

高精度反射式光纤湍流检测装置及方法

申请号: [201110238322.6](#)

申请日: 2011-08-19

申请(专利权)人 [中国科学院安徽光学精密机械研究所](#)
地址 [230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路350号](#)
发明(设计)人 [肖树妹 梅海平 邵世勇 武鹏飞 黄启凯 饶瑞中](#)
主分类号 [G01M9/06\(2006.01\)I](#)
分类号 [G01M9/06\(2006.01\)I](#) [G01N21/45\(2006.01\)I](#)
公开(公告)号 [102419247A](#)
公开(公告)日 [2012-04-18](#)
专利代理机构 [安徽合肥华信知识产权代理有限公司](#) [34112](#)
代理人 [余成俊](#)



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102419247 A

(43) 申请公布日 2012. 04. 18

(21) 申请号 201110238322. 6

(22) 申请日 2011. 08. 19

(71) 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究所

地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路 350 号

(72) 发明人 肖树妹 梅海平 邵世勇 武鹏飞 黄启凯 饶瑞中

(74) 专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理有限公司 34112

代理人 余成俊

(51) Int. Cl.

G01M 9/06 (2006. 01)

G01N 21/45 (2006. 01)

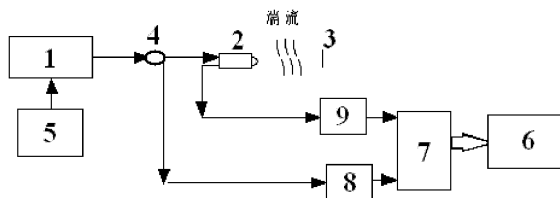
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称

高精度反射式光纤湍流检测装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高精度反射式光纤湍流检测装置及方法,本发明装置包括可调制的激光光源、反射式光纤湍流检测探头、信号处理模块,其中反射式光纤湍流检测探头是由准直器、光环形器、光隔离器、光纤构成,反射式光纤湍流检测探头只有一个臂,发生干涉两束光的光程差为光经过空气的光程。本发明方法通过本发明装置直接检测局域湍流大气折射率的微小起伏,适用于多种地理环境与多种天气情况,具有耐腐蚀,检测速度快,灵敏度高,体积小,易集成,操作简单等特点。



1. 高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:包括有可调制的激光光源、反射式光纤湍流检测探头、全反镜、信号处理模块,所述激光光源的出射光经过一个耦合器后分成两路,一路出射光为探测光送入反射式光纤湍流检测探头,另一路出射光为参考光送入信号处理模块,所述反射式光纤湍流检测探头包括准直器,以及分别接有光隔离器的输入光纤、输出光纤,所述输入光纤一端接有 FC/APC 接头,另一端接入准直器入光口,所述输出光纤一端接有 FC/APC 接头,另一端接入准直器出光口,所述全反镜与准直器间隔一定距离,全反镜的反射面对准准直器,且待检测湍流通过全反镜与准直器之间间隔;所述输入光纤通过 FC/APC 接头引入探测光,并将探测光通过光隔离器后送入准直器中,一部分探测光在准直器中反射至输出光纤,其余部分探测光透射过准直器后入射至全反镜,被所述全反镜反射后再透射入准直器中,并入射至输出光纤与探测光被准直器直接反射的部分发生干涉产生干涉光信号,所述干涉光信号通过输出光纤的光隔离器后送入信号处理模块。

2. 根据权利要求 1 所述的高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:可调制的激光光源由半导体激光器、接入半导体激光器调制端的信号发生器构成,所述信号发生器向半导体激光器发送调制电信号以调制半导体激光器的电流,使半导体激光器输出随所述调制电信号变化的载波激光。

3. 根据权利要求 1 所述的高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:反射式光纤湍流检测探头中还包括有环形器,所述输入光纤、输出光纤另一端分别接入环形器,通过环形器再接入准直器中。

4. 根据权利要求 1 所述的高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:所述准直器具有球面端头,准直器的端面镀有 30% 的增反膜。

5. 根据权利要求 1 所述的高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:所述信号处理模块包括计算机、接入计算机的数据采集卡、接入数据采集卡中的两路光电探测器,其中一路光电探测器接收参考光信号,另一路光电探测器接收干涉光信号。

6. 基于权利要求 1 的一种高精度反射式光纤湍流检测方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 控制信号发生器向半导体激光器发送调制电信号,半导体激光器出射随调制电信号变化的载波激光;

