



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113280745 B

(45) 授权公告日 2023.04.14

(21) 申请号 202110418293.5

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2021.04.19

G01B 11/14 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G01C 3/00 (2006.01)

申请公布号 CN 113280745 A

G01S 11/12 (2006.01)

(43) 申请公布日 2021.08.20

审查员 陆颖莹

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街
道高新技术产业园南区粤兴一道18号
香港理工大学产学研大楼205室

专利权人 香港理工大学

(72) 发明人 黄冬梅 李锋 卫炳江

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事

务所(普通合伙) 44268

专利代理人 朱阳波

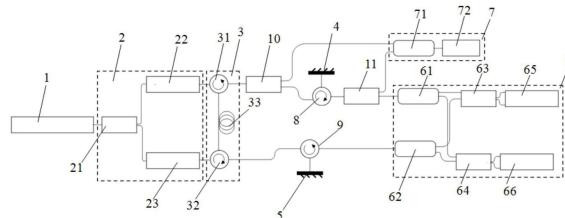
权利要求书4页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

一种双重频扫频激光测距装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种双重频扫频激光测距装置及方法，包括：宽谱脉冲光源、脉冲调制模块、色散拉伸模块、测量臂、参考臂、精度相干探测模块、飞行时间测量模块以及控制终端；脉冲调制模块和色散拉伸模块分别用于对宽谱脉冲光源产生的相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理、分频处理以及色散时域拉伸，得到第一扫频信号和第二扫频信号；精度相干探测单元用于采集第一扫频信号和第二扫频信号的干涉信号；飞行时间测量模块用于采集输入测量臂前的第二扫频信号和测量臂输出的第二扫频信号；控制终端用于确定待测距离。本发明的测距装置可以测量盲区，使探测范围提高到数十千米以上，实现高速、高精度和大量程的扫频干涉激光测距。



1. 一种双重频扫频激光测距装置,其特征在于,包括:宽谱脉冲光源、脉冲调制模块、色散拉伸模块、测量臂、参考臂、精度相干探测模块、飞行时间测量模块以及控制终端;

所述宽谱脉冲光源用于产生相干宽谱锁模脉冲光;

所述脉冲调制模块用于接收所述相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光;

所述色散拉伸模块用于接收所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光,并对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂;

所述精度相干探测模块用于使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉,并采集干涉信号;

所述飞行时间测量模块用于采集输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号;

所述控制终端用于根据所述干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号,确定待测距离;

所述脉冲调制模块包括:第一耦合器、倍频调制单元以及分频调制单元;

所述第一耦合器用于接收所述相干宽谱锁模脉冲光,并将所述相干宽谱锁模脉冲光分为两路;

所述倍频调制单元用于接收所述第一耦合器分出的一路相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理,得到第一重频宽谱脉冲光;

所述分频调制单元用于接收所述第一耦合器分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行分频处理,得到第二重频宽谱脉冲光;

所述倍频调制单元包括:级联的若干干涉仪,与若干所述干涉仪的两端连接的若干第二耦合器,以及与若干所述干涉仪分别连接的若干第一偏振控制器;

若干所述第二耦合器用于接收所述第一耦合器分出的一路相干宽谱锁模脉冲光,并将所述相干宽谱锁模脉冲光耦合入若干所述干涉仪的两臂;

若干所述干涉仪用于接收若干所述第二耦合器耦合入的相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理,得到第一重频宽谱脉冲光;

若干所述第一偏振控制器用于对与其连接的各个所述干涉仪的偏振态进行调节;

所述分频调制单元包括:光电探测器、任意波形发生器、电放大器、第二偏振控制器、调制器以及偏置电压控制器;

所述光电探测器用于接收所述第一耦合器分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光,并将所述相干宽谱锁模脉冲光转化为电信号;

所述任意波形发生器用于接收所述电信号并将所述电信号作为触发信号,根据所述电信号生成调制脉冲串;

所述电放大器用于接收所述调制脉冲串,对所述调制脉冲串放大后,将所述调制脉冲串加载到所述调制器;

所述调制器用于对所述调制脉冲串进行调制,得到第二重频宽谱脉冲光;

所述第二偏振控制器用于对所述调制器的偏振态进行调节;

所述偏置电压控制器用于对所述调制器的工作点进行调节,使所述调制器工作在零点;

所述色散拉伸模块包括:第一环行器、第二环行器、第一色散单元;

所述第一环行器用于接收所述第一重频宽谱脉冲光,并将所述第一重频宽谱脉冲光传输至所述第一色散单元以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂;

