE POSITIONING SYSTEM AND POSITIONING METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种基于非对称双 Mach-Zehnder 干涉的分布式光纤扰动定位系统及其定位方法

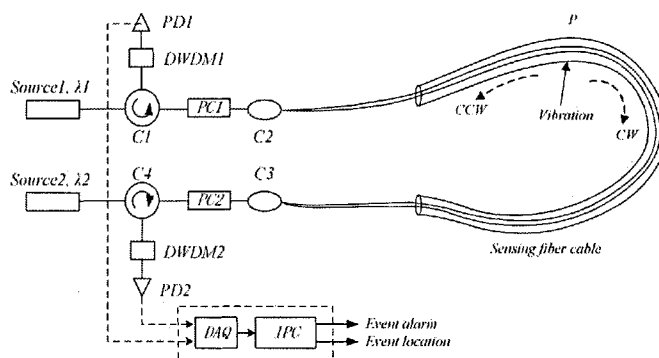


图 1

(57) Abstract: An asymmetric dual Mach-Zehnder interference based distributed optical fibre disturbance positioning system. Unlike traditional dual Mach-Zehnder distributed optical fibre disturbance sensing systems, in the system, two narrow-band light sources (1a, 1b) are used and corresponding dense wavelength division multiplexers (DWDM) (3a, 3b) are added in front of detectors (4a, 4b), so that backscattering noise can be filtered out from the optical fibre, and the problem that due to the influence of backscattering, a signal to noise ratio is excessively low where a sensing distance is relatively long is solved. A positioning method that can be used for the system. In the method, time-frequency distribution of a disturbance frame signal is obtained by utilizing a fast time-frequency analysis method based on a short-term average frequency, and points near the maximum frequency point are taken as a valid signal segment to perform cross-correlation time delay estimation so as to obtain a time delay, and thus obtaining a disturbance position. The method can position an asymmetric disturbance signal in the system, and has higher positioning precision and stability.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/107657 A1



PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

- (84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种基于非对称双 Mach-Zehnder 干涉的分布式光纤扰动定位系统, 与传统的双 Mach-Zehnder 分布式光纤扰动传感系统不同, 该系统使用两个窄带光源(1a, 1b)和在探测器(4a, 4b)前加入了相应的密集波分复用器 DWDM(3a, 3b), 能够滤除光纤背向散射噪声, 解决由于背向散射影响在传感距离较长时信噪比过低的问题。一种能够用于以上系统的定位方法, 该方法利用基于短时平均频率的快速时频分析方法得到扰动帧信号的时频分布, 并将频率最大点附近的点作为有效信号段进行互相关时延估计求得时延, 进而获得扰动位置。该方法能够对系统中非对称扰动信号进行定位, 具有较高的定位精度和稳定性。

一种基于非对称双 Mach-Zehnder 干涉的分布式光纤扰动定位系统及其定位方法

技术领域

本发明属于传感及检测技术领域，特别涉及一种基于非对称干涉的分布式光纤扰动传感定位系统。

5 背景技术

双马赫-曾德(Mach-Zehnder)型分布式光纤扰动传感系统采用光波干涉技术实现入侵扰动检测及定位，具有长距离监控、高精度定位功能、低能源依赖性、高环境耐受性、抗电磁干扰、抗腐蚀等特性。近年来，谢尚然等(Shangran Xie, et.al. *Positioning error prediction theory for dual Mach-Zehnder interferometric vibration sensor*, Journal of Lightwave Technology, 2011,29: 362-368) 分析了系统中多种噪声对定位精度的影响，并对不同信噪比下的系统定位精度进行预测。陈沁楠等(Qinnan Chen, et.al. *An Elimination Method of Polarization-Induced Phase Shift and Fading in Dual Mach-Zehnder Interferometry Disturbance Sensing System*, Journal of Lightwave Technology, 2013,31:3135-3141) 通过高效偏振控制方法对系统中偏振噪声进行补偿，提高了系统定位精度。黄翔东等(Xiangdong Huang, et.al. *Configurable Filter-Based Endpoint Detection in DMZI Vibration System*, Photonics Technology Letters, 2014,26:1956-1959)利用全相位滤波器对扰动起始点准确定位。