(2) 计算机控制采集卡进行信号采集,采集卡接入的两个光电探测器分别采集参考光信号、干涉光信号并分别将参考光信号、干涉光信号转化成电信号,采集卡将参考光信号对应的电信号、干涉光信号对应的电信号分别传送至计算机中;

(3) 在计算机中将干涉光信号对应的电信号除以参考光信号对应的电信号,将所得的信号进行滤直流处理,得到需要解调的湍流信号;

(4) 从参考信号中提取载波的波形信号 $\cos(\omega_c t)$, 及计算变化式 $\sin(2\omega_c t)$;

(5) 将需要解调的湍流信号分别乘以信号 $\cos(\omega_c t)$ 、 $\sin(2\omega_c t)$, 再将乘积分别送入带通滤波器中滤波,滤波后的结果相加,最后将相加的结果通过相关解调算法进行计算,得到准直器与全反镜之间的湍流随机相位差 $\varphi(t)$;

(6) 经 Δn 与 $\varphi(t)$ 的关系式 $\Delta n = \frac{\lambda}{2\pi L} \varphi(t)$, 将 $\Delta \varphi$ 转化为准直器与全反镜之间的折射率微小起伏 Δn , 然后统计 Δn 的起伏方差 $\sigma^2(\Delta n)$, 式中 L 为准直器与全反镜之间的距离, λ 为激光的波长。

高精度反射式光纤湍流检测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及大气光学湍流强度测量领域,具体为一种高精度反射式光纤湍流检测装置及方法。

背景技术

[0002] 湍流大气是一种非均匀的随机介质,其折射率是空间位置和时间的函数。当激光通过湍流大气时,大气湍流造成的折射率起伏将引起光束漂移、扩展、光强闪烁、相位起伏等湍流效应。这些效应制约着激光大气传输、自由空间光通讯、激光测距、光成像等光学工程的应用。因此,准确获取光传播路径上的光学湍流信息至关重要,主要包括折射率结构常数、折射率起伏方差、特征尺度和湍流折射率谱等。目前测量这些参数的方法主要有温度脉动法和光学方法。

[0003] 温度脉动法是一种通过测量大气温度起伏来获得大气湍流折射率起伏特性的间接测量法,其假定空气折射率的起伏特性完全取决于温度的起伏特性,常用的测量仪器是温度脉动仪。温度脉动法是目前最常用的测量湍流光学参数的方法,并为大气光学湍流的研究做出了不少的贡献。随着研究的深入,该方法日益突出其本身固有的缺陷,金属铂丝容易被折断、污染,空间和时间分辨率有限,不能检测小尺度湍流等。光学方法是利用湍流大气中光的传播效应来测量湍流光学参数,常用的方法有激光闪烁法、到达角起伏法等。激光闪烁法测量湍流强度的理论基础是弱起伏条件下的 Rytov 近似,当湍流足够强时,该方法失效。此外,还有人利用激光雷达测量大气湍流,在实际大气中,用于推导雷达方程的湍流各向同性和平稳性假设条件很难得以满足,雷达方程本身的形式尚待进一步完善,该方法还处于初步的探索阶段。目前根据湍流效应原理的光学方法测得的湍流光学参数都是进行长路径平均的结果,该方法难以获得局域折射率起伏特性。

[0004] 由于受技术条件的限制,传统的光学湍流测量手段要么是间接的要么是在假设前提下的测量,其结果存在不确定性,有报道称:分别用温度脉动法和光学方法测得的湍流参数在数值上可相差四倍以上。1995年, Mermelstein 提出了一种双空气间隙光纤 Mach-Zehnder 干涉测量技术原理,用于直接获取局域湍流大气折射率的微小起伏,其理论精度可达 10^{-3} 量级,但之后没有相关报道。

对于光纤 Mach-Zehnder 干涉仪来说,通常有两个臂,一臂作为传感臂,另一臂作为参考臂。干涉仪通过受外界的扰动而携带有外界信息的传感臂,检测外界信息。大气湍流是微弱、随机的,如果用闭合臂光纤 Mach-Zehnder 干涉仪来检测湍流,则不能很好的反映湍流情况。近年来,随着光电技术与相位载波调制解调技术的发展,已出现了利用两准直器对准的方法来检测湍流信息。此种方法首先利用耦合器将激光分成两束,一束用光纤连接到准直器,将激光打到空气中,在用另一个准直器接受激光作为信号光,另一束作为参考光,用另一个耦合器将这两束激光耦合发生干涉,干涉信号携带了大气影响的信息。此方法如果用单模光纤及单模器件来实现的话,由于单模光纤的双折射问题及两干涉仪臂所处的环境不一样,使发生干涉的两束光很难保证偏振态一致,这对检测的结果产生一定误差。保

