

(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
2023 年 2 月 23 日 (23.02.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/020179 A1

(51) 国际专利分类号:
G01M 11/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/106574

(22) 国际申请日: 2022 年 7 月 19 日 (19.07.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202110941236.5 2021 年 8 月 16 日 (16.08.2021) CN

(71) 申请人: 广东工业大学 (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。

(72) 发明人: 喻张俊 (YU, Zhangjun); 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。 朱庭毅 (ZHU, Tingyi); 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。 庄芹芹 (ZHANG, Qinqin); 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。 杨军 (YANG, Jun); 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。 徐鹏柏 (XU, Pengbai); 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。 温坤华 (WEN, Kunhua); 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。 王云才 (WANG, Yuncaai); 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。 秦玉文 (QIN, Yuwen); 中国广东省广州市越秀区东风东路 729 号, Guangdong 510090 (CN)。

(54) Title: LIGHT SOURCE FREQUENCY-SWEEPING NON-LINEARITY CORRECTION METHOD FOR OPTICAL FREQUENCY DOMAIN POLARIZATION CROSSTALK MEASUREMENT

(54) 发明名称: 一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法

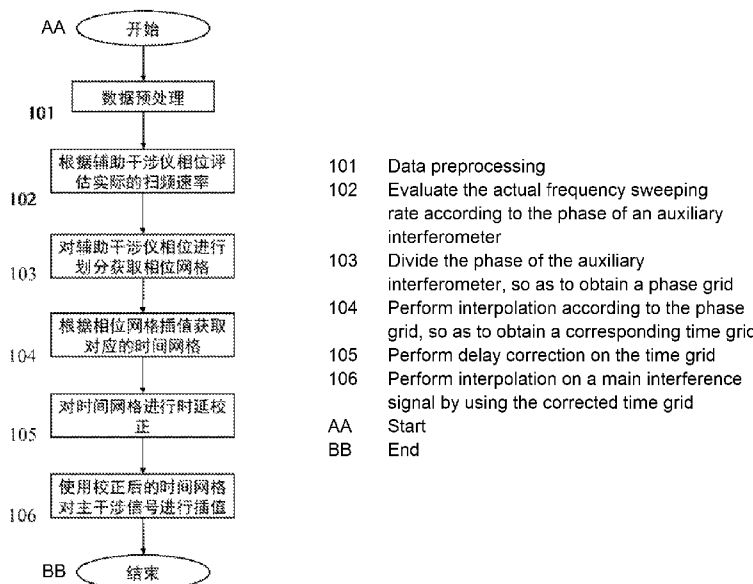


图 1

(57) Abstract: A light source frequency-sweeping non-linearity correction method for optical frequency domain polarization crosstalk measurement, which method belongs to the field of optical fiber testing. The method comprises: after performing time differentiation according to the phase of an auxiliary interferometer, performing calculation to obtain the actual frequency sweeping rate of a light source; performing calculation by combining a required collection time interval and an angular frequency of the auxiliary interferometer, so as to obtain a phase grid division interval parameter; performing equal-interval division on the phase of the auxiliary interferometer by using the interval parameter, so as to obtain an inquiry phase grid; performing interpolation resampling on the phase of the auxiliary

(74) 代理人: 广州粤高专利商标代理有限公司(YOGO PATENT AND TRADEMARK AGENCY LIMITED COMPANY); 中国广东省广州市天河区体育西路中石化大厦B塔4416室, Guangdong 510620 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, 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, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(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, 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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

interferometer, so as to extract an auxiliary sampling time grid corresponding to the inquiry phase grid; performing delay correction on the auxiliary sampling time grid, so as to then obtain an inquiry sampling time grid; and finally performing interpolation resampling on a main interference fringe, so as to extract a corrected main interference fringe corresponding to the inquiry sampling time grid. Therefore, a phase error introduced by light source frequency-sweeping non-linearity in optical frequency domain polarization crosstalk measurement can be effectively corrected.

(57) 摘要: 一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法, 属于光纤测试领域, 辅助干涉仪相位对时间微分后进行计算得到光源实际的扫频速率, 再结合所需的采集时间间隔和辅助干涉仪的角频率计算得到相位网格划分间隔参数, 使用该间隔参数对辅助干涉相位进行等间隔的划分得到问询相位网格, 对辅助干涉相位进行插值重采样来提取问询相位网格对应的辅助采样时间网格, 对辅助采样时间网格进行时延校正后得到问询采样时间网格, 最后对主干干涉条纹进行插值重采样来提取问询采样时间网格对应的校正主干干涉条纹, 能够有效校正光频域偏振串音测量中由光源扫频非线性引入的相位误差。

一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法

技术领域:

本发明具体涉及到一种用于光频域偏振串音测量的校正光源扫频非线性方法,属于光纤测试领域。

背景技术:

保偏光纤作为一种特种光纤,它于 1978 年被贝尔实验室的 Stolen 等首次提出,它通过在光纤几何尺寸上的设计,产生了更强烈的双折射效应,从而解决了普通单模光纤中传输光的偏振态难以控制和保持的难题,由于其能够抑制干涉仪中发生的偏振衰落现象,其给光纤陀螺的性能提升带来了新的发展契机,随后基于保偏光纤的各种光纤偏振器件和组件被陆续的提出,而光纤偏振器件和组件的偏振串音是指两个正交偏振模式在微扰点发生的相互能量耦合现象,它是光纤偏振器件和组件的固有性能和环境影响的综合体现,通过对光纤偏振器件和组件的偏振串音进行测试能够有效的诊断和评估光纤偏振器件和组件的性能。

