



国家知识产权局

200231

上海市徐汇区桂平路 555 号 45 幢 6 层 603 室
上海恒慧知识产权代理事务所（特殊普通合伙） 徐红银
(021-54400090),张琳(021-54400090)

发文日:

2022 年 08 月 08 日



申请号或专利号: 202210941551.2

发文序号: 2022080800983560

专 利 申 请 受 理 通 知 书

根据专利法第 28 条及其实施细则第 38 条、第 39 条的规定，申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日、申请人和发明创造名称通知如下：

申请号：202210941551.2
申请日：2022 年 08 月 08 日
申请人：上海交通大学
发明创造名称：基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统和方法

经核实，国家知识产权局确认收到文件如下：
发明专利请求书 每份页数:5 页 文件份数:1 份
说明书摘要 每份页数:1 页 文件份数:1 份
说明书 每份页数:9 页 文件份数:1 份
权利要求书 每份页数:2 页 文件份数:1 份 权利要求项数： 10 项
说明书附图 每份页数:4 页 文件份数:1 份
实质审查请求书 每份页数:1 页 文件份数:1 份

- 提示：
- 1. 申请人收到专利申请受理通知书之后，认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时，可以向国家知识产权局请求更正。
 - 2. 申请人收到专利申请受理通知书之后，再向国家知识产权局办理各种手续时，均应当准确、清晰地写明申请号。
 - 3. 国家知识产权局收到向外国申请专利保密审查请求书后，依据专利法实施细则第 9 条予以审查。

审 查 员：自动受理

审查部门：专利局初审及流程管理部





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115220054 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 21

(21) 申请号 202210941551.2

(22) 申请日 2022.08.08

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72) 发明人 胡晨华 周楷璐 杨悦晨 何广强

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 31317

专利代理师 徐红银 张琳

(51) Int. Cl.

G01S 17/10 (2020.01)

G01S 7/481 (2006.01)

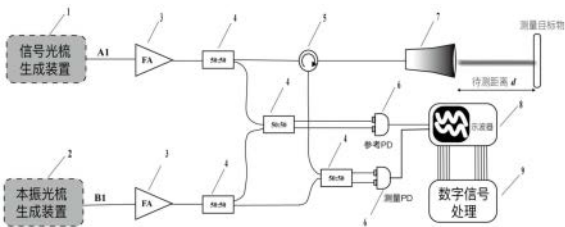
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统和方法

(57) 摘要

本发明提供基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统和方法,包括:信号光梳生成装置,其通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路生成信号光梳,调节信号光梳生成装置内部的微型加热器,信号光梳重复频率可变;本振光梳生成装置,其通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路生成本振光梳,本振光梳的重复频率固定;双光梳外差测距原理光路,基于重复频率可变的信号光梳和重复频率固定的本振光梳在双光梳外差测距原理光路中调节距离测量速率和范围。本发明在信号光梳重复频率改变的基础上,获得不同的重复频率差,通过对两个光梳重复频率差的调节精细控制距离测量速率,进而直接调整测距系统的模糊距离,并利用光学游标效应,大幅度提升模糊距离。



1. 一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,其特征在于,包括:

信号光梳生成装置,所述信号光梳生成装置通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路生成信号光梳,通过调节所述信号光梳生成装置内部的微型加热器,所述信号光梳重复频率可变;

本振光梳生成装置,所述本振光梳生成装置通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路生成本振光梳,所述本振光梳的重复频率固定;

双光梳外差测距原理光路,基于所述重复频率可变的信号光梳和重复频率固定的本振光梳在所述双光梳外差测距原理光路中调节距离测量速率和范围。

2. 根据权利要求1所述的一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,其特征在于,所述基于所述重复频率可变的信号光梳和重复频率固定的本振光梳在所述双光梳外差测距原理的整体系统光路中调节距离测量速率和范围,包括:

通过微型加热器改变信号光梳的重复频率,控制信号光梳和本振光梳的重复频率之差,调节完成一次距离测量所需的最短时间,即距离测量速率。

3. 根据权利要求1所述的一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,其特征在于,所述基于所述重复频率可变的信号光梳和重复频率固定的本振光梳在所述双光梳外差测距原理的整体系统光路中调节距离测量速率和范围,包括:

通过微型加热器改变信号光梳的重复频率,获得多个模糊距离,并利用游标效应基于多个模糊距离提升最终的模糊距离。

4. 根据权利要求2所述的一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,其特征在于,设定所述信号光梳的重复频率 $f_{r,sig}$ 作为采样频率,则采样时间间隔为 $\Delta T = 1/f_{r,sig}$;设定所述本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,则信号光梳与本振光梳的重复频率差为 Δf_r ,获得采样信号的周期为 $T_{min} = 1/\Delta f_r$,即为完成一次距离测量所需的最短时间。

5. 根据权利要求3所述的一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,其特征在于,通过所述信号光梳的重复频率 $f_{r,sig}$,获得模糊距离 $L_{amb} = \frac{c}{2f_{r,sig}}$,其中 c 为真空中的光速。