偏光纤与保偏器件在一定程度上能解决偏振态问题,但保偏器件比较昂贵,使得成本增加不少;另一方面,保偏准直器增大了对准的难度。

发明内容

[0005] 本发明目的是提供一种高精度反射式光纤湍流检测装置及方法,以解决现有技术大气光学湍流检测系统测量不便具有局限性的问题。

[0006] 为了达到上述目的,本发明所采用的技术方案为:

高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:包括有可调制的激光光源、反射式光纤湍流检测探头、全反镜、信号处理模块,所述激光光源的出射光经过一个耦合器后分成两路,一路出射光为探测光送入反射式光纤湍流检测探头,另一路出射光为参考光送入信号处理模块,所述反射式光纤湍流检测探头包括准直器,以及分别接有光隔离器的输入光纤、输出光纤,所述输入光纤一端接有 FC/APC 接头,另一端接入准直器入光口,所述输出光纤一端接有 FC/APC 接头,另一端接入准直器出光口,所述全反镜与准直器间隔一定距离,全反镜的反射面对准准直器,且待检测湍流通过全反镜与准直器之间间隔;所述输入光纤通过 FC/APC 接头引入探测光,并将探测光通过光隔离器后送入准直器中,一部分探测光在准直器中反射至输出光纤,其余部分探测光透射过准直器后入射至全反镜,被所述全反镜反射后再透射入准直器中,并入射至输出光纤与探测光被准直器直接反射的部分发生干涉产生干涉光信号,所述干涉光信号通过输出光纤的光隔离器后送入信号处理模块。

[0007] 所述的高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:可调制的激光光源由半导体激光器、接入半导体激光器调制端的信号发生器构成,所述信号发生器向半导体激光器发送调制电信号以调制半导体激光器的电流,使半导体激光器输出随所述调制电信号变化的载波激光。

[0008] 所述的高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:反射式光纤湍流检测探头中还包括有环形器,所述输入光纤、输出光纤另一端分别接入环形器,通过环形器再接入准直器中。

[0009] 所述的高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:所述准直器具有球面端头,准直器的端面镀有 30% 的增反膜。

[0010] 所述的高精度反射式光纤湍流检测装置,其特征在于:所述信号处理模块包括计算机、接入计算机的数据采集卡、接入数据采集卡中的两路光电探测器,其中一路光电探测器接收参考光信号,另一路光电探测器接收干涉光信号。

[0011] 一种高精度反射式光纤湍流检测方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 控制信号发生器向半导体激光器发送调制电信号,半导体激光器出射随调制电信号变化的载波激光;

(2) 计算机控制采集卡进行信号采集,采集卡接入的两个光电探测器分别采集参考光信号、干涉光信号并分别将参考光信号、干涉光信号转化成电信号,采集卡将参考光信号对应的电信号、干涉光信号对应的电信号分别传送至计算机中;

(3) 在计算机中将干涉光信号对应的电信号除以参考光信号对应的电信号,将所得的信号进行滤直流处理,得到需要解调的湍流信号;

(4) 从参考信号中提取载波的波形信号 $\cos(\omega_c t)$, 及计算变化式 $\sin(2\omega_c t)$;

(5) 将需要解调的湍流信号分别乘以信号 $\cos(\omega_c t)$ 、 $\sin(2\omega_c t)$ ，再将乘积分别送入带通滤波器中滤波，滤波后的结果相加，最后将相加的结果通过相关解调算法进行计算，得到准直器与全反镜之间的湍流随机相位差 $\varphi(t)$ ；

(6) 经 Δn 与 $\varphi(t)$ 的关系式 $\Delta n = \frac{\lambda}{2\pi L} \varphi(t)$ ，将 $\Delta \varphi$ 转化为准直器与全反镜之间的折射率微小起伏 Δn ，然后统计 Δn 的起伏方差 $\sigma^2(\Delta n)$ ，式中 L 为准直器与全反镜之间的距离， λ 为激光的波长。

[0012] 本发明中，反射式光纤湍流检测探头只有一个臂，干涉光的光程差为光经过空气的光程，即光经过全反镜和准直器之间间隔的光程，需解调的湍流相位差利用相关解调算法获得，实现了直接检测局域大气湍流强度，测量数据能够反映真实的大气状况。