偏振串音测量经常使用的技术被称为光学相干域偏振串音测量技术(OCDP),其空间分辨率,动态范围,测量长度分别能达到 9cm, 90dB 以及 12km,但是由于其使用扫描式白光干涉仪进行光程补偿来实现不用偏振模式间的干涉,所以使得光学相干域偏振测量技术的测量精度受限于测量速度,导致其测量速度很慢。所以就提出了光频域测量原理和白光干涉原理相结合的技术,光频域偏振串音测量技术(OFDP),其使用可调谐激光器的线性扫频取代光学相干域偏振串音测量技术中的扫描式白光干涉仪来实现不同偏振耦合模式间的干涉,具体过程是经过可调谐激光器发出的光先通过待测器件随后通过带有一定臂长差的干涉仪之后被探测器所接收,由于干涉仪具有一定的臂长差所以上下两臂的频率不等,所以产生的为拍频信号,此时信号的频率就对应于待测器件上偏振串音的位置,再通过傅里叶变换,将拍频信号变换到频域,就可以根据拍频的大小和幅度,确定偏振串音的位置和大小。

而使用光频域偏振串音测量技术,偏振串音的测量速度和精度就只与激光器的线性扫频相关,而在光频域偏振串音测量技术中,可调谐激光器经常存在非线性扫频现象,具体的表现为激光器在扫频过程中频率不再随时间线性变化,这造成在进行傅里叶变换将时域拍频信号转换为频域后,拍频信号的实际频率在其真实频率附近波动,造成频域上的峰值在不同程度上的展宽,造成系统的测量分辨

率以及动态范围的恶化，从而对系统的测量精度造成很大的影响。

针对校正可调谐激光器非线性扫频的研究，在 2005 年 LUNA 公司的 Brain J. Soller 等提出了使用辅助干涉仪产生辅助干涉信号作为采集卡的外部时钟，从而实现对主干涉信号的等间隔采样，校正主干涉信号的非线性扫频 (Brain J. Soller, et al, OPTICS EXPRESS Vol. 12, No. 2)，但是硬件重采样方法的最大测量长度仅为辅助干涉仪的长度的一半，在进行长距离测试的时候受到了极大的限制。

软件方法的光路结构与硬件的完全相同，唯一不同的地方在于首先对信号进行采集，再利用算法对数据进行处理从而校正激光器的激光器的非线性的扫频。

在 2011 年天津大学的刘铁根等提出了使用非均匀快速傅里叶变换技术（一种抑制光频域反射仪的激光器非线性扫描装置和方法 201110226965.9）对主干涉仪的拍频信息进行处理，从而极大的抑制了光源的非线性扫频，并且降低了传统硬件重采样的复杂程度，但是使用该方法在校正长度较长的情况下会急剧恶化。

在 2013 年天津大学的丁振扬等人提出使用去斜滤波器的方法去校正激光器的非线性扫频 (Z. Ding, et al. OPTICS EXPRESS Vol. 21, No. 3)，但是需要对非线性相位有准确的估计。

在 2019 年南京大学张旭平等人使用过零点检测，对信号进行重采样的方法，校正了激光器的非线性扫频（一种光频域反射计中校正可调谐激光器非线性扫频的方法 201910084695.9），但是这一方法对采集卡的采样率要求仍然较高。在 2021 年，其又提出了过零点检测与硬件时钟校正相结合方法，进一步提高了校正准确度和数据处理的运算速度（用于校正非线性调谐效应的光纤参数测量装置 202110135197.X），但是这一方法需要在辅助干涉仪中接入一个声光调制器，提高了校正的复杂度。

针对以上方法存在的问题，本发明提供了一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，能够很好的平衡测量距离、运算复杂度、补偿效果之间的关系，其首先求解辅助干涉仪的相位，对其进行划分，然后根据划分的相位段进行插值，重新得到以相位为自变量关于时间的函数，再结合主干涉信号和辅助干涉信号在采集时的采集时延对主干涉信号进行时域的插值从而校正激光器的非线性扫频，其通过计算主干涉信号与辅助干涉信号之间的延时，从而进一步解决在使用辅助干涉信号对主干涉信号进行相位校正时，由于采集时延所带来的额

外非线性误差, 进一步提高了系统的空间分辨率和动态范围, 从而有效的提高了系统的测量精度, 可以广泛的用于光频域测量领域。

发明内容:

本发明的目的在于提供一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法, 该方法可以有效校正在光频域偏振串音测量中所使用的可调谐激光器的非线性扫频, 提升系统的空间分辨率和动态范围, 从而进一步提升系统的测量精度。

本发明公开了一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法, 所述的光频域偏振串音测量所使用的光频域偏振串音测量系统包括光源、待测器件模块、主干涉仪模块、辅助干涉仪模块, 数据采集模块, 其中待测器件模块和辅助干涉仪模块分别与光源相连, 待测器件模块再与主干涉仪模块相连, 主干涉仪模块再与数据采集模块相连, 辅助干涉仪模块同样与数据采集模块相连, 主干涉仪模块产生主干涉信号 $I_{main}(t)$, 同时也设置了辅助干涉仪模块, 辅助干涉仪模块生成用于校正主干涉信号 $I_{main}(t)$ 的辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$, 所述的校正光源非线性扫频的方法包括以下步骤:

步骤一是数据预处理, 包括测量并记录光频域偏振串音测量系统所生成的主干涉信号 $I_{main}(t)$ 和辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$, 待测器件的光程差 ΔL_1 , 主干涉仪模块光程差 ΔL_2 , 辅助干涉仪模块光程差 ΔL_3 , 记录真空中的光速 c , 计算附加延迟常数 t_d , 计算辅助干涉仪相位关于时间的关系 $\varphi_{aux}(t)$;

步骤二根据辅助干涉仪相位关于时间的关系 $\varphi_{aux}(t)$ 评估实际的扫频速率 $\gamma_0(t)$;

步骤三对 $\varphi_{aux}(t)$ 进行网格划分, 根据辅助干涉仪相位关于时间的关系 $\varphi_{aux}(t)$ 计算辅助干涉仪相位的最大值, 对其进行相位划分, 得到划分间隔为 $\delta\varphi_n$

的相位网格 $\varphi_g(n) = \sum_{i=0}^n \delta\varphi_n$;

步骤四利用插值方法根据相位网格 $\varphi_g(n)$ 对 $\varphi_{aux}(t)$ 进行插值间隔为 $\delta\varphi_n$ 的

插值，重新得到时间关于相位的时间网格 $t_r = t[\varphi_g(n)]$ ；

步骤五根据步骤一所得到的附加延迟常数 t_d 对时间网格 $t_r = t[\varphi_g(n)]$ 进行时延校正，计算得到插值函数 $t_{rd} = t_r + t_d$ ；

步骤六利用插值方法根据插值函数 t_{rd} 对主干涉信号 $I_{main}(t)$ 进行插值得到插值后的主干涉信号 $I_{main}(t_{rd})$ ；

步骤一所述的计算附加延迟常数 t_d 计算主干涉信号 $I_{main}(t)$ 和辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$ 的采集时间差；

步骤一所述的计算辅助干涉仪相位关于时间的关系 $\varphi_{aux}(t)$ 是对已经记录的辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$ 进行希尔伯特变换，得到辅助干涉仪相位关于时间的函数关系 $\varphi_{aux}(t)$ ；

步骤二所述评估实际的扫频速率 $\gamma_0(t)$ 是根据辅助干涉仪相位关于时间的函数关系 $\varphi_{aux}(t)$ 对时间求微分，得到 $\varphi_{aux}(t)$ 的角频率 $\omega = d\varphi_{aux}(t)/dt = 2\pi\gamma_0(t)\Delta L_3/c$ ，进而可以得到扫频速率 $\gamma_0(t) = \omega c / 2\pi\Delta L_3$ ；

步骤三所述相位划分是计算所需的采集时间间隔 $t = 1 / \{[(\Delta L_1 + \Delta L_2)/c] \cdot 2\gamma_0(t)\}$ ，之后根据计算得到的角频率 ω 以及所需的采集时间间隔 t ，计算相位划分的间隔 $\delta\varphi_n = \omega t$ 从而进行相位划分；

步骤四所述的插值方法为样条插值；

步骤六所述的插值方法为样条插值。

本发明公开了一种光频域偏振串音测量中用于校正光源扫频非线性的方法，适用于光频域测量，在一般的光频域偏振串音测量中，由于激光器非线性扫频的影响会造成最后的测量结果出现脉冲展宽而造成混叠等劣化测量结果的情况，进而极大的影响测量的精度，而传统的硬件校正方法局限性过大无法针对多种实际情况去实现灵活调整，还会对测量的长度造成较大的限制，此外目前的多种软件校正方法又各自存在相应的局限性，例如非均匀傅里叶变换在测量长度过长的情况下效果大幅下降，过零点检测数据量大且对采集卡采样率要求较高等，且上

述的软件校正的方法也都没有考虑过使用辅助干涉信号对主干涉信号进行校正时，二者之间的采集时延对校正结果的影响。

本发明还提出了一种具有校正功能的光频域偏振串音测量系统，光由光源发出经耦合器分光后一束经过待测器件后通过主干涉仪生成主干涉信号被采集模块所采集，另一束经过辅助干涉仪后生成辅助干涉信号后同样被采集模块所采集，所述的方法首先对辅助干涉信号进行相位划分，之后进行插值得到插值后的以相位为自变量，相位和时间的函数，在结合辅助干涉信号和主干涉信号之间的时延，对主干涉信号在时域进行插值校正其中的非线性扫频，从而提高了测量系统的动态范围和空间分辨率。

与现有技术相比，本发明的优点在于：

(1) 待测器件长度不受辅助干涉仪臂长差的限制，且进行数据采集的时候所采集的数据量较小，降低了系统对采集卡采样率的要求；

(2) 在对光源的非线性扫频的补偿过程中，避免了在采集辅助干涉信号与主干涉信号时二者之间存在的采集时延对补偿结果的影响，进一步提升了光源非线性补偿的效果，同时进一步提高了测量精度。

附图说明：

图 1 是一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法流程图；

图 2 是光频域偏振串音测量系统的装置图；

图 3 是未对主干涉信号进行校正时的测量结果；

图 4 是对主干涉信号进行校正时不额外增加附加延时常数 t_d 的校正结果；

图 5 是是对主干涉信号进行校正时不额外增加附加延时常数 t_d 的校正结果的局部放大图；

图 6 是对主干涉信号进行校正时额外增加附加延时常数 t_d 的校正结果；

图 7 是对主干涉信号进行校正时额外增加附加延时常数 t_d 的校正结果的局部放大图。

具体实施方式：

为清楚地说明本发明一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，结合实例和附图对本发明作进一步说明，但不应以此限制本发明的保护范围。