6. 根据权利要求3所述的一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,其特征在于,所述利用游标效应基于多个模糊距离 $L_{amb,1}$ 和 $L_{amb,2}$,提升最终的模糊距离为 $\frac{L_{amb,1} \times L_{amb,2}}{L_{amb,2} - L_{amb,1}}$ 。

7. 一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距方法,采用权利要求1-6任一项所述的基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,其特征在于,包括:

启动信号光梳生成装置和本振光梳生成装置,通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路分别生成信号光梳和本振光梳;

进行第一次距离测量,此时信号光梳重复频率为 $f_{r,sig1}$,本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_{r,1}$,经过测量时间 $1/\Delta f_{r,1}$,获得模糊距离 $L_{amb,1}$;

调整所述信号光梳生成装置的微型加热器,改变信号光梳重复频率;

进行第二次距离测量,此时信号光梳重复频率为 $f_{r,sig2}$,本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_{r,2}$,经过测量时间 $1/\Delta f_{r,2}$,获得模糊距离为 $L_{amb,2}$;

将第一次和第二次的测量结果结合进行提升,获得提升后的最终模糊距离 $\frac{L_{amb,1} \times L_{amb,2}}{L_{amb,2} - L_{amb,1}}$ 。

8. 根据权利要求7所述的一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距方法,其特征在于,

所述第一次距离测量前,信号光梳的重复频率大于所述本振光梳的重复频率;

所述第二次距离测量后,改变后的信号光梳重复频率大于所述本振光梳的重复频率。

9. 一种终端,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时可用于运行权利要求1-6中任一项所述的系统,或,执行权利要求7-8中任一项所述的方法。

10. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,该程序被处理器执行时可用于运行权利要求1-6中任一项所述的系统,或,执行权利要求7-8中任一项所述的方法。

基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学频率梳的精密距离测量的技术领域,具体地,涉及一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统、方法、介质及终端。

背景技术

[0002] 光学频率梳是一种由频率间隔相等的谱线组成的电磁波。其中,基于微纳谐振腔非线性参量过程产生的耗散克尔孤子光学频率梳,具有高度相干、高重复频率和低噪声等特性,在光通信、超快测距、调频连续波激光雷达等领域得到广泛应用。利用光频梳自由光谱距离(FSR)高、脉冲速率快的优点,基于集成双光学频率梳的测距系统利用两组具有微小重复频率差的光频梳,通过光梳间梳齿对梳齿的原理产生多外差光谱和时间可分辨的干涉信号。基于双光梳的测距系统在高精度、高速率、大模糊范围方面提供了独一无二的综合性能,并在绝对距离测量方面展开了许多应用研究,在精密制导、导航定位、自动控制等需要高精度、大范围、超快速测距的场景中也具有很强的应用潜力。

[0003] 然而,目前应用于双光梳距离测量的系统中,信号光梳和本振光梳的重复频率差通常是稳定且固定的,在测量过程中保持不变。在目前的双光梳测距方法中,由于信号光梳和本振光梳的重复频率保持不变,即两个光频梳的重复频率之差不变,由重复频率差直接决定的完成一次距离测量所需的时间都是固定不变的。此外,由信号光梳重复频率所决定的模糊距离也无法改变。因此,测距过程中无法对采样率和测量精度、灵敏度等按具体需要做相应的调整,不利于距离标定及精确测量。

发明内容

[0004] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统、方法、介质及终端。

[0005] 根据本发明的一个方面,提供一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,包括:

[0006] 信号光梳生成装置,所述信号光梳生成装置通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路生成信号光梳,通过调节信号光梳生成装置内部的微型加热器,所述信号光梳重复频率可变;

[0007] 本振光梳生成装置,所述本振光梳生成装置通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路生成本振光梳,所述本振光梳的重复频率固定;

[0008] 双光梳外差测距原理光路,基于所述重复频率可变的信号光梳和重复频率固定的本振光梳在所述双光梳外差测距原理光路中调节距离测量速率和范围。

[0009] 优选地,基于所述重复频率可变的信号光梳和重复频率固定的本振光梳在所述双光梳外差测距原理的整体系统光路中调节距离测量速率和范围,包括:

[0010] 通过微型加热器改变信号光梳的重复频率,控制信号光梳和本振光梳的重复频率之差,调节完成一次距离测量所需的最短时间,即距离测量速率。

[0011] 优选地,基于所述重复频率可变的信号光梳和重复频率固定的本振光梳在所述双光梳外差测距原理的整体系统光路中调节距离测量速率和范围,包括:

[0012] 通过微型加热器改变信号光梳的重复频率,获得多个模糊距离,并利用游标效应基于多个模糊距离提升最终的模糊距离。

[0013] 优选地,设定所述信号光梳的重复频率 $f_{r,sig}$ 作为采样频率,则采样时间间隔为 $\Delta T = 1/f_{r,sig}$;所述本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,则信号光梳与本振光梳的重复频率差为 Δf_r ,获得采样信号的周期为 $T_{min} = 1/\Delta f_r$,即为完成一次距离测量所需的最短时间。