所述第二环行器用于接收所述第二重频宽谱脉冲光,并将所述第二重频宽谱脉冲光传输至所述第一色散单元以及将所述第一扫频信号传输至所述参考臂;

所述第一色散单元用于对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号;

所述第一色散单元包括色散补偿光纤和色散位移光纤。

2. 根据权利要求1所述的双重频扫频激光测距装置,其特征在于,所述色散拉伸模块包括:第二色散单元和第三色散单元;

所述第二色散单元用于接收所述第一重频宽谱脉冲光,对所述第一重频宽谱脉冲光进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂;

所述第三色散单元用于接收所述第二重频宽谱脉冲光,对所述第二重频宽谱脉冲光进行色散时域拉伸,得到第二扫频信号,并将所述第二扫频信号传输至所述测量臂。

3. 根据权利要求1所述的双重频扫频激光测距装置,其特征在于,所述精度相干探测模块包括:光混频器、分束器、第三耦合器、第四耦合器、第一平衡探测器以及第二平衡探测器;

所述光混频器用于对所述测量臂输出的第二扫频信号进行90°相移,将90°相移后的第二扫频信号分为两路,并将两路所述第二扫频信号分别传输至所述第三耦合器和所述第四耦合器;

所述分束器用于将所述参考臂输出的第一扫频信号分为两路,并将两路所述第一扫频信号分别传输至所述第三耦合器和所述第四耦合器;

所述第三耦合器和所述第四耦合器分别用于接收所述光混频器传输的第二扫频信号和所述分束器传输的第一扫频信号,并使所述第一扫频信号和所述第二扫频信号发生干涉;

所述第一平衡探测器和所述第二平衡探测器用于采集所述第一扫频信号和所述第二扫频信号的干涉信号。

4. 根据权利要求1所述的双重频扫频激光测距装置,其特征在于,所述精度相干探测模块包括:第五耦合器和第三平衡探测器;

所述第五耦合器用于使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉;

所述第三平衡探测器用于采集所述第一扫频信号和所述第二扫频信号的干涉信号。

5. 根据权利要求1所述的双重频扫频激光测距装置,其特征在于,所述飞行时间测量模块包括:窄带滤波器和探测器;

所述窄带滤波器用于对输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号进行窄带滤波;

所述探测器用于采集窄带滤波后的输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂

输出的第二扫频信号。

6. 一种如权利要求1-5任一项所述的双重频扫频激光测距装置的测距方法，其特征在于，包括：

对所述宽谱脉冲光源产生的相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理，得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光；

对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸，得到第一扫频信号和第二扫频信号，并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂；

使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉，并采集干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号；

根据所述干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号，确定待测距离；

对所述宽谱脉冲光源产生的相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理，得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光包括：

所述第一耦合器接收所述相干宽谱锁模脉冲光，并将所述相干宽谱锁模脉冲光分为两路；

所述倍频调制单元接收所述第一耦合器分出的一路相干宽谱锁模脉冲光，并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理，得到第一重频宽谱脉冲光；

所述分频调制单元接收所述第一耦合器分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光，并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行分频处理，得到第二重频宽谱脉冲光；

所述倍频调制单元接收所述第一耦合器分出的一路相干宽谱锁模脉冲光，并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理，得到第一重频宽谱脉冲光包括：

若干所述第二耦合器接收所述第一耦合器分出的一路相干宽谱锁模脉冲光，并将所述相干宽谱锁模脉冲光耦合入若干所述干涉仪的两臂；

若干所述干涉仪接收若干所述第二耦合器耦合入的相干宽谱锁模脉冲光，并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理，得到第一重频宽谱脉冲光；

若干所述第一偏振控制器对与其连接的各个所述干涉仪的偏振态进行调节；

所述倍频调制单元包括：级联的若干干涉仪，与若干所述干涉仪的两端连接的若干第二耦合器，以及与若干所述干涉仪分别连接的若干第一偏振控制器；

所述分频调制单元接收所述第一耦合器分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光，并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行分频处理，得到第二重频宽谱脉冲光包括：

所述光电探测器接收所述第一耦合器分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光，并将所述相干宽谱锁模脉冲光转化为电信号；

所述任意波形发生器接收所述电信号并将所述电信号作为触发信号，根据所述电信号生成调制脉冲串；

所述电放大器接收所述调制脉冲串，对所述调制脉冲串放大后，将所述调制脉冲串加载到所述调制器；

所述调制器对所述调制脉冲串进行调制，得到第二重频宽谱脉冲光；

所述第二偏振控制器对所述调制器的偏振态进行调节；

所述偏置电压控制器对所述调制器的工作点进行调节,使所述调制器工作在零点;