目前，当传感距离较短时，双Mach-Zehnder分布式光纤扰动传感系统的定位精度可以达到20m以内（采样率10MS/s，理论精度为10m）。然而受限于系统光路结构，随着传感距离增加，光纤中背向散射噪声对系统信噪比影响愈发明显，严重影响系统定位精度，制约着该系统的传感距离。

发明目的

本发明的目的是解决双 Mach-Zehnder 分布式光纤扰动传感系统由于背向散射影响在传感距离较长时信噪比过低的问题，提出一种非对称型双 Mach-Zehnder 分布式光纤扰动传感系统。该系统利用光学滤波的方法消除光纤背向散射光对信号的影响，大大提高了系统在长距离应用时的信噪比。

发明的本技术方案是：

一种基于非对称双 Mach-Zehnder 干涉的分布式光纤扰动定位系统，其特征在于该系统包括：

光源：采用两个波长为 1550nm 附近窄带宽分布式反馈激光器（DFB），两光源波长差大于本系统所用密集波分复用器(DWDM)的波长间隔；

光环行器：用来将光源发出的光传输到待检测物体并收集反射信号光；

DWDM：工作波长 1500nm 附近两个商用单通道 DWDM，光谱透射范围分别只包含

系统所用的一只光源的波长；

光电探测器：铟镓砷光电探测器(PD)，接收光信号，进行光电转换并放大；

光纤耦合器：3dB 光纤耦合器，用于 1:2 分光；

偏振控制器：调整两路干涉信号偏振态，保证信号可见度；

5 传感光缆：G.652D 通信光缆，用于感知外界扰动及传导光信号；

数据采集卡：采样率为 10MS/s 双通道数据采集卡(DAQ)，对两个光电探测器的电压信号进行采集，并送入计算机处理；

处理单元：包括通用计算机和嵌入式计算系统，采集卡接收的干涉信号进行处理，最终获取扰动信息。

10 进一步的，光源和相应的 DWDM 所构成的背向散射光滤除装置为任意波长光源和光滤波器组合。

进一步的，当光源功率较大时，采用光纤耦合器替代光环行器。

本发明还提供了一种可以应用与上述系统的定位方法，利用基于短时平均频率的时频分析方法得到扰动帧信号的时频分布，并将频率最大点附近的点作为有效信号段进行互相关时延估计，求得时延 d ，进而获得扰动位置 x ，具体算法流程如下：

1) 设一对阈值门限 δ_1 、 δ_2 和一个幅值阈值 ε ，其中 $\delta_1 < 0$ ， $\delta_2 > 0$ 且 $|\delta_1| = |\delta_2| = \varepsilon$ (为了滤除电路噪声， 2ε 需要大于噪声的幅值)。针对任意一个阈值门限，求得过阈值点位置的公式如下：

$$\begin{cases} C_i(m) = m \cdot \phi \{ [x(m) - \delta_i < 0] \& [x(m+1) - \delta_i > 0] \} \\ \phi[x(n)] = \begin{cases} 1, & x(n) > 0 \\ 0, & x(n) = 0 \end{cases}, \quad m, n \in [1, N-1], i = 1, 2 \end{cases}$$

20 其中 $x(m)$ 为信号段中第 m 点的幅值， $C_i(m)$ 为所求的过阈值点位置，把 $\delta = \delta_1$ 、 $\delta = \delta_2$ 分别代入公式中并依次对一帧点数为 N 的信号进行处理即可求得各自的过门限点位置 $C_1(m)$ 和 $C_2(n)$ ， $m, n \in [1, N-1]$ 。

2) 取 $C_1(m)$ 和 $C_2(n)$ 中大于 0 的项按从小到大共同排序，我们选取其中满足 $C_1(m) < C_2(n)$ 的相邻两项来确定信号的过零点位置 $Z(k)$ ，其中 $Z(k) = [C_1(m) + C_2(n)]/2$ ， $k = 1, 2, 3, \dots$ ，位于相邻两过零位置间信号的短时平均频率可以表示为： $f(k) = 1/[Z(k+1) - Z(k)]$ ；