[0014] 优选地,通过所述信号光梳的重复频率 $f_{r,sig}$,获得模糊距离 $L_{amb} = \frac{c}{2f_{r,sig}}$ 。

[0015] 优选地,所述利用游标效应基于多个模糊距离 $L_{amb,1}$ 和 $L_{amb,2}$,提升最终的模糊距离为 $\frac{L_{amb,1} \times L_{amb,2}}{L_{amb,2} - L_{amb,1}}$ 。

[0016] 根据本发明的第二个方面,提供一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距方法,采用任一项所述的基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,包括:

[0017] 启动信号光梳生成装置和本振光梳生成装置,通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路分别生成信号光梳和本振光梳;

[0018] 进行第一次距离测量,此时信号光梳重复频率为 $f_{r,sig1}$,本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_{r,1}$,经过测量时间 $1/\Delta f_{r,1}$,获得模糊距离 $L_{amb,1}$;

[0019] 调整所述信号光梳生成装置的微型加热器,改变信号光梳重复频率;

[0020] 进行第二次距离测量,此时信号光梳重复频率为 $f_{r,sig2}$,本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_{r,2}$,经过测量时间 $1/\Delta f_{r,2}$,获得模糊距离为 $L_{amb,2}$;

[0021] 将第一次和第二次的测量结果结合进行提升,获得提升后的最终模糊距离 $\frac{L_{amb,1} \times L_{amb,2}}{L_{amb,2} - L_{amb,1}}$ 。

[0022] 优选地,所述第一次距离测量前,信号光梳的重复频率大于所述本振光梳的重复频率;

[0023] 所述第二次距离测量后,改变后的信号光梳重复频率大于所述本振光梳的重复频率。

[0024] 根据本发明的第三个方面,提供一种终端,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时可用于运行任一项所述的系统,或,执行任一项所述的方法。

[0025] 根据本发明的第四个方面,提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时可用于任一项所述的系统,或,执行任一项所述的方法。

[0026] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0027] 1、本发明实施例中的基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统和方法,在信号光梳重复频率改变的基础上,获得不同的重复频率差,通过对两个光梳重复频率差的调节可以精细控制测量一次距离所需的最短时间,即距离测量速率。

[0028] 2、本发明实施例中的基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统和方法,信

号光梳生成采用具有微型加热器的集成微腔,通过对微型加热器施加控制信号可以改变生成的信号光梳的重复频率,进而直接调整测距系统的模糊距离;

[0029] 3、本发明实施例中的基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统和方法,用经过微型加热器调控的具有不同的重复频率的信号光梳重复测量,利用光学游标效应,可以大幅度提升模糊距离;

[0030] 4、本发明实施例中的基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统和方法,采用集成微腔,可以实现小型密封封装,提高器件对外部环境干扰因素的抵抗能力,简化系统构成,进一步提高系统稳定性。

附图说明

[0031] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0032] 图1为本发明一实施例中的基于微型加热器调节重频差的双光梳测距系统结构示意图;

[0033] 图2为本发明一实施例中的信号光梳生成装置的原理图;

[0034] 图3为本发明一实施例中的本振光梳生成装置的原理图;

[0035] 图4为本发明另一优选实施例中的双光梳原理的频域示意图;

[0036] 图5为本发明另一优选实施例中的双光梳原理时域采样示意图。

[0037] 图6为本发明一优选实施例中的基于微型加热器调节光梳重复频率的双光梳测距方法的流程图。

[0038] 其中,1-信号光梳生成装置;2-本振光梳生成装置;3-光纤放大器;4-50:50分光器;5-光环行器;6-光电探测器;7-准直器;8-示波器;9-数字信号处理模块;10-激光器;11-射频源;12-相位调制器;13-偏振控制器;14-任意波形发生器;15-移相器;16-具有微加热器的集成微腔;17-混频器;18-低通滤波器;19-双平行马赫曾德尔调制器(DPMZM);20-压控振荡器;21-PID反馈控制器;22-集成微腔。

具体实施方式

[0039] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0040] 本发明运用集成微腔产生的光孤子在频域上具有一系列离散的、等频率间隔的相干频率成分,在时域上是孤子序列,具有优良的噪声特性;光频梳的FSR可以通过微腔结构设计粗调,通过在微腔上集成的微型加热器实现精细调节,利用微型加热器可调节微腔激发的光学频率梳的重复频率,并实现两个光梳重复频率差的调节,进而使双光梳测距系统的测量性能优化成为可能。

[0041] 基于上述发明构思,本发明提供一个实施例,一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统,包括信号光梳生成装置、本振光梳生成装置和双光梳外差测距原理光路。其中,信号光梳生成装置通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路生成稳定的信号光梳,