所述分频调制单元包括:光电探测器、任意波形发生器、电放大器、第二偏振控制器、调制器以及偏置电压控制器;

对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂包括:

所述第一环行器接收所述第一重频宽谱脉冲光,并将所述第一重频宽谱脉冲光传输至所述第一色散单元以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂;

所述第二环行器接收所述第二重频宽谱脉冲光,并将所述第二重频宽谱脉冲光传输至所述第一色散单元以及将所述第一扫频信号传输至所述参考臂;

所述第一色散单元对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号;

所述色散拉伸模块包括:第一环行器、第二环行器、第一色散单元;

所述第一色散单元包括色散补偿光纤和色散位移光纤。

一种双重频扫频激光测距装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及激光测距技术领域,尤其涉及的是一种双重频扫频激光测距装置及方法。

背景技术

[0002] 激光测距技术具有精度高、准直性好、抗干扰能力强等诸多优点而被广泛应用于卫星遥感、精密测量与加工、机械制造、工程建设以及安全监测等领域。现有的激光测距技术包括飞行时间法、电调制相位法、基于干涉相位测量技术以及扫频干涉测量技术等,但现有激光测距技术无法同时实现大量程和高精度的距离测量。

[0003] 因此,现有技术还有待改进和发展。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种双重频扫频激光测距装置及方法,旨在解决现有激光测距技术无法同时实现大量程和高精度的距离测量的问题。

[0005] 本发明解决问题所采用的技术方案如下:

[0006] 第一方面,本发明实施例提供一种双重频扫频激光测距装置,其中,包括:宽谱脉冲光源、脉冲调制模块、色散拉伸模块、测量臂、参考臂、精度相干探测模块、飞行时间测量模块以及控制终端;

[0007] 所述宽谱脉冲光源用于产生相干宽谱锁模脉冲光;

[0008] 所述脉冲调制模块用于接收所述相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光;

[0009] 所述色散拉伸模块用于接收所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光,并对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂;

[0010] 所述精度相干探测模块用于使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉,并采集干涉信号;

[0011] 所述飞行时间测量模块用于采集输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号;

[0012] 所述控制终端用于根据所述干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号,确定待测距离。

[0013] 所述的双重频扫频激光测距装置,其中,所述脉冲调制模块包括:第一耦合器、倍频调制单元以及分频调制单元;

[0014] 所述第一耦合器用于接收所述相干宽谱锁模脉冲光,并将所述相干宽谱锁模脉冲光分为两路;

- [0015] 所述倍频调制单元用于接收所述第一耦合器分出的一路相干宽谱锁模脉冲光，并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理，得到第一重频宽谱脉冲光；
- [0016] 所述分频调制单元用于接收所述第一耦合器分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光，并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行分频处理，得到第二重频宽谱脉冲光。
- [0017] 所述的双重频扫频激光测距装置，其中，所述倍频调制单元包括：级联的若干干涉仪，与若干所述干涉仪的两端连接的若干第二耦合器，以及与若干所述干涉仪分别连接的若干第一偏振控制器；
- [0018] 若干所述第二耦合器用于接收所述第一耦合器分出的一路相干宽谱锁模脉冲光，并将所述相干宽谱锁模脉冲光耦合入若干所述干涉仪的两臂；
- [0019] 若干所述干涉仪用于接收若干所述第二耦合器耦合入的相干宽谱锁模脉冲光，并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理，得到第一重频宽谱脉冲光；
- [0020] 若干所述第一偏振控制器用于对与其连接的各个所述干涉仪的偏振态进行调节。
- [0021] 所述的双重频扫频激光测距装置，其中，所述分频调制单元包括：光电探测器、任意波形发生器、电放大器、第二偏振控制器、调制器以及偏置电压控制器；
- [0022] 所述光电探测器用于接收所述第一耦合器分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光，并将所述相干宽谱锁模脉冲光转化为电信号；
- [0023] 所述任意波形发生器用于接收所述电信号并将所述电信号作为触发信号，根据所述电信号生成调制脉冲串；
- [0024] 所述电放大器用于接收所述调制脉冲串，对所述调制脉冲串放大后，将所述调制脉冲串加载到所述调制器；
- [0025] 所述调制器用于对所述调制脉冲串进行调制，得到第二重频宽谱脉冲光；
- [0026] 所述第二偏振控制器用于对所述调制器的偏振态进行调节；
- [0027] 所述偏置电压控制器用于对所述调制器的工作点进行调节，使所述调制器工作在零点。
- [0028] 所述的双重频扫频激光测距装置，其中，所述色散拉伸模块包括：第一环行器、第二环行器、第一色散单元；
- [0029] 所述第一环行器用于接收所述第一重频宽谱脉冲光，并将所述第一重频宽谱脉冲光传输至所述第一色散单元以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂；
- [0030] 所述第二环行器用于接收所述第二重频宽谱脉冲光，并将所述第二重频宽谱脉冲光传输至所述第一色散单元以及将所述第一扫频信号传输至所述参考臂；
- [0031] 所述第一色散单元用于对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸，得到第一扫频信号和第二扫频信号。
- [0032] 所述的双重频扫频激光测距装置，其中，所述色散拉伸模块包括：第二色散单元和第三色散单元；
- [0033] 所述第二色散单元用于接收所述第一重频宽谱脉冲光，对所述第一重频宽谱脉冲光进行色散时域拉伸，得到第一扫频信号，并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂；
- [0034] 所述第三色散单元用于接收所述第二重频宽谱脉冲光，对所述第二重频宽谱脉冲光进行色散时域拉伸，得到第二扫频信号，并将所述第二扫频信号传输至所述测量臂。
- [0035] 所述的双重频扫频激光测距装置，其中，所述精度相干探测模块包括：光混频器、