25 3) 对求得的短时平均频率点进行三次样条差值拟合，用拟合曲线来代表信号的时频分布，将频率最大点附近的点作为有效信号段，对两路有效信号的时频分布曲线进行归一化和时域上的互相关估计，即可确定时延 d ，进而算出扰动位置 x 。

进一步的，所述方法中扰动信号的时频分布曲线为现有其他任一时频分析方法获得扰动信号的时频分布曲线，再进行互相关求得时延 d ，进而获得扰动位置 x 。

30 本发明有益效果是：与传统的双 Mach-Zehnder 分布式光纤扰动传感系统不同，本发明系统使用两个窄带光源和在探测器前加入了相应的密集波分复用器(DWDM)，能够大大滤除光纤背向散射噪声，解决由于背向散射影响在传感距离较长时信噪比过低的问题。同时，

提供的能够用于以上系统的定位方法，利用基于短时平均频率的快速时频分析方法得到扰动信号时频分布，并将频率最大点附近的点作为有效信号段进行互相关时延估计求得时延，进而获得扰动位置。该方法能够对系统中非对称扰动信号进行定位，具有较高的定位精度和稳定性。

5

附图说明

图 1 是分布式光纤扰动定位系统定位原理图；

图 2 是分布式光纤扰动定位系统示意图；

图 3 是扰动信号的原始信号图；

10 图 4 是扰动信号的时频分布图；

具体实施方式

1、本发明所提供的非对称型双Mach-Zehnder光纤扰动传感系统原理如下：

15 基于非对称型双 Mach-Zehnder 干涉原理的分布式光纤传感系统原理如图 1 所示，光源 1 和光源 2 发出的两束光在传感环路中分别沿顺时针和逆时针方向传播，并在对端的耦合器发生干涉。由光源 1 发出的光传播路径为 C1-PC1-C2-C3-C4-DWDM2-PD2。光源 2 发出的光传播路径为 C4-PC2-C3-C2-C1-DWDM1-PD1。其中，C1、C4 为环形器，C2、C3 为 3dB 耦合器，PC1、PC2 为偏振控制器，DWDM1、DWDM2 为密集波分复用器，PD1、PD2 为光电探测器。设两个光电探测器 PD1 和 PD2 检测到同一扰动事件的时间分别为 t_1 和 t_2 ， $d=t_1-t_2$ ， L 为传感光缆的长度， x 为扰动点距离耦合器 C2 的位置，其定位公式为

$$20 \quad x = (L - vd) / 2$$

式中， v 为光波在单模光纤中的传播速度，单位 m/s，其中 $v=c/n$ ， c 是光在真空中的速度 (3×10^8 m/s)， n 是光纤的折射率。

2、本发明同时提供了一种基于上述系统的高精度定位方法：

25 在传统的双Mach-Zehnder分布式光纤扰动定位系统中，时延 d 是通过对两路干涉信号进行互相关运算来进行估计的。本发明提供的基于非对称型双Mach-Zehnder原理的系统中，由于光源1和光源2的波长不同，由探测器PD1和PD2检测到的两路干涉信号具有不一致性，无法通过直接互相关进行时延估计。这两路干涉信号可以表示为：

$$\begin{cases} I_1(t) = \cos[2\pi \cdot \frac{f(t)}{\lambda_2} + \phi_1] + n_1(t) \\ I_2(t) = \cos[2\pi \cdot \frac{f(t-d)}{\lambda_1} + \phi_2] + n_2(t) \end{cases}$$

式中, $I_1(t)$ 、 $I_2(t)$ 为两路干涉信号光强, λ_1 、 λ_2 分别为光源1和光源2的波长, $f(t)$ 为扰动引起的光程差变化, ϕ_1 、 ϕ_2 为初始相位差, $n_1(t)$ 、 $n_2(t)$ 为各自的电路噪声。在滤除电路噪声的条件下, $I_1(t)$ 、 $I_2(t)$ 的频率分别与 $f(t)$ 和 $f(t-d)$ 成正比。因此, 为了求时延 d , 可以先获得两路信号的时频分布, 再对两路信号的时频分布进行归一化和互相关。