通过调节信号光梳生成装置内部的微型加热器,信号光梳重复频率可变;本振光梳生成装置通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路生成稳定的本振光梳,本振光梳的重复频率固定;基于重复频率可变的信号光梳和重复频率固定的本振光梳在双光梳外差测距原理光路中改变测距效率、范围并实现测距。

[0042] 如图1所示,为本发明一个优选实施例中的基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距系统的结构示意图,其中,信号光梳生成装置1和本振光梳生成装置之外的部分为双光梳外差测距原理光路。信号光梳生成装置1产生的信号光梳(Signal comb)经过光纤放大器后由50:50分光器4分开,一部分经由目标测量光路返回。该部分信号光梳在测量光路中先后经过光环行器5和准直器7,再通过一段在准直器7和被测物体间的自由光路往返,携带与待测距离有关的信息后返回,经由光环行器5后输入测量PD,另一部分则直接输入参考PD。信号光梳生成装置利用具有微型加热器的集成微腔16产生光频梳本振光梳(L0 comb)生成装置2产生的本振光梳同样经过光纤放大器后由50:50分光器4分开,分别输入参考PD和测量PD用于外差检测。本振光梳生成装置利用集成微腔22产生光频梳。

[0043] 参考PD和测量PD输出信号接入示波器8,从示波器提取的测量结果再由数字信号处理模块9经过相关方法设计和程序处理分析还原得到待测距离,具体为:将参考PD和测量PD的输出信号分别做快速傅立叶变换,通过极点检测确定拍频信号所在的一系列频率。提取这些频率对应的傅立叶变换的相位,并将参考PD和测量PD对应频率处的相位做差。最后将相位差值与对应的频率做线性拟合,所得斜率与所测量的距离呈线性关系。

[0044] 在本发明的一个优选实施例中,提供基于双向泵浦法和PDH反馈稳定电路产生稳定光频梳的方法。

[0045] 如图2所示,信号光梳生成装置1运用双向泵浦法。首先使得具有微型加热器的集成微腔16产生光孤子。两个激光器10分别作为主泵浦激光和辅助泵浦激光相向打入具有微型加热器的集成微腔16中。其中主泵浦激光器输出激光经由相位调制器12调制、光纤放大器3放大、偏振控制器13调整偏振态和光环行器5保护后正向输入具有微型加热器的集成微腔16。辅助激光器输出激光经由双平行马赫曾德尔调制器(DPMZM) 19调制、光纤放大器3放大、偏振控制器13调整偏振态和光环行器5保护后反向输入具有微型加热器的集成微腔16。具有微型加热器的集成微腔16上的微型加热器受电流调控,可以改变集成微腔内部温度,从而改变腔内热效应。腔内热效应改变会进一步改变产生的光频梳的重复频率,实现精调信号光梳重复频率的目的。

[0046] 信号光梳生成装置中包含PDH反馈稳定电路,来锁定失谐量,从而保证光孤子的稳定存在。

[0047] 具体的,PDH反馈稳定电路包括在主泵浦激光器后的相位调制器(PM) 12和在辅助泵浦激光器后的双平行马赫曾德尔调制器(DPMZM) 19。相位调制器12用于产生边带,通过控制调制深度,将边带控制到一个既能产生足够强的误差信号,又几乎不影响光孤子产生和微腔热平衡的合适功率。辅助激光器后接的DPMZM用于控制辅助光激光频率。通过合理控制DPMZM的三个电压输入和两个射频输入,可以实现载波抑制的单边带调制(SSBSC),即将大多数的功率放在单侧的一阶边带上,载波、另一侧边带和高阶边带的功率都尽量小,使得频谱上只有一条谱线,即输出仍然是连续激光。一阶边带的频率由双平行马赫曾德尔调制器(DPMZM) 19的射频输入控制,由此控制射频输入就可以实现对输出连续激光的调谐。射频输

入由压控振荡器 (VCO) 11 提供。压控振荡器 (VCO) 11 和双平行马赫曾德尔调制器 (DPMZM) 19 的响应速度非常快,与辅助激光器合起来可以看做一台可快速调谐的激光器,作为PID反馈控制器21的执行机构。

[0048] 在光频梳输出的地方,用平衡光电探测器6接收泵浦激光和相位调制PM边带的干涉信号,输入混频器解调得到误差信号。所得误差信号经过低通滤波器18滤波后被PID反馈控制器21接收,计算出控制信号,并送给执行机构,实现反馈控制。压控振荡器20接收电压控制信号并转化为输出频率的变化以驱动双平行马赫曾德尔调制器 (DPMZM) 19。双平行马赫曾德尔调制器 (DPMZM) 19 移动边带,即移动了谐振峰,改变了泵浦光失谐量。

[0049] 本实施例所提供的这种基于双向泵浦法和PDH反馈稳定电路产生稳定光频梳的方法,可以实现在调节微型加热器改变信号光梳重复频率的同时,保持光孤子的稳定存在。