分束器、第三耦合器、第四耦合器、第一平衡探测器以及第二平衡探测器；

[0036] 所述光混频器用于对所述测量臂输出的第二扫频信号进行90°相移，将90°相移后的第二扫频信号分为两路，并将两路所述第二扫频信号分别传输至所述第三耦合器和所述第四耦合器；

[0037] 所述分束器用于将所述参考臂输出的第一扫频信号分为两路，并将两路所述第一扫频信号分别传输至所述第三耦合器和所述第四耦合器；

[0038] 所述第三耦合器和所述第四耦合器分别用于接收所述光混频器传输的第二扫频信号和所述分束器传输的第一扫频信号，并使所述第一扫频信号和所述第二扫频信号发生干涉；

[0039] 所述第一平衡探测器和所述第二平衡探测器用于采集所述第一扫频信号和所述第二扫频信号的干涉信号。

[0040] 所述的双重频扫频激光测距装置，其中，所述精度相干探测模块包括：第五耦合器和第三平衡探测器；

[0041] 所述第五耦合器用于使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉；

[0042] 所述第三平衡探测器用于采集所述第一扫频信号和所述第二扫频信号的干涉信号。

[0043] 所述的双重频扫频激光测距装置，其中，所述飞行时间测量模块包括：窄带滤波器和探测器；

[0044] 所述窄带滤波器用于对输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号进行窄带滤波；

[0045] 所述探测器用于采集窄带滤波后的输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号。

[0046] 第二方面，本发明实施例还提供一种所述的双重频扫频激光测距装置的测距方法，其中，包括：

[0047] 对所述宽谱脉冲光源产生的相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理，得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光；

[0048] 对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸，得到第一扫频信号和第二扫频信号，并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂；

[0049] 使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉，并采集干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号；

[0050] 根据所述干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号，确定待测距离。

[0051] 本发明的有益效果：本发明通过脉冲调制模块对相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理，得到双重频宽谱脉冲信号，通过色散拉伸模块对双重频宽谱脉冲信号进行色散时域拉伸，得到具有高相干性的双重频扫频信号，通过所述双重频扫频信号进行测距，可以消除高速扫频干涉高精度测距的测量盲区，使探测范围提高到数十千米以上，通过飞

行时间测量模块进行粗测消除测量模糊,实现高速、高精度和大量程的扫频干涉激光测距。

附图说明

[0052] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0053] 图1是本发明实施例一中提供的双重频扫频激光测距装置的结构示意图;

[0054] 图2是本发明实施例中使用高相干扫频信号进行测距时的原理图;

[0055] 图3是本发明实施例中使用高相干的双重频扫频信号进行测距时的原理图;

[0056] 图4是本发明实施例中提供的倍频调制单元的结构示意图;

[0057] 图5是本发明实施例中提供的分频调制单元的结构示意图;

[0058] 图6是本发明实施例二中提供的双重频扫频激光测距装置的结构示意图;

[0059] 图7是本发明实施例三中提供的双重频扫频激光测距装置的结构示意图;

[0060] 图8是本发明实施例四中提供的双重频扫频激光测距装置的结构示意图;