5 本发明中我们先用双门限过零检测的方法滤除电路噪声并找出扰动信号的过零点位置, 再利用相邻过零点之间的信号点数的倒数来估计该段信号的平均频率, 并对平均频率点进行三次样条差值拟合, 得到信号的时频分布; 最后对时频分布曲线进行互相关求得时延 d , 具体算法流程如下所示:

10 1) 设一对阈值门限 δ_1 、 δ_2 和一个幅值阈值 ε , 其中 $\delta_1 < 0$, $\delta_2 > 0$ 且 $|\delta_1| = |\delta_2| = \varepsilon$ (为了滤除电路噪声, 2ε 需要大于噪声的幅值)。针对任意一个阈值门限, 求得过阈值点位置的公式如下:

$$\begin{cases} C_i(m) = m \cdot \phi \{ [x(m) - \delta_i < 0] \& [x(m+1) - \delta_i > 0] \} \\ \phi[x(n)] = \begin{cases} 1, & x(n) > 0 \\ 0, & x(n) = 0 \end{cases}, \quad m, n \in [1, N-1], i = 1, 2 \end{cases}$$

其中 $x(m)$ 为信号段中第 m 点的幅值, $C_i(m)$ 为所求的过阈值点位置, 把 $\delta = \delta_1$ 、 $\delta = \delta_2$ 分别代入公式中并依次对一帧点数为 N 的信号进行处理即可求得各自的过门限点位置 $C_1(m)$ 和 $C_2(n)$, $m, n \in [1, N-1]$ 。

15 2) 取 $C_1(m)$ 和 $C_2(n)$ 中大于0的项按从小到大共同排序。我们选取其中满足 $C_1(m) < C_2(n)$ 的相邻两项来确定信号的过零点位置 $Z(k)$, 其中 $Z(k) = [C_1(m) + C_2(n)]/2$, $k = 1, 2, 3, \dots$ 。位于相邻两过零位置间信号的短时平均频率可以表示为: $f(k) = 1/[Z(k+1) - Z(k)]$ 。

3) 对求得的短时平均频率点进行三次样条差值拟合, 用拟合曲线来代表信号的时频分布。将频率最大点附近的点作为有效信号段, 对两路有效信号的时频分布曲线进行归一化和时域上的互相关估计, 即可确定时延 d , 进而算出扰动位置 x 。

实施例 1: 用于定位的分布式光纤扰动传感系统

该系统结构如图 2 所示, 包括 9 个部分:

1a、1b, 光源: 采用波长为 1550nm 附近窄带宽分布式反馈激光器 (DFB), 两光源波长差大于 3nm 中密集波分复用器(DWDM)的波长间隔;

25 2a、2b, 光环行器: 用来将光源发出的光传输到待检测物体并收集反射信号光, 当光源功率较大时, 可采用光纤耦合器替代;

3a、3b, DWDM: 工作波长 1500nm 附近商用单通道 DWDM, 其中 3a 的光谱透射范围包含光源 1b 的中心波长, 3b 的光谱透射范围包含光源 1a 的中心波长,;

4a、4b, 光电探测器: 铟镓砷光电探测器(PD), 接收光信号, 进行光电转换并放大。

30 5a、5b, 光纤耦合器: 3dB 光纤耦合器, 用于 1:2 分光;

6a、6b, 偏振控制器: 调整两路干涉信号偏振态, 保证信号可见度。

7, 传感光缆: G.652D 通信光缆, 用于感知外界扰动及传导光信号;

8, 数据采集卡: 采样率为 10MS/s 双通道数据采集卡(DAQ), 对两个光电探测器 4a 和 4b 的电压信号进行采集, 并送入计算机处理。

5 9, 处理单元: 包括通用计算机和嵌入式计算系统, 对采集卡接收的干涉信号进行处理, 最终获取扰动信息。

实施例 2、基于过零率分析的分布式光纤传感定位算法

如图 2 所示, 数据采集卡采集两路信号并将信号送入计算机。计算机基于短时平均频率的时频分析方法得到扰动帧信号的时频分布, 并将频率最大点附近的点作为有效信号段进行互相关时延估计。