[0050] 如图3所示,本振光梳生成装置2同样运用双向泵浦法和PDH反馈稳定电路相结合,使用不具有微型加热器的普通集成微腔22产生稳定光孤子。本实施例中本振光梳重复频率不做改变。本振光梳生成装置2对应的基于双向泵浦法和PDH反馈稳定电路产生稳定光频梳过程与信号光梳生成装置的过程一致,在此不作赘述。

[0051] 在本发明的一个优选实施例中,通过微型加热器改变信号光梳的重复频率,控制信号光梳和本振光梳的重复频率之差,改变完成一次距离测量所需的最短时间,即距离测量速率。进一步的,信号光梳的重复频率 $f_{r,sig}$ 作为采样频率,获得采样时间间隔为 $\Delta T = 1/f_{r,sig}$,本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 Δf_r ,采样信号的周期为 $T_{min} = 1/\Delta f_r$,即为完成一次距离测量所需的最短时间。

[0052] 上述实施例中基于微型加热器调节重复频率,从而调节测距效率,涉及主要原理如下:

[0053] 信号光梳的重复频率为 $f_{r,sig} = \omega_{r,sig}/2\pi$,本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo} = \omega_{r,lo}/2\pi$,则信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_r = f_{r,sig} - f_{r,lo} = \Delta\omega_r / 2\pi = \frac{\omega_{r,sig} - \omega_{r,lo}}{2\pi}$ 。在频域上,两台光频梳进行干涉,可以看作是一种多外差干涉,产生频率在 $0 \sim f_{r,sig}/2$ 的子频梳,如图4所示。而且子频梳的梳齿间隔为 Δf_r (即信号光梳与本振光梳重复频率差)。在时域内分析,双光梳测距技术可以理解为等效光学采样过程,如图5双光梳时域采样示意图所示:信号光梳与本振光梳分别具有不同的重复周期,由于两台光梳的脉冲序列对相互错位,可以认为这是一台光梳对另一台光梳的等效采样,在两脉冲序列位置完全重合时可以获得最大的干涉强度,之后两脉冲序列相互错位,光干涉强度逐渐减小,直到两脉冲没有重叠区域,此时光干涉强度基本为零。但是由于两脉冲都是周期性的,因此获得的干涉信号存在 $T_{min} = 1/\Delta f_r$ 的周期。在一次光学干涉周期的时间内进行一次距离测量,那么在一次采样过程中的最小数据采集时间即为干涉信号周期 $T_{min} = 1/\Delta f_r$,转换为一次距离测量中的最大采集速率即为重复频率差 Δf_r 。在实验中以信号光梳的重复频率 $f_{r,sig}$ 作为采样频率,因此采样时间间隔为 $\Delta T = 1/f_{r,sig}$,采样信号的周期为 $T_{min} = 1/\Delta f_r$ 。

[0054] 在本发明的另一个优选实施例中,通过微型加热器改变信号光梳的重复频率,获得多个模糊距离,并利用游标效应基于多个模糊距离提升模糊距离。进一步的,

[0055] 通过测量到目标的可变距离,即模糊距离 L_{amb} 来评估测距的准确性,一个完整的模

糊距离定义为 $L_{amb} = \frac{c}{2} \frac{2\pi}{\omega_{r,sig}} = \frac{c}{2f_{r,sig}}$,c为真空中的光速。

[0056] 综上可知,系统模糊距离直接由信号光梳重复频率 $f_{r,sig}$ 决定,而完成一次距离测量的速度(系统最高距离测量频率)则直接由信号光梳与本振光梳的重复频率差 Δf_r 决定。

[0057] 在本发明的另一优选实施例中,利用光学游标效应获得更大的迷糊距离。光学游标效应即Vernier效应,是游标效应在光学中的应用延伸,核心在于运用游标卡尺的测量原理,通过周期性的错位将小的差异放大。在本实施例中,利用信号光梳与本振光梳的脉冲干涉产生的周期性共振峰作为游标卡尺中的“刻度”,通过给微型加热器施加控制信号改变信号光梳的重复频率(FSR),即改变模糊距离。用不同的模糊距离 $L_{amb,1}, L_{amb,2}$ 重复测量,通过物理上的级联效果,对应数学上的微小差异放大因子 $\frac{L_{amb,1} \times L_{amb,2}}{L_{amb,2} - L_{amb,1}}$,由此得到新的更大的系统模糊距离,实现对更远距离的测量。

[0058] 基于相同的发明构思,本发明还提供一种基于微型加热器调节重复频率的双光梳测距方法,其操作流程如图6所示,包括如下步骤:

[0059] S100,启动信号光梳生成装置和本振光梳生成装置,通过双向泵浦法结合PDH反馈稳定电路分别生成信号光梳和本振光梳;

[0060] S200,进行第一次距离测量,此时信号光梳重复频率为 $f_{r,sig1}$,本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_{r,1}$,经过测量时间 $1/\Delta f_{r,1}$,获得模糊距离 $L_{amb,1}$;