实施例 1

在本实施方案中，使用采集卡对主干涉信号进行等时间间隔采样，激光器发出的光通过主干涉仪的参考路和测量路后发生拍频，将拍频信号通过傅里叶变换从时域变换到频域之后，理想情况下，会不同的频率得到对应的带有待测器件特征的单频信号，但是由于激光器的非线性扫频现象，拍频信号实际上在真实的频率附近波动，这样解出的信号不再是单一频率，而在光频域偏振串音测量系统中，频率和待测器件特征的位置一一对应，所以造成测量精度的大幅下降。

本发明提出在光频域偏振串音测量系统中加入辅助干涉仪，使用辅助干涉仪的相位与时间的关系，在结合主干涉信号和辅助干涉信号之间的采集时延，补偿激光器的非线性扫频对主干涉信号的影响。

如图 2 所示是本实施方案所使用的光频域偏振串音测量系统，光源 10 通过第一耦合器 11 分为两束，分光为 99 的一束通过起偏器 21 注入待测器件 22，后经过检偏器 23 后注入到第二耦合器 31 中分束，分别经过主干涉仪上臂 32 和主干涉仪下臂 33，在第三耦合器 34 合束后被第一差分探测器 35 接收，分光为 1 的另一束注入第四耦合器 41 分束分别经过辅助干涉仪上臂 42 和辅助干涉仪下臂 43，在第五耦合器 44 合束后被第二差分探测器 45 接收，采集卡 51 分别采集第一差分探测器 35 和第二差分探测器 45 所输出的信号，后送入计算机 52 使用如本发明所述的校正方法对激光器的非线性扫频进行校正。

利用本发明所述的光源非线性扫频的校正方法结合上述光偏振串音测量系统对一个 $L_1=1800m$ 的光纤环进行测试。所使用的实验系统为上述光频域偏振串音测量系统，所用光源 10 扫频范围 1510-1620nm，扫频速度 80nm/s，主干涉仪臂长差为 $L_2=3m$ ，辅助干涉仪臂长差为 $L_3=5m$ ，保偏线性双折射 $\Delta n=5 \times 10^{-4}$ ，单模光纤的折射率 $n=1.456$ ，采集卡采样率为 11.25MHz/s，第一耦合器分光比为 1:99，第二耦合器，第三耦合器，第四耦合器，第五耦合器分光比均为 50:50，具体校正流程如下。

首先，在对数据进行校正之前，首先进行数据预处理，即为测量并记录光频域偏振串音测量系统所生成的主干涉信号 $I_{main}(t)$ 和辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$ ，记录待测器件 22 的光程差 $\Delta L_1=L_1\Delta n=0.9m$ ，主干涉仪模块 30 光程差

$\Delta L_2 = L_2 n = 4.368m$ ，辅助干涉仪模块 40 光程差 $\Delta L_3 = L_3 n = 7.28m$ ，记录扫频速度 $\gamma_0 = 80nm/s$ ，真空中的光速 $c = 3 \times 10^8 m/s$ ，计算主干涉信号与辅助干涉信号的采集时间差得到附加延时常数 $t_d = 9.2 \times 10^{-6}$ ；

对所采集的辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$ 进行相位计算，此处可选用的相位计算方法有，IQ 解调，希尔伯特变换等，这里使用的为比较通用且较为简单的希尔伯特变换法，之后对希尔伯特变换后的信号求解相角，后解卷绕，从而得到辅助干涉仪相位随时间的变化关系 $\varphi_{aux}(t)$ ，如果激光器的扫频是线性的，那么根据该关系得到的相位随时间变化的曲线应该是线性的，很显然在实际情况下，由于激光器的非线性扫频，这条曲线是在固定斜率下存在波动的；

根据 $\varphi_{aux}(t)$ 估计激光器的实际扫频速率 $\gamma_0(t)$ ，首先 $\varphi_{aux}(t)$ 对时间求微分，得到 $\varphi_1 = d\varphi_{aux}(t)/dt = 2\pi\Delta L_3 \gamma_0(t)/c$ ，进而得到扫频速率 $\gamma_0(t) = \varphi_1 c / 2\pi\Delta L_3$ ，带入已知量得到 $\gamma_0(t) = (2.06 \times 10^7 \varphi_1) / \pi$ ；

其次对 $\varphi_{aux}(t)$ 进行相位上的划分，具体划分过程为首先计算出 $\varphi_{aux}(t)$ 所对应的最大相位值为 $\varphi_{aux}(t_{max}) = 7.3269 \times 10^5 \pi$ ，其次计算 $\varphi_{aux}(t)$ 的角频率 $\omega = 2\pi\gamma_0(t)\Delta L_3 / c$ 以及计算所需的采集时间间隔 $t = 1 / \{[(\Delta L_1 + \Delta L_2) / c] \cdot 2\gamma_0(t)\}$ ，从而得到相位划分间隔为 $\delta\varphi_n = kt = \Delta L_3 \pi / (\Delta L_1 + \Delta L_2) = 1.3819\pi$ 的相位网格

$$\varphi_g(n) = \sum_{i=0}^n \delta\varphi_n ;$$

第三步，根据所划分的相位间隔 $\delta\varphi_n = 1.3819\pi$ 所对应的相位网格 $\varphi_g(n)$ ，对时间 t 进行插值，插值后重新得到时间关于相位的函数 $t_r = t[\varphi_g(n)]$ ，此时可以知道，相位 $\varphi_g(n)$ 已经变成了自变量，并且是线性变化的。此处的插值方法可选用线性插值、样条插值等，样条插值是比较合适的，其效果最好；