10 以下对图 2 所示的系统, 用某次定位实例来说明计算过程:

该系统的参数设定如下: 传感光纤总长度为 61km, 其中 1km 为铠装光缆, 其余 60km 为裸纤, 光源 1a 和光源 1b 的波长分别为 1550.74nm 和 1549.95nm, 功率均为 10mW, 两个 DWDM 的中心波长分别为 1550.12nm 和 1550.92nm, 带宽均为 $\pm 0.22\text{nm}$, 采集卡的采样频率为 10M/s, 采样时间为 0.3s, 有效信号点数对应的采样时间设为 0.02s。

15 在光缆的 800m 处敲击光缆, 系统采集到的原始信号如图 3 所示, 可以看出图中虚线和实线两信号具有较高的信噪比, 且两信号之间有一个明显的时延差。图 4 是信号的时频分布图, 可以发现虚线实线两条时频分布曲线趋势基本一致, 因此可以利用互相关求得时延。

20 为了说明该算法的有效性, 在 800m 处以敲击方式进行 200 组定位实验, 定位误差分布如下表所示。

定位误差	0~ $\pm 20\text{m}$	20~ $\pm 50\text{m}$	$\pm 50\sim\pm 100\text{m}$	$>\pm 100\text{m}$
百分比	51.2	30.6	11.4	6.8

在 61km 的传感距离下, 定位误差在 50m 以内的概率达到 80%, 均方差为 42.25m。具有较高的定位精度和可靠性。

权利要求

1、一种基于非对称双 Mach-Zehnder 干涉的分布式光纤扰动定位系统，其特征在于该系统包括：

5 光源：采用两个波长为 1550nm 附近窄带宽分布式反馈激光器（DFB），两光源波长差大于本系统所用密集波分复用器(DWDM)的波长间隔；

 光环行器：用来将光源发出的光传输到待检测物体并收集反射信号光；

 DWDM：工作波长 1500nm 附近两个商用单通道 DWDM，光谱透射范围分别只包含系统所用的一只光源的波长；

10 光电探测器：铟镓砷光电探测器(PD)，接收光信号，进行光电转换并放大；

 光纤耦合器：3dB 光纤耦合器，用于 1:2 分光；

 偏振控制器：调整两路干涉信号偏振态，保证信号可见度；

 传感光缆：G.652D 通信光缆，用于感知外界扰动及传导光信号；

 数据采集卡：采样率为 10MS/s 双通道数据采集卡(DAQ)，对两个光电探测器的电压信号进行采集，并送入计算机处理；

 处理单元：包括通用计算机和嵌入式计算系统，采集卡接收的干涉信号进行处理，最终获取扰动信息。

20 2、根据权利要求 1 所述的基于非对称双 Mach-Zehnder 干涉的分布式光纤扰动定位系统，其特征在于，光源和相应的 DWDM 所构成的背向散射光滤除装置为任意波长光源和光滤波器组合。

 3、根据权利要求 1 所述的基于非对称双 Mach-Zehnder 干涉的分布式光纤扰动定位系统，其特征在于，当光源功率较大时，采用光纤耦合器替代光环行器。

 4、一种用于权利要求 1 所述系统的定位方法，其特征在于：

25 利用基于短时平均频率的时频分析方法得到扰动帧信号的时频分布，并将频率最大点附近的点作为有效信号段进行互相关时延估计，求得时延 d ，进而获得扰动位置 x ，具体算法流程如下：

 1) 设一对阈值门限 δ_1 、 δ_2 和一个幅值阈值 ε ，其中 $\delta_1 < 0$ ， $\delta_2 > 0$ 且 $|\delta_1| = |\delta_2| = \varepsilon$ ；针对任意一个阈值门限，求得过阈值点位置的公式如下：

$$\begin{cases} C_i(m) = m \cdot \phi \{ [x(m) - \delta_i < 0] \& [x(m+1) - \delta_i > 0] \} \\ \phi[x(n)] = \begin{cases} 1, & x(n) > 0 \\ 0, & x(n) = 0 \end{cases}, \quad m, n \in [1, N-1], i=1, 2 \end{cases}$$