[0013] 本发明适用于海洋腐蚀性的环境及阴雨天气，提高了时间、空间分辨率，检测速度快，灵敏度高，体积小，易集成，操作简单。

附图说明

[0014] 图 1 为本发明装置原理图。

[0015] 图 2 为本发明反射式光纤湍流检测探头结构示意图。

[0016] 图 3 为本发明反射式光纤湍流检测探头光学原理图。

[0017] 图 4 为本发明方法相关解调计算流程图。

[0018] 图 5 为干涉信号曲线图。

[0019] 图 6 为相位差信号曲线图。

具体实施方式

[0020] 如图 1、图 2、图 3 所示。高精度反射式光纤湍流检测装置，包括有可调制的激光光源、反射式光纤湍流检测探头 2、全反镜 3、信号处理模块，可调制的激光光源由半导体激光器 1、接入半导体激光器 1 调制端的信号发生器 5 构成，信号发生器 5 向半导体激光器 1 发送调制电信号以调制半导体激光器 1 的电流，使半导体激光器 1 输出随调制电信号变化的载波激光。激光光源 1 的出射光经过一个耦合器 4 后分成两路，一路出射光为探测光送入反射式光纤湍流检测探头 2，另一路出射光为参考光送入信号处理模块，反射式光纤湍流检测探头 2 包括准直器 201，以及分别接有光隔离器 202 的输入光纤 204、接有光隔离器 203 输出光纤 205，输入光纤 204 一端接有 FC/APC 接头 206，另一端接入准直器 201 入光口，输出光纤 205 一端接有 FC/APC 接头 207，另一端接入准直器出光口 201，全反镜 3 与准直器 201 间隔一定距离，全反镜 3 的反射面对准准直器 201，且待检测湍流通过全反镜 3 与准直器 201 之间间隔；输入光纤 204 通过 FC/APC 接头 206 引入探测光，并将探测光通过光隔离器 202 后送入准直器 201 中，一部分探测光在准直器 201 中反射至输出光纤 205，其余部分探测光透射过准直器 201 后入射至全反镜 3，被全反镜 3 反射后再透射入准直器 201 中，并入射至输出光纤 205 与探测光被准直器 201 直接反射的部分发生干涉产生干涉光信号，干涉光信号通过输出光纤 205 的光隔离器 203 后送入信号处理模块。

[0021] 反射式光纤湍流检测探头 2 中还包括有环形器 208，输入光纤 204、输出光纤 205

另一端分别接入环形器 208, 通过环形器 208 再接入准直器 201 中。准直器 201 具有球面端头, 准直器 201 的端面镀有 30% 的增反膜。

[0022] 信号处理模块包括计算机 6、接入计算机 6 的数据采集卡 7、接入数据采集卡 7 中的两路光电探测器 8、9, 其中一路光电探测器 8 接收参考光信号, 另一路光电探测器 9 接收干涉光信号。

[0023] 如图 4 所示。一种高精度反射式光纤湍流检测方法, 包括以下步骤:

(1) 控制信号发生器向半导体激光器发送调制电信号, 半导体激光器出射随调制电信号变化的载波激光;

(2) 计算机控制采集卡进行信号采集, 采集卡接入的两个光电探测器分别采集参考光信号、干涉光信号并分别将参考光信号、干涉光信号转化成电信号, 采集卡将参考光信号对应的电信号、干涉光信号对应的电信号分别传送至计算机中;

(3) 在计算机中将干涉光信号对应的电信号除以参考光信号对应的电信号, 将所得的信号进行滤直流处理, 得到需要解调的湍流信号;

(4) 从参考信号中提取载波的波形信号 $\cos(\omega_c t)$, 及计算变化式 $\sin(2\omega_c t)$;

(5) 将需要解调的湍流信号分别乘以信号 $\cos(\omega_c t)$ 、 $\sin(2\omega_c t)$, 再将乘积分别送入带通滤波器中滤波, 滤波后的结果相加, 最后将相加的结果通过相关解调算法进行计算, 得到准直器与全反镜之间的湍流随机相位差 $\varphi(t)$;

(6) 经 Δn 与 $\varphi(t)$ 的关系式 $\Delta n = \frac{\lambda}{2\pi L} \varphi(t)$, 将 $\Delta \varphi$ 转化为准直器与全反镜之间的折射率微小起伏 Δn , 然后统计 Δn 的起伏方差 $\sigma^2(\Delta n)$, 式中 L 为准直器与全反镜之间的距离, λ 为激光的波长。