第四步，根据第三步得到的时间关于相位的函数 $t_r = t[\varphi_g(n)]$ 和第一步得到的附加延时常数 t_d 计算得到插值函数 $t_{rd} = t_r + t_d = t[\varphi_g(n)] + 9.2 \times 10^{-6}$ ，此处是为了避免由于采集卡的采集不同步对补偿效果造成不利的影响，降低精度；

第五步，根据插值函数 $t_{rd} = t_r + t_d$ 对所记录的主干涉信号 $I_{main}(t)$ 进行插值，虽然 t_{rd} 是不规律，但是由上面的步骤可以知道，其对应的相位是线性变化的，

这样在对主干涉信号进行插值之后，我们就可以实现相位随时间的连续变化，从而实现了激光器的非线性扫频的校正。

如图 3 中的 501 所示是未校正非线性扫频的主干涉信号，由于激光器非线性扫频的影响可以看出待测光纤环的所有特征已经由于激光器非线性扫频带来的频率波动变成了一个包络的形状，所有的特征都已经无法区分，空间分辨率已经劣化到了一个相当严重的水平且动态范围只有 45dB 左右，如图 4 所示的 601 是在只使用 t_r 对主干涉信号进行插值后实现对激光器的非线性扫频的校正，不添加附加延迟常数 t_d 得到的结果，可以发现不仅动态范围提升到了 80dB 左右，而且空间分辨率同样有所提升，特征信息已经不再是一个包络，能够初步的分辨，但是所显示的特征与待测光纤环的实际特征还是存在较大的差别，放到主峰附近的图形如图 5 中的 602 所示，可以发现仍然存在许多由于激光器非线性扫频所带来的频率波动，这说明激光器的非线性扫频还未被完全的校正，仍在存在频率的抖动导致测量结果的不准确，如图 6 中所示的 701 是添加了附加延迟常数 t_d 得到插值函数 t_{rd} ，再使用 t_{rd} 对主干涉信号进行插值从而实现对激光器的非线性扫频的校正后得到的结果，可以看出待测器件的特征已经清晰明了，动态范围提升到了 100dB 左右，放大主峰附近的图形如图 7 中的 703 所示，可以看出对比 602，图形更加平坦且已经基本上没有杂散峰，并且所显示的特征信息已经和待测光纤环基本一致，所示的 702 为测试过程中光路所带来的杂散峰。实验结果表明：该方法很大程度上抑制了激光器的非线性扫频，极大的提高了系统的空间分辨率和动态范围。

以上所述仅为本发明的部分实施方式，应当指出，对本技术领域的人员来说，在不脱离本发明原理的基础上对其进行一定的改进，这些改进也应该视为本发明的保护范围。

权利要求书

1. 一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，所述的光频域偏振串音测量所使用的光频域偏振串音测量系统包括光源(10)、待测器件模块(20)、主干涉仪模块(30)、辅助干涉仪模块(40)，数据采集模块(50)，其中待测器件模块(20)和辅助干涉仪模块(40)分别与光源(10)相连，待测器件模块(20)再与主干涉仪模块(30)相连，主干涉仪模块(30)再与数据采集模块(50)相连，辅助干涉仪模块(40)同样与数据采集模块(50)相连，主干涉仪模块(30)产生主干涉信号 $I_{main}(t)$ ，同时也设置了辅助干涉仪模块(40)，辅助干涉仪模块(40)生成用于校正主干涉信号 $I_{main}(t)$ 的辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$ ，其特征在于，所述的校正光源非线性扫频的方法包括以下步骤：

步骤一，数据预处理，包括测量并记录光频域偏振串音测量系统所生成的主干涉信号 $I_{main}(t)$ 和辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$ 、待测器件(22)的光程差 ΔL_1 、主干涉仪模块(30)光程差 ΔL_2 、辅助干涉仪模块(40)光程差 ΔL_3 ，记录真空中的光速 c ，计算附加延迟常数 t_d ，计算辅助干涉仪相位关于时间的关系 $\varphi_{aux}(t)$ ；

步骤二，根据辅助干涉仪相位关于时间的关系 $\varphi_{aux}(t)$ 评估实际的扫频速率 $\gamma_0(t)$ ；

步骤三，对 $\varphi_{aux}(t)$ 进行网格划分，根据辅助干涉仪相位关于时间的关系 $\varphi_{aux}(t)$ 计算辅助干涉仪相位的最大值，对其进行相位划分，得到划分间隔为 $\delta\varphi_n$ 的相位网格 $\varphi_g(n) = \sum_{i=0}^n \delta\varphi_n$ ；

步骤四，利用插值方法根据相位网格 $\varphi_g(n)$ 对 $\varphi_{aux}(t)$ 进行插值间隔为 $\delta\varphi_n$ 的插值，重新得到时间关于相位的时间网格 $t_r = t[\varphi_g(n)]$ ；

步骤五，根据步骤一所得到的附加延迟常数 t_d 对时间网格 $t_r = t[\varphi_g(n)]$ 进行时延校正，计算得到插值函数 $t_{rd} = t_r + t_d$ ；