30 其中 $x(m)$ 为信号段中第 m 点的幅值， $C_i(m)$ 为所求的过阈值点位置，把 $\delta = \delta_1$ 、 $\delta = \delta_2$ 分别代入公式中并依次对一帧点数为 N 的信号进行处理即可求得各自的过门限点位置 $C_1(m)$ 和 $C_2(n)$ ， $m, n \in [1, N-1]$ ；

 2) 取 $C_1(m)$ 和 $C_2(n)$ 中大于 0 的项按从小到大共同排序，选取其中满足 $C_1(m) < C_2(n)$ 的相

邻两项来确定信号的过零点位置 $Z(k)$ ，其中 $Z(k)=[C_1(m)+C_2(n)]/2$ ， $k=1, 2, 3, \dots$ ，位于相邻两过零位置间信号的短时平均频率可以表示为： $f(k)=1/[Z(k+1)-Z(k)]$ ；

- 3) 对求得的短时平均频率点进行三次样条差值拟合，用拟合曲线来代表信号的时频分布，将频率最大点附近的点作为有效信号段，对两路有效信号的时频分布曲线进行归一化和时域上的互相关估计，即可确定时延 d ，进而算出扰动位置 x 。

5、根据权利要求4所述的定位方法，其特征在于，所述扰动信号的时频分布曲线为现有技术任一时频分析方法获得扰动信号的时频分布曲线，再进行互相关求得时延 d ，进而获得扰动位置 x 。