[0024] 本发明理论依据: 反射式光纤湍流检测探头由一个端面镀有 30% 增反膜的准直器、一个全反镜、一个光环形器和两个光隔离器组成。准直器使用的是球面头, 避免准直器与全反镜之间产生光的震荡。当载波激光进入探头时, 首先经过一个光隔离器以避免接头端面反射光对激光器产生干扰, 然后进入光环形器, 再进入准直器, 光在准直器端面 30% 被返回, 70% 被透射, 透射光经过一段 10cm 长的空气段后, 由全反镜反射回准直器中, 在经过准直器端面透射后进入光纤中与前面第一次反射的光发生干涉, 此干涉信号包含了大气湍流对光的影响信息。采集干涉信号, 经信号处理及相位解调算法后, 就可以得到湍流的折射率起伏。

[0025] 在准直器端面镀一层 30% 的增反膜的原由: 假设入射光的光强为 I_{in} , 准直器端面的反射率为 χ , 则经准直器端面反射的光的光强为 $I_{in} \chi$, 透射光的光强为 $I_{in}(1-\chi)$, 透射光经过一段空气后由全反射镜返回到准直器中的光的光强为 $I_{in}(1-\chi)(1-\chi)$ 。为使两相干光束的光强相近, 故反射率应满足下面关系式:

$$I_{in} \chi = I_{in}(1-\chi)(1-\chi) \quad (1)$$

解得: $\chi = 38\%$, 由于透射光经空气段后反射回来会产生一定的损耗以及镀膜技术要求, 故准直器的端面上镀 30% 的增反膜。

[0026] 干涉信号的形式及解调算法

设信号发生器产生 $V_m = A_m \cos(\omega_c t)$ 的调制电压信号, A_m 是信号的振幅, ω_c 是信号的角频率。当调制信号经输出电流为 i_0 、电压电流调制率为 β 的激光控制器得驱动电流:

$$i = i_0 + \beta A_m \cos(\omega_c t), \quad (2)$$

用之驱动电流光功率调制率为 k_{LD} , 电流频率调制率为 η 的半导体激光器, 得载波激光的光功率与频率为:

$$P = P_0 + k_{LD} \beta A_m \cos(\omega_c t), \quad (3)$$

$$\nu = \nu_0 + \delta\nu = \nu_0 + \eta \beta A_m \cos(\omega_c t), \quad (4)$$

其中 P_0 和 ν_0 分别为光功率和频率的直流量。当载波激光经反射式光纤湍流检测探头后, 发生干涉的两束光产生的相位差为:

$$\psi(t) = (2\pi n l \eta \beta A_m / c) \cos(\omega_c t) + \varphi(t), \quad (5)$$

其中 n 为平均空气折射率 ($n \approx 1$), l 为发生干涉两束光的光程差, c 为真空中的光速, $\varphi(t) = \varphi_0 + \varphi'(t)$, $\varphi_0(t) = 2\pi n l \nu_0 / c$ 为一个常量, $\varphi'(t)$ 为大气湍流引入的随机相位变化。为了防止信号混叠, 这里 $\omega_\varphi < \omega_c / 2$ 。设发生干涉两束光的功率占总功率的百分比分别为 α_1 , α_2 , 光电探测器的功率电压转化效率为 k_{PD} ($k_{PD} = V_{output} / P_{output}$), 则干涉信号为:

$$\begin{aligned} V_{output} &= k_{PD} P_{output} \\ &= [k_{PD} P_0 + k_{PD} k_{LD} \beta A_m \cos(\omega_c t)] \{ \alpha_1 + \alpha_2 + 2\sqrt{\alpha_1 \alpha_2} \cos[(2\pi n l \beta A_m / c) \cos(\omega_c t) + \varphi(t)] \} \\ &= \{ A + B \cos[C \cos(\omega_c t) + \varphi(t)] \} [D + E \cos(\omega_c t)] \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $A = \alpha_1 + \alpha_2$, $B = 2\sqrt{\alpha_1 \alpha_2}$, $C = 2\pi n l \beta A_m / c$, $D = k_{PD} P_0$, $E = k_{PD} k_{LD} \beta A_m$

将载波激光用耦合器分成两路, 一路直接用采集卡采集作为参考信号, 另一路经探头, 则参考信号与干涉信号如下:

$$\text{参考信号: } I_R = D + E \cos(\omega_c t) \quad (7)$$

$$\text{干涉信号: } I_I = \{ A + B \cos[C \cos(\omega_c t) + \varphi(t)] \} [D + E \cos(\omega_c t)] \quad (8)$$