步骤六，利用插值方法根据插值函数 t_{rd} 对主干涉信号 $I_{main}(t)$ 进行插值得到插值后的主干涉信号 $I_{main}(t_{rd})$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，其特征在于：计算附加延迟常数 t_d 是计算主干涉信号 $I_{main}(t)$ 和辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$ 的采集时间差。

3. 根据权利要求 1 所述的一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，其特征在于：步骤一所述计算辅助干涉仪相位关于时间的关系 $\varphi_{aux}(t)$ 是对已经记录的辅助干涉信号 $I_{aux}(t)$ 进行希尔伯特变换，得到辅助干涉仪相位关于时间的函数关系 $\varphi_{aux}(t)$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，其特征在于：步骤二所述的评估实际的扫频速率 $\gamma_0(t)$ 是根据辅助干涉仪相位关于时间的函数关系 $\varphi_{aux}(t)$ 对时间求微分，得到 $\varphi_{aux}(t)$ 的角频率

$$\omega = d\varphi_{aux}(t)/dt = 2\pi\gamma_0(t)\Delta L_3/c, \text{ 进而可以得到扫频速率 } \gamma_0(t) = \omega c / 2\pi\Delta L_3。$$

5. 根据权利要求 1 所述的一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，其特征在于：步骤三所述的相位划分是计算所需的采集时间间隔

$t = 1/\{[(\Delta L_1 + \Delta L_2)/c] \cdot 2\gamma_0(t)\}$ ，之后根据计算得到的角频率 ω 以及所需的采集时间间隔 t ，计算相位划分的间隔 $\delta\varphi_n = \omega t$ 从而进行相位划分。

6. 根据权利要求 1 所述的一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，其特征在于：步骤四所述的插值方法为样条插值。