附图

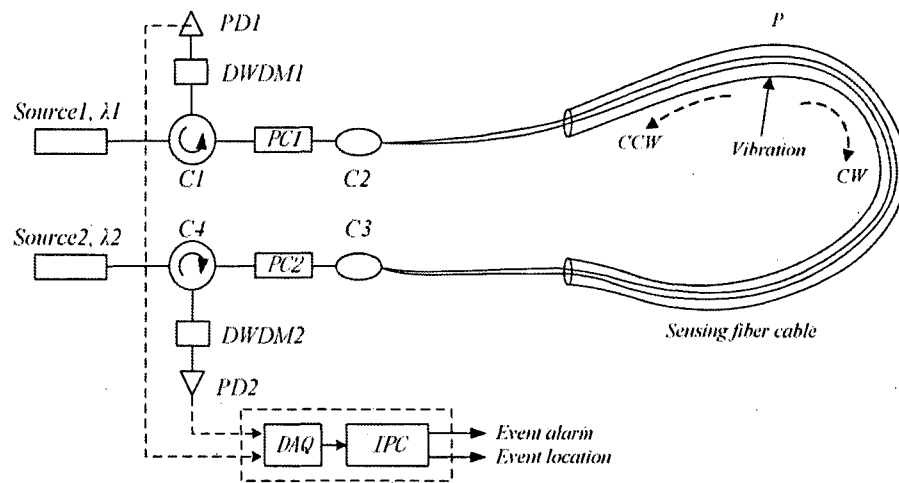


图 1

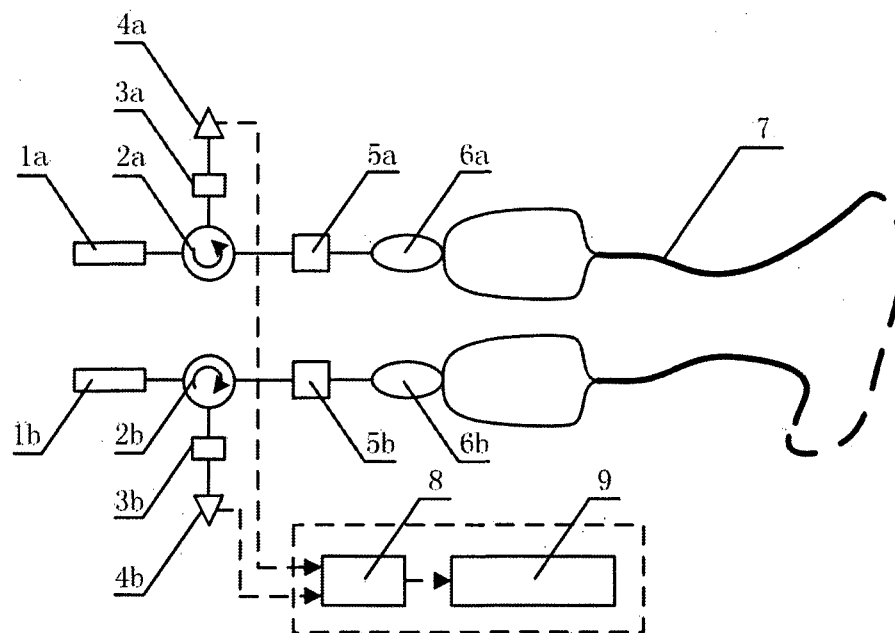


图 2

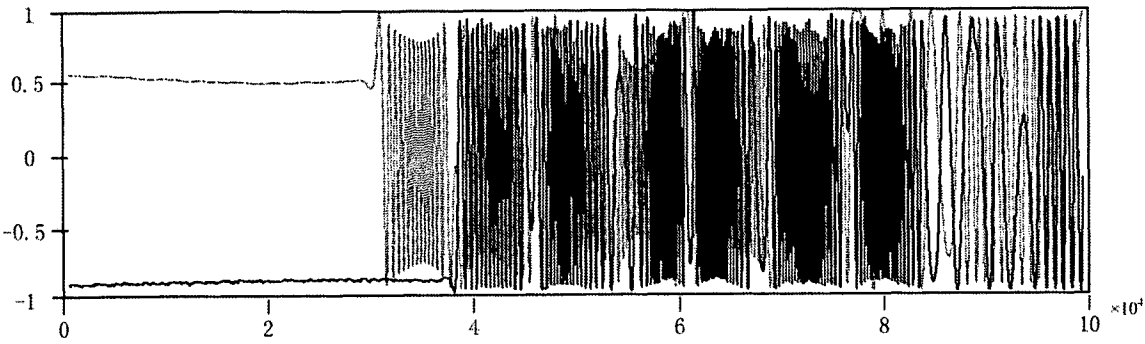


图 3

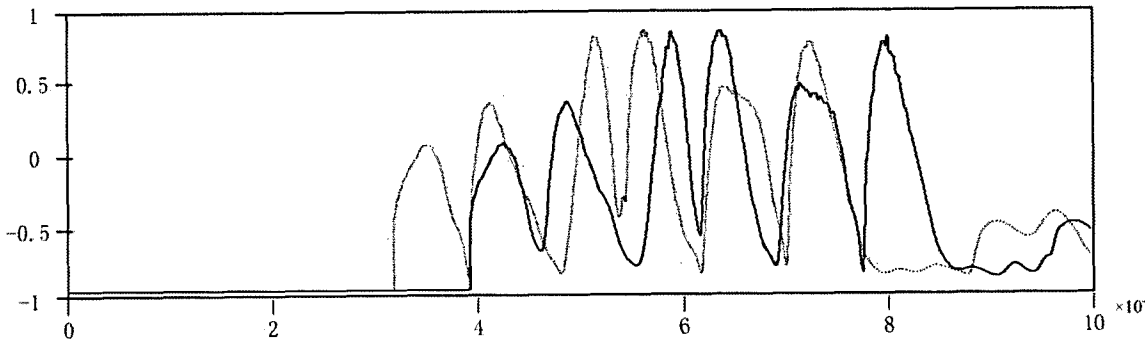


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/103521

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G08B 13/186 (2006.01) i; G01H 9/00 (2006.01) i; G01D 5/353 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G08B; G01H; G01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, EPODOC, WPI, google: optical fibre, light source, wavelength division multiplexing, balance, circulator, coupler, time-frequency, threshold value, mach, zehnder, MZI, DMZI, WDM, DWDM, optical, fiber, disturb+, vibrat+, posit+, locat+, detect+, sens+, filter, asymmetric, double, interference, light, source, backscatter+, noise, time, frequency, threshold