将干涉信号除以参考信号, 在对其进行滤直流处理后得到需要解调的信号 $I = B \cos[C \cos(\omega_c t) + \varphi(t)]$ 包含了湍流随机相位。对信号 I 进行 Bessel 级数展开,

$$\text{即 } j(t) = \arccos\left(\frac{R_x(0)}{\sqrt{R_x(0)R_y(0)}}\right)。$$

计算机处理的是经 A/D 采样后的离散时间序列, 即 $x(n)$ 、 $y(n)$, 其中 $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$, N 为总的采样点数。设 f_s 为采样率, 定义参与一次相关运算的数据长度为相关长度 M_T 。对于离散的时间序列, 在一个相关长度内的相关运算由积分式变为求和式, 即

$$\begin{aligned} R_x(0) &= \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{M_T-1} x^2(n), \\ R_y(0) &= \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{M_T-1} x(n)y(n), \\ R_z(0) &= \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{M_T-1} y^2(n) \end{aligned} \quad (18)$$

设置总采样点数 N 恰好为相关长度 M_T 的 k 倍, 那么经过相关运算获得动态的随机相位差时间序列 j_1, j_2, \dots, j_k , 则空间距离 L 上的平均折射率起伏 Δn 为:

$$\Delta n = \frac{\lambda}{2\pi L} \varphi(t) \quad (19)$$

方差:

$$\sigma^2(\Delta n) = \left(\frac{\lambda}{2\pi L}\right)^2 \sigma^2(\Delta \varphi) \quad (20)$$

本发明中, 用信号发生器产生一个频率为 2000Hz , 振幅为 200mA 的余弦信号作为直接调制激光光源的调制信号, 湍流信号的频率一般只有几十到几百赫兹, 故调制信号的频率取 2000Hz 。

[0028] 本发明选用的光源是分布式半导体激光器, 波长 1550nm , 相干长度大于 1m , 通过信号发生器发出的调制信号调节激光控制器的电流来微调激光器的输出频率, 使之形成载波激光。此激光器体积小易与光纤耦合, 且此波段的光在光纤中传播的损耗比较小。

[0029] 准直器选用球面头, 防止光在准直器与全反镜间形成震荡, 准直器端面镀一层 30% 增反膜。

[0030] 载波激光进入探头后, 30% 被反射, 70% 被透射, 透射光经过一段 10cm 长的空气段后, 由全反镜反射回准直器中与前面被反射的光发生干涉, 此信号包含了湍流大气对激光的影响信息。

[0031] 本装置激光器发出的光为线偏振光, 当激光经过准直器端面时, 反射光与透射光偏振态一致, 全反镜不改变偏振光的偏振态, 空气也不改变光的偏振态, 故保持了参考光与信号光发生干涉时偏振态的一致性。

[0032] 采集干涉信号、参考信号进行一系列复杂的信号处理, 解调算法原理如图 4 所示。

[0033] 光纤接头为 FC/APC 头, FC/APC 头光纤端面为 8° 左右的倾斜角, 防止光纤端面的菲涅尔反射。

[0034] 本发明探头装在实验场地上, 用光纤与光缆连接, 光纤、光缆及全反镜都是玻璃制品, 探头光纤外壳是塑料制品, 都具有耐腐蚀性, 故本发明可以实现海洋腐蚀性环境的测

量。

[0035] 本探头通过大气湍流对光的直接影响检测湍流的强度,在晴天、多云、阴天以及雨天都可以检测大气的一些信息,这是很有意义的。

[0036] 具体实施例:

1、用一个支架固定探头,另一个带调整旋钮的支架固定全反镜,调节支架与旋钮使探头与全反镜间的距离为 10cm,探头能够接收的能量达到极大值。

[0037] 2、利用信号发生器产生一个余弦电压信号 $V_m = 0.2\cos(4000\pi t)$ 作为调制信号。

[0038] 3、将调制信号直接加载到半导体激光器的控制器上,通过驱动激光控制器的电流使激光器产生随调制信号变化的激光,称为载波激光。

[0039] 4、用 1×2 耦合器将载波激光分成两路:一路接反射式光纤湍流检测探头的入光口,载波激光从准直器射出,经 10cm 空气段后由全反镜返回,探头的出光口接光电探测器;另一路直接经光电探测器。