7. 根据权利要求 1 所述的一种用于光频域偏振串音测量的光源扫频非线性校正方法，其特征在于：步骤六所述的插值方法为样条插值。

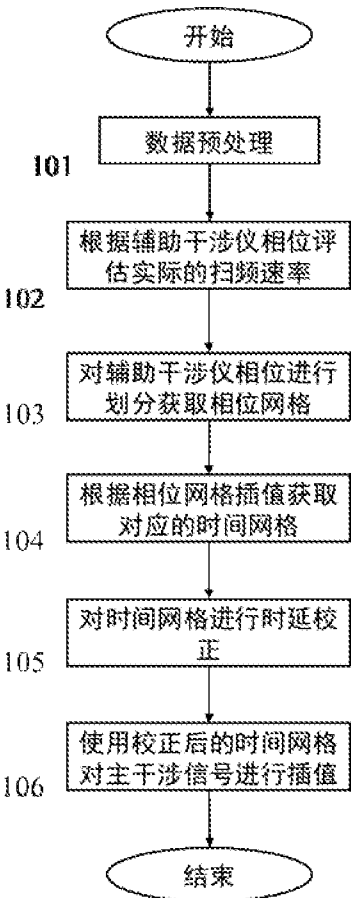


图 1

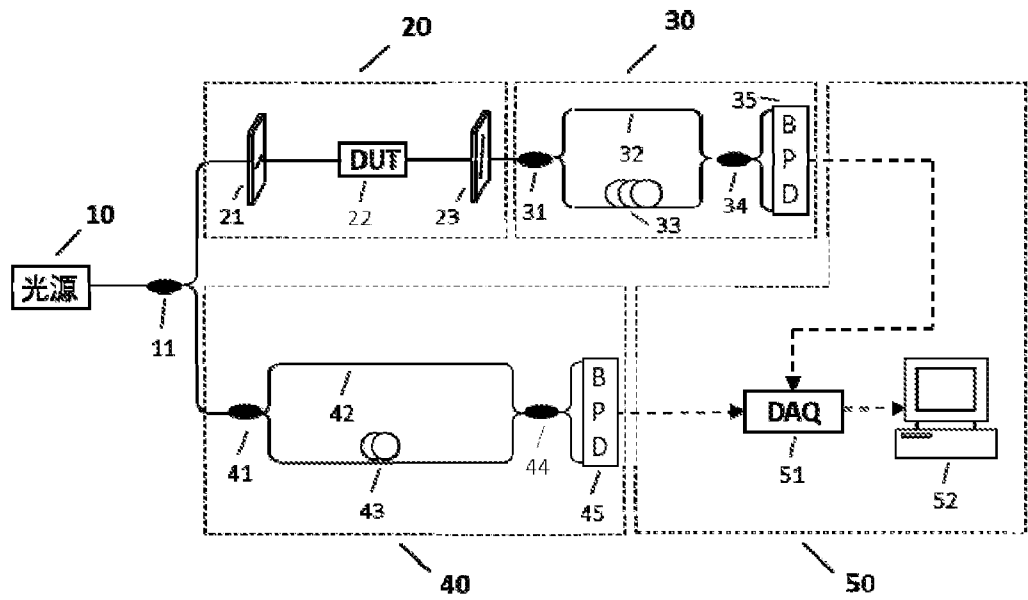


图 2

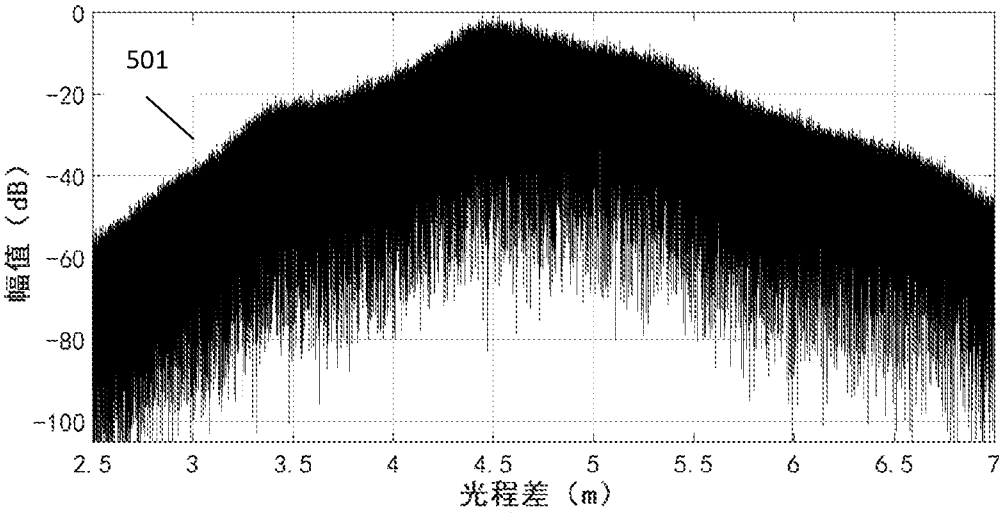


图 3

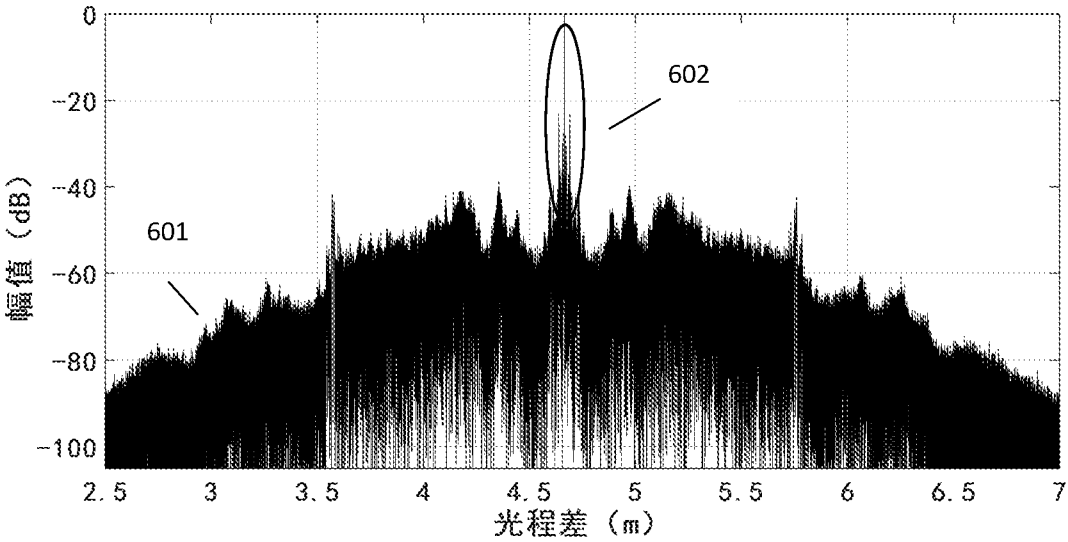


图 4

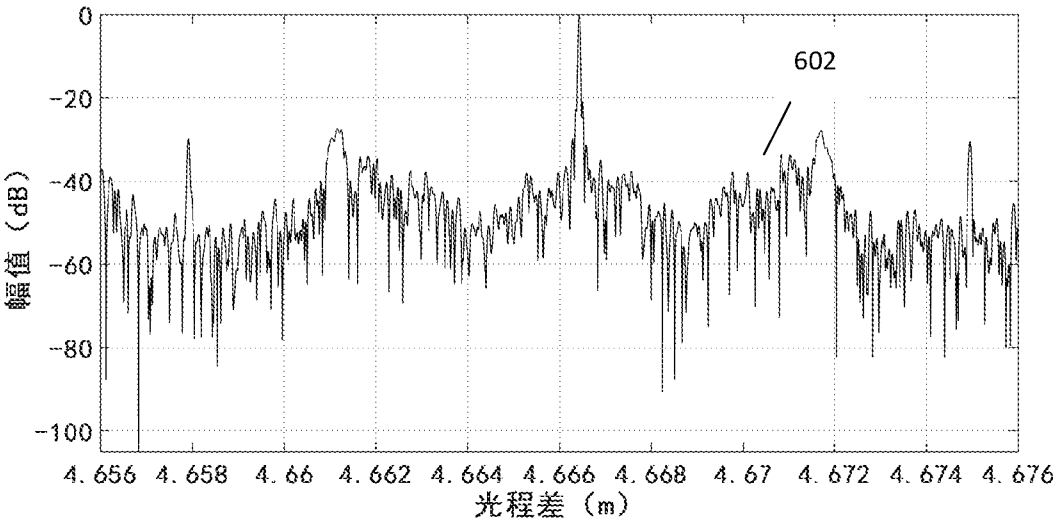


图 5

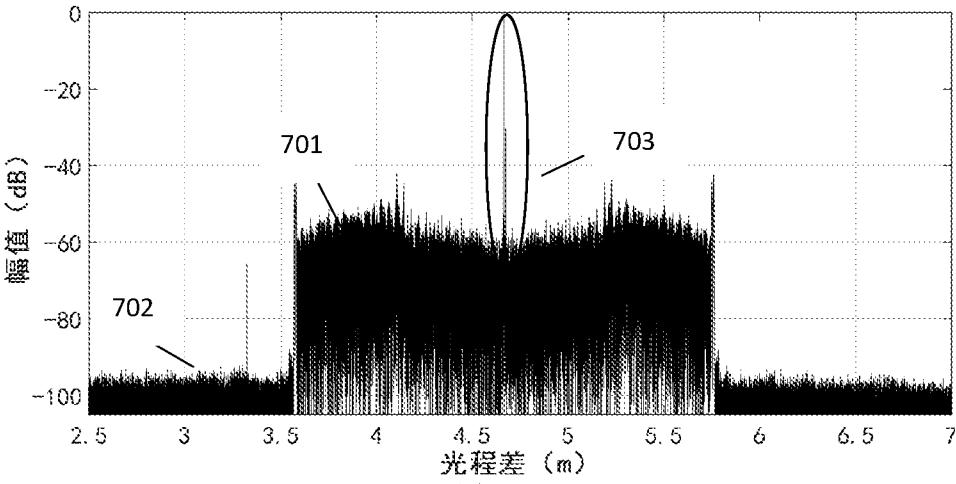


图 6

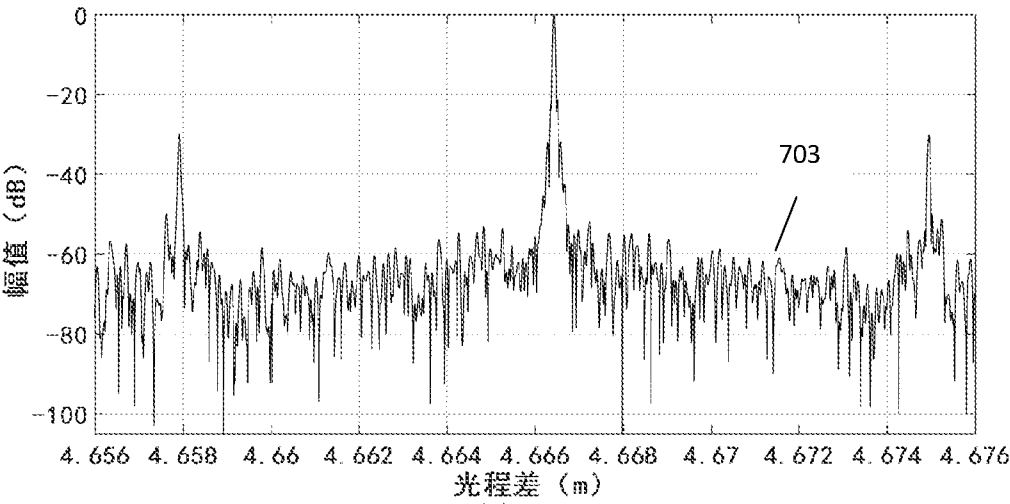


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/106574

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M 11/00(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)

G01M11

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)

CNABS, CNTXT, VEN, ENTXTC, CJFD: 频率, 扫描, 非线性, 校正, frequency, scan, nonlinearity, revise, correct

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113804404 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 17 December 2021 (2021-12-17) claims 1-7	1-7
A	CN 110487313 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 22 November 2019 (2019-11-22) entire document	1-7
A	US 2002191190 A1 (AGILENT TECHNOLOGIES INC.) 19 December 2002 (2002-12-19) entire document	1-7
A	US 2017276470 A1 (ANRITSU CORP.) 28 September 2017 (2017-09-28) entire document	1-7
A	US 2010145648 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF COLORADO, A BODY CORPORATE) 10 June 2010 (2010-06-10) entire document	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 September 2022

Date of mailing of the international search report

26 October 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/106574