[0061] S300,调整S100中信号光梳生成装置的微型加热器,改变信号光梳重复频率;

[0062] S400,进行第二次距离测量,此时信号光梳重复频率为 $f_{r,sig2}$,本振光梳的重复频率为 $f_{r,lo}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_{r,2}$,经过测量时间 $1/\Delta f_{r,2}$,获得模糊距离为 $L_{amb,2}$;

[0063] S500,将第一次和第二次的测量结果结合进行提升,获得提升后的最终模糊距离 $\frac{L_{amb,1} \times L_{amb,2}}{L_{amb,2} - L_{amb,1}}$ 。

[0064] 进一步的,S100中,信号光梳的重复频率略大于本振光梳;

[0065] S200中,此时信号光梳重复频率为 $f_{r,sig1}$,模糊距离为 $L_{amb,1}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_{r,1}$,由于 $\Delta f_{r,1}$ 较大,此时系统的最高距离测量频率较大(即完成一次距离测量的速度较快),但信号光梳与本振光梳拍频后在参考PD和测量PD带宽范围内的谱线数量较少,测距精度较低;

[0066] S300中,通过对微型加热器施加控制信号,略微减小信号光梳重复频率,但仍大于本振光梳重复频率;

[0067] S400中,此时信号光梳重复频率为 $f_{r,sig2}$,模糊距离为 $L_{amb,2}$,信号光梳与本振光梳的重复频率差为 $\Delta f_{r,2}$,由于 $\Delta f_{r,2}$ 较小,相较于第一次测量,系统的最高距离测量频率较小(即完成一次距离测量的速度变慢),但信号光梳与本振光梳拍频后在参考PD和测量PD带宽范围内的谱线数量较多,测距精度较高;

[0068] S500中,由于第一次测量和第二次测量的模糊距离 $L_{amb,1}$ 和 $L_{amb,2}$ 相差较小,结合后的总模糊距离 $\frac{L_{amb,1} \times L_{amb,2}}{L_{amb,2} - L_{amb,1}}$ 很大,实现了大幅度增大模糊距离的效果。

[0069] 基于相同的发明构思,本发明的其他实施例中,还提供一种终端,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时可

用于运行任一项所述的系统,或,执行任一项所述的方法。

[0070] 基于相同的发明构思,本发明的其他实施例中,还提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时可用于任一项所述的系统,或,执行任一项所述的方法。

[0071] 需要说明的是,本发明提供的所述方法中的步骤,可以利用所述系统中对应的模块、装置、单元等予以实现,本领域技术人员可以参照所述系统的技术方案实现所述方法的步骤流程,即,所述系统中的实施例可理解为实现所述方法的优选例,在此不予赘述。

[0072] 本领域技术人员知道,除了以纯计算机可读程序代码方式实现本发明提供的系统及其各个装置以外,完全可以通过将方法步骤进行逻辑编程来使得本发明提供的系统及其各个装置以逻辑门、开关、专用集成电路、可编程逻辑控制器以及嵌入式微控制器等的形式来实现相同功能。所以,本发明提供的系统及其各项装置可以被认为是一种硬件部件,而对其内包括的用于实现各种功能的装置也可以视为硬件部件内的结构;也可以将用于实现各种功能的装置视为既可以是实现方法的软件模块又可以是硬件部件内的结构。

[0073] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。上述各优选特征在互不冲突的情况下,可以任意组合使用。