[0040] 5、设置采样率 $f_s = 100000\text{Hz}$, 采样数 $N = 500000$, 即 5s 统计一次数据,用采集卡采集两路信号,经探头的一路称为干涉信号,另一路信号作为参考信号。

[0041] 6、将采集的干涉信号除以参考信号滤直流后得到信号 $I = B \cos[C \cos(\omega_c t) + \varphi(t)]$ 。

[0042] 7、从参考信号 $I_R = D + E \cos(\omega_c t)$ 中提取 $\cos(\omega_c t)$ 信号,从采集的参考信号中提取信号的最大值 I_{\max} 、最小值 I_{\min} , 则 $D = (I_{\max} + I_{\min})/2$, $E = (I_{\max} - I_{\min})/2$,

$$\cos(\omega_c t) = \frac{I_R - (I_{\max} + I_{\min})/2}{(I_{\max} - I_{\min})/2}。$$

[0043] 8、将 $\cos(\omega_c t)$ 信号进行 *Hibert* 变换得到信号 $\sin(\omega_c t)$, 再进行 $2 \times \sin(\omega_c t) \times \cos(\omega_c t)$ 运算,得到信号 $\sin(2\omega_c t)$ 。

[0044] 9、将信号 I 分别与 $\cos(\omega_c t)$ 、 $\sin(2\omega_c t)$ 相乘,再经过截止频率为 $\frac{1}{2}\omega_c$ 和 $\frac{3}{2}\omega_c$ 的带通滤波器,然后两式相加得到信号 $\cos[\omega_c t - j(t)]$ 。

[0045] 10、将信号 $\cos[\omega_c t - j(t)]$ 与信号 $\cos(\omega_c t)$ 进行相关运算,本装置相关长度 N_r 取 100,故本装置能检测湍流的频率为 1000Hz ,经运算后解调出由大气湍流引起的随机相位差时间序列 $\{j_1, j_2, \dots, j_{1000}\}$ 。

[0046] 11、通过 $\Delta n = \frac{\lambda}{2\pi L} \Delta \varphi$ ($L = 10\text{cm}$) 运算,将 $\Delta \varphi$ 转化为折射率起伏 Δn , 然后统计 Δn 的起伏方差 $\sigma^2(\Delta n)$ 。