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 105488935 A (TIANJIN UNIVERSITY), 13 April 2016 (13.04.2016), description, paragraphs [0031]-[0064], and figures 1-4	1-5
A	CN 102291181 A (TIANJIN UNIVERSITY), 21 December 2011 (21.12.2011), see description, paragraphs 0059-0076, and figures 1-6	1-5
A	CN 101701844 A (THE 34TH INSTITUTE OF CHINA ELECTRONIC TECHNOLOGY GROUP CORPORATION), 05 May 2010 (05.05.2010), the whole document	1-5
A	CN 101625258 A (SHANGHAI BOOM FIBER SENSING TECHNOLOGY CO., LTD.), 13 January 2010 (13.01.2010), the whole document	1-5
A	US 2002181872 A1 (JYH, R.D. et al.), 05 December 2002 (05.12.2002), the whole document	1-5
A	CN 101465052 A (CHEN, Yufeng), 24 June 2009 (24.06.2009), the whole document	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 04 January 2017 (04.01.2017)	Date of mailing of the international search report 25 January 2017 (25.01.2017)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer YANG, Ting Telephone No.: (86-10) 62414464

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/103521

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105488935 A	13 April 2016	None	
CN 102291181 A	21 December 2011	CN 102291181 B	15 January 2014
CN 101701844 A	05 May 2010	CN 101701844 B	04 May 2011
CN 101625258 A	13 January 2010	CN 101625258 B	21 March 2012
US 2002181872 A1	05 December 2002	TW 591253 B	11 June 2004
		US 6597842 B2	22 July 2003
CN 101465052 A	24 June 2009	CN 101465052 B	11 May 2011

A. 主题的分类 G08B 13/186(2006.01)i; G01H 9/00(2006.01)i; G01D 5/353(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G08B; G01H; G01D 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNKI, CNPAT, EPODOC, WPI, google: 马赫, 曾德, 泽德, 干涉, 光纤, 双, 两, 光源, 波分复用, 干扰, 振动, 扰动, 传感, 检测, 探测, 定位, 滤波, 背向散射, 噪声, 非对称, 平衡, 不对称, 环行器, 耦合器, 时频, 阈值, mach, zehnder, MZI, DMZI, WDM, DWDM, optical, fiber, disturb+, vibrat+, posit+, locat+, detect+, sens+, filter, asymmetric, double, interference, light, source, backscatter+, noise, time, frequency, threshold		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 105488935 A (天津大学) 2016年 4月 13日 (2016 - 04 - 13) 说明书第[0031]-[0064]段、图1-4	1-5
A	CN 102291181 A (天津大学) 2011年 12月 21日 (2011 - 12 - 21) 参见说明书第0059-0076段、图1-6	1-5
A	CN 101701844 A (中国电子科技集团公司第三十四研究所) 2010年 5月 5日 (2010 - 05 - 05) 全文	1-5
A	CN 101625258 A (上海华魏光纤传感技术有限公司) 2010年 1月 13日 (2010 - 01 - 13) 全文	1-5
A	US 2002181872 A1 (JYH REN DENT 等) 2002年 12月 5日 (2002 - 12 - 05) 全文	1-5
A	CN 101465052 A (陈玉凤) 2009年 6月 24日 (2009 - 06 - 24) 全文	1-5
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2017年 1月 4日		2017年 1月 25日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		杨婷 电话号码 (86-10)62414464

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/103521

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	105488935	A	2016年 4月 13日	无	
CN	102291181	A	2011年 12月 21日	CN	102291181 B 2014年 1月 15日
CN	101701844	A	2010年 5月 5日	CN	101701844 B 2011年 5月 4日
CN	101625258	A	2010年 1月 13日	CN	101625258 B 2012年 3月 21日
US	2002181872	A1	2002年 12月 5日	TW	591253 B 2004年 6月 11日
				US	6597842 B2 2003年 7月 22日
CN	101465052	A	2009年 6月 24日	CN	101465052 B 2011年 5月 11日