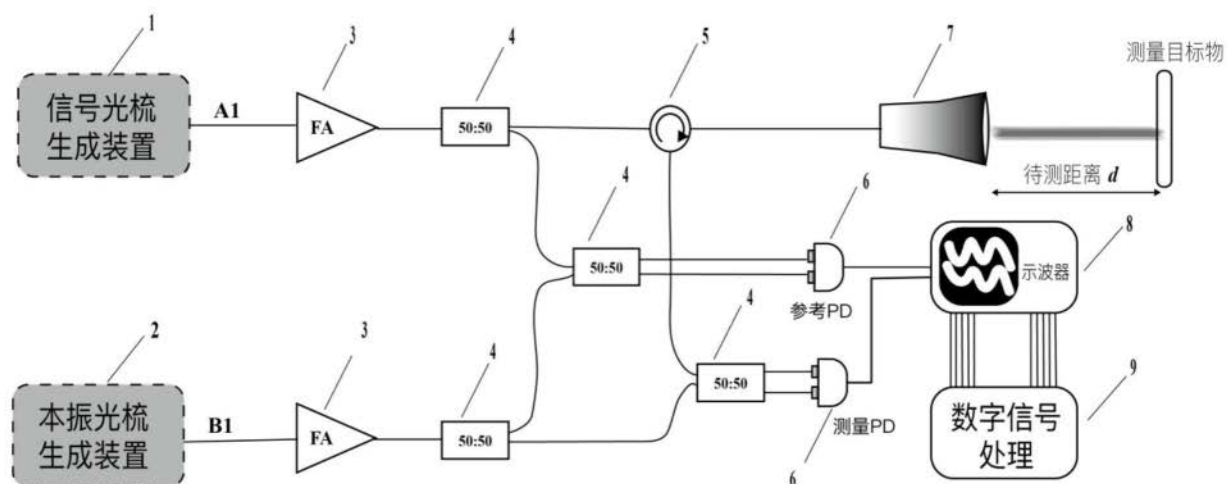


图1

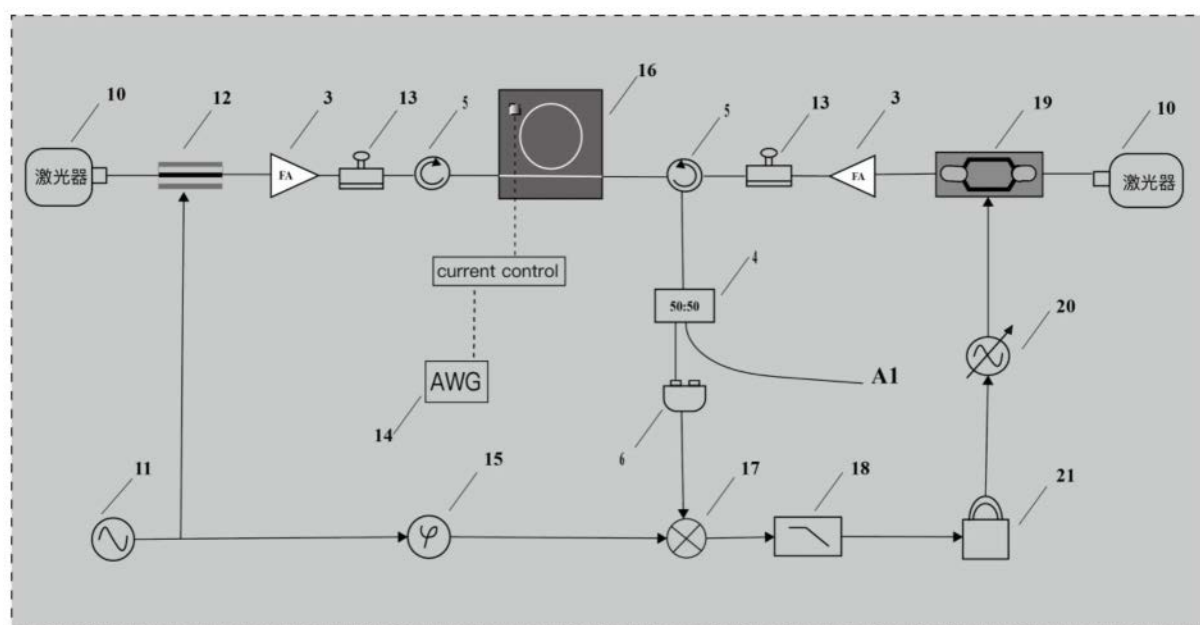


图2