[0047] 12、图 6 所示为实验室内检测的干涉信号,可以看出条纹对比度比较好。

[0048] 13、通过解调算法解调出来的相位如图 7 所示,可以看出信号比较稳定,信号在一个固定值上有微小的起伏,这些起伏正是湍流大气对激光信号的影响。

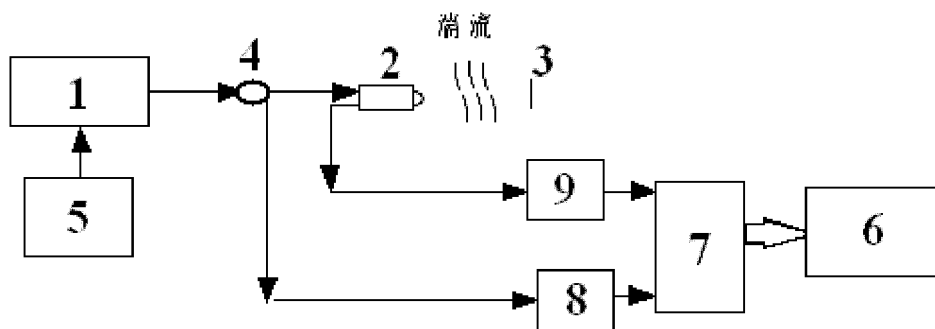


图 1

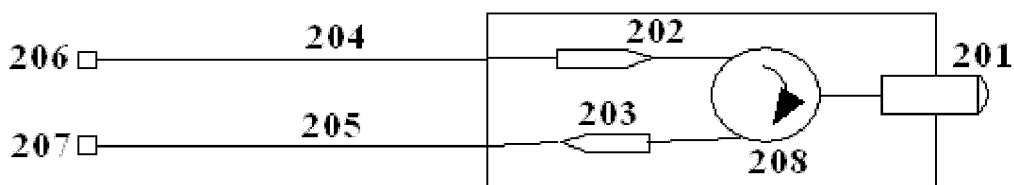


图 2

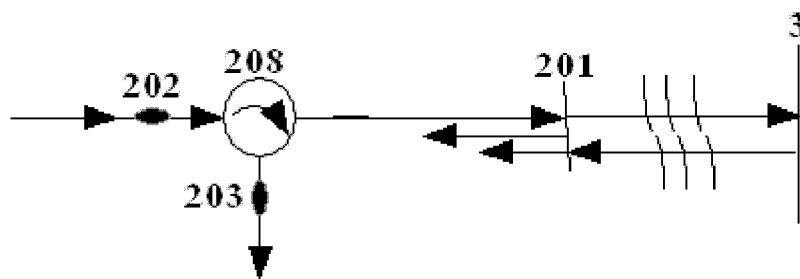


图 3

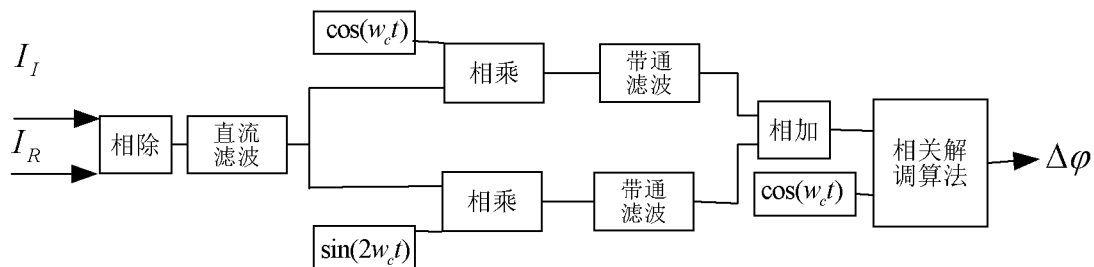


图 4

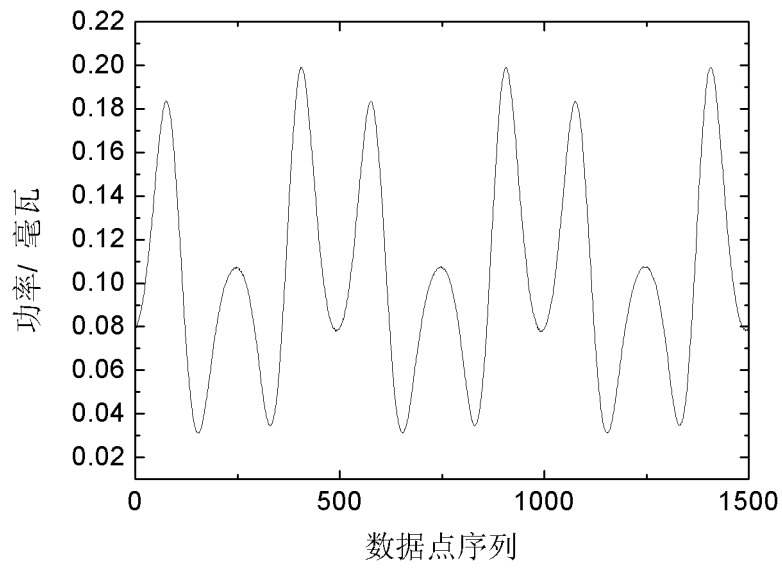


图 5

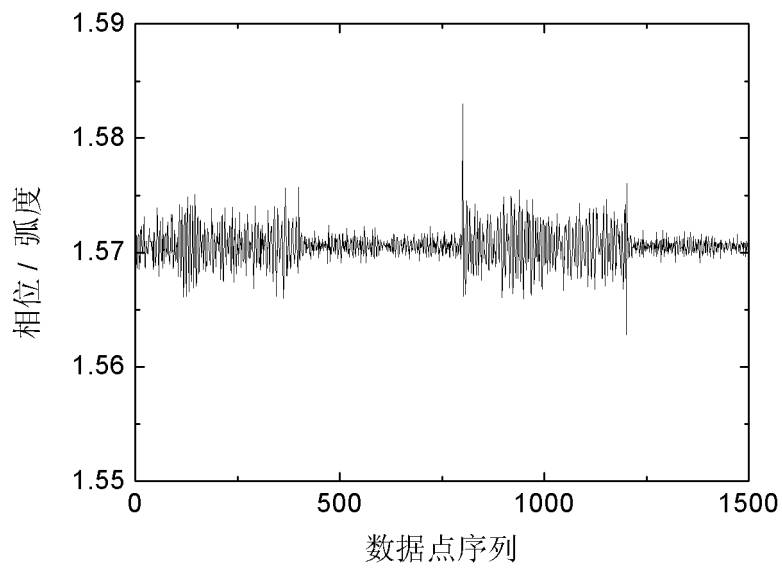


图 6