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	113804404	A	17 December 2021	None			
CN	110487313	A	22 November 2019	None			
US	2002191190	A1	19 December 2002	DE	60100064	D1	23 January 2003
				EP	1191321	A1	27 March 2002
				JP	2003014585	A	15 January 2003
US	2017276470	A1	28 September 2017	JP	2017181115	A	05 October 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/106574

A. 主题的分类

G01M 11/00 (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)

G01M11

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))

: CNABS, CNTXT, VEN, ENTXTC, CJFD; 频率, 扫描, 非线性, 校正 frequency, scan, nonlinearity, revise, correct

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 113804404 A (广东工业大学) 2021年12月17日 (2021 - 12 - 17) 权利要求1-7	1-7
A	CN 110487313 A (哈尔滨工业大学) 2019年11月22日 (2019 - 11 - 22) 全文	1-7
A	US 2002191190 A1 (AGILENT TECHNOLOGIES INC) 2002年12月19日 (2002 - 12 - 19) 全文	1-7
A	US 2017276470 A1 (ANRITSU CORP) 2017年9月28日 (2017 - 09 - 28) 全文	1-7
A	US 2010145648 A1 (UNIV COLORADO REGENTS) 2010年6月10日 (2010 - 06 - 10) 全文	1-7

☐ 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

2022年9月20日

国际检索报告邮寄日期

2022年10月26日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (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

受权官员

刘斌

电话号码 (86-10)-62085728

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/106574

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	113804404	A	2021年12月17日	无			
CN	110487313	A	2019年11月22日	无			
US	2002191190	A1	2002年12月19日	DE	60100064	D1	2003年1月23日
				EP	1191321	A1	2002年3月27日
				JP	2003014585	A	2003年1月15日
US	2017276470	A1	2017年9月28日	JP	2017181115	A	2017年10月5日