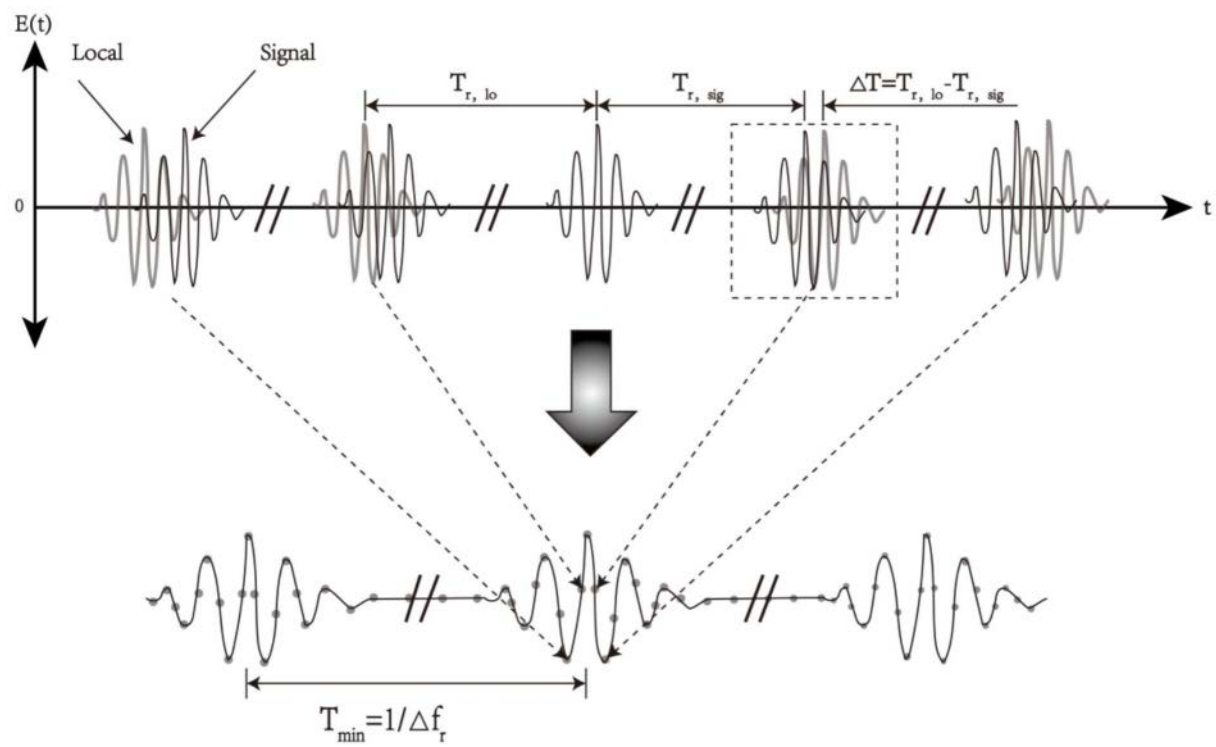


图5

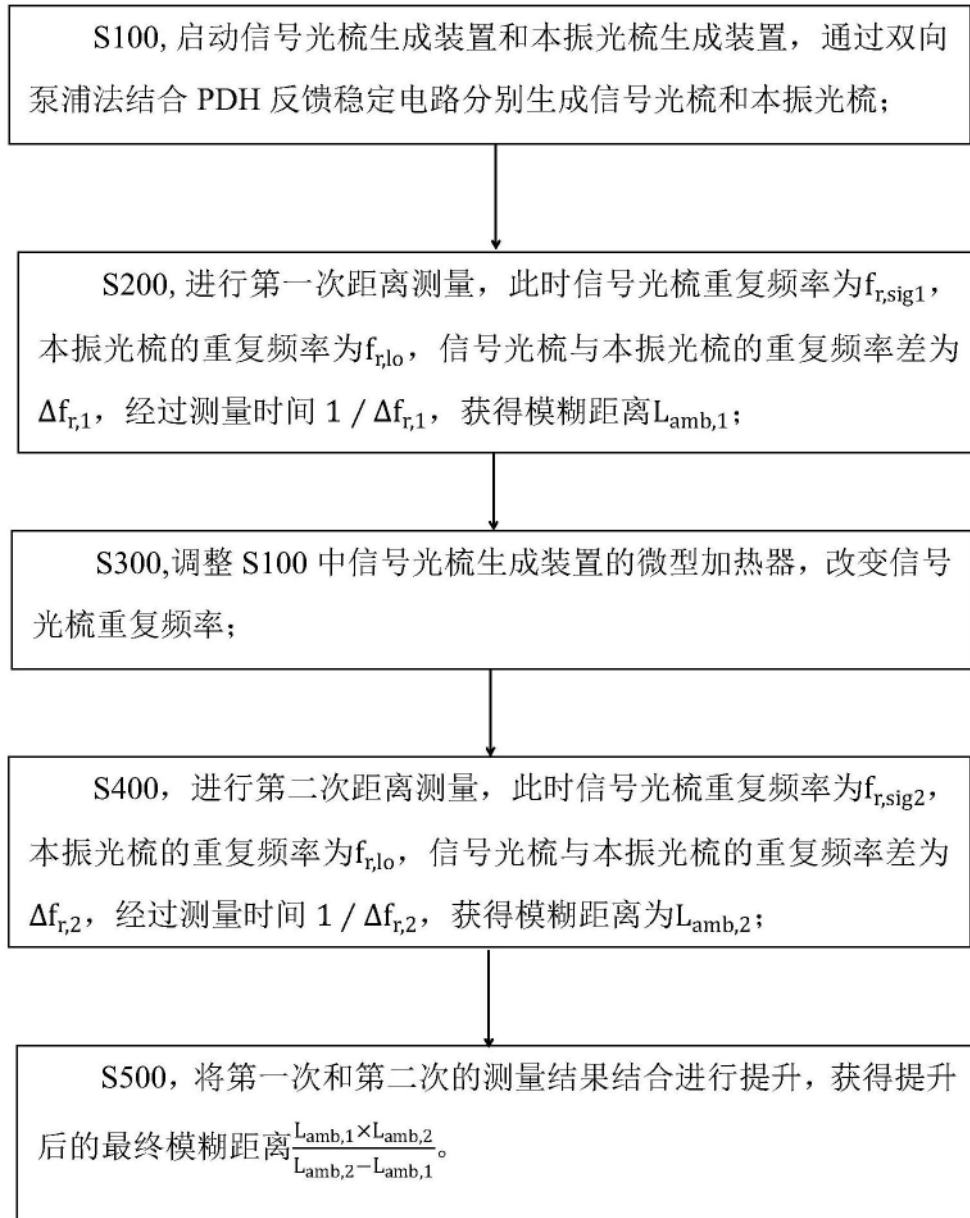


图6