[0061] 图9是本发明实施例中提供的双重频扫频激光测距方法的流程示意图。

[0062] 附图中各标记:1、宽谱脉冲光源;2、脉冲调制模块;3、色散拉伸模块;4、测量臂;5、参考臂;6、精度相干探测模块;7、飞行时间测量模块;8、第三环行器;9、第四环行器;10、第六耦合器;11、第七耦合器;21、第一耦合器;22、倍频调制单元;23、分频调制单元;31、第一环行器;32、第二环行器;33、第一色散单元;34、第二色散单元;35、第三色散单元;61、光混频器;62、分束器;63、第三耦合器;64、第四耦合器;65、第一平衡探测器;66、第二平衡探测器;67、第五耦合器;68、第三平衡探测器;71、窄带滤波器;72、探测器;221、第二耦合器;222、干涉仪;223、第一偏振控制器;231、任意波形发生器;232、电放大器;233、调制器;234、第二偏振控制器;235、偏置电压控制器。

具体实施方式

[0063] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确,以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0064] 需要说明,若本发明实施例中有涉及方向性指示(诸如上、下、左、右、前、后……),则该方向性指示仅用于解释在某一特定姿态(如附图所示)下各部件之间的相对位置关系、运动情况等,如果该特定姿态发生改变时,则该方向性指示也相应地随之改变。

[0065] 现有的激光测距技术包括飞行时间法、电调制相位法、基于干涉相位测量技术以及扫频干涉测量技术等,飞行时间法可以实现远距离测量,但其测量精度通常在数毫米以上,电调制相位法的测量精度在毫米量级,但测量范围一般限制在百米以下。基于干涉相位测量技术可以实现纳米级高精度测量,但通常测量范围仅为百米以下。同时相位法测量过程耗时长,整个测量系统对激光器缓慢漂移及被测物体的移动非常敏感,测量不确定性大。扫频干涉测量利用可调谐激光器和高速光电探测器获取干涉信号的相位变化或者拍频信息解调绝对距离,具有精度高、速度快及可用于非合作目标的优点。基于高速扫频干涉的拍

频测量技术可以克服相位测量模糊距离的缺点,抗干扰能力强。通过电光调制获取吉赫兹范围扫频信号,可以实现数千米量级大范围测量,但受限于扫频带宽,其测量精度仅在数十毫米甚至米量级。扫频干涉法获得高测量精度必须采用更大频谱范围的扫频激光信号,一种传统的方法是构建可以快速调谐的激光器,例如外腔半导体激光器、MEMS-VCSEL扫频激光光源、傅里叶锁模激光器等。但快速调谐的激光器随着扫频速度增加相干长度迅速劣化,外腔半导体激光器和傅里叶锁模激光器的相干长度均在数十毫米以内,基于MEMS-VCSEL技术的扫频激光器相干性稍高,但也限于米级,再提高一两个量级的难度很大。

[0066] 因此,基于前述集中扫频激光器的测距系统不可能实现百米以上的高精度扫频干涉测距。目前仅有色散时域拉伸的宽谱锁模激光展示过超长的相干长度,具有数十千米以上的相干长度,而且扫频范围也可达几十纳米,应用于扫频相干层析成像(SS-OCT)系统,其分辨率达几十微米,测量速度高达数十兆赫兹以上。虽然色散时域拉伸的扫频光源具有超高的相干性,但受限于探测系统的带宽,通过扫频干涉可测量的信号延迟通常只有1ns(即300毫米)以下,但实际测量过程中的扫频脉冲长度和周期高达数百纳秒,这导致扫频干涉高精度测距的量程仍然非常受限,无法达到相干长度的数十千米量级。相位法测距无法测量动态目标,而高速的扫频干涉测距无法同时获得高精度和大量程,是目前激光测距技术所面临的核心问题。

[0067] 示例性装置

[0068] 为了解决现有技术的问题,本实施例提供了一种双重频扫频激光测距装置,如图1所示,本发明实施例一中提供的双重频扫频激光测距装置包括:宽谱脉冲光源1、脉冲调制模块2、色散拉伸模块3、测量臂4、参考臂5、精度相干探测模块6、飞行时间测量模块7以及控制终端;所述宽谱脉冲光源1用于产生相干宽谱锁模脉冲光;所述脉冲调制模块2用于接收所述相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光;所述色散拉伸模块3用于接收所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光,并对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂5以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂4;所述精度相干探测模块6用于使所述参考臂5输出的第一扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号发生干涉,并采集干涉信号;所述飞行时间测量模块7用于采集输入所述测量臂4前的第二扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号;所述控制终端用于根据所述干涉信号、输入所述测量臂4前的第二扫频信号以及所述测量臂4输出的第二扫频信号,确定待测距离。本实施例中通过脉冲调制模块2对相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到双重频宽谱脉冲信号,通过色散拉伸模块3对双重频宽谱脉冲信号进行色散时域拉伸,得到具有高相干性的双重频扫频信号,通过所述双重频扫频信号进行测距,可以消除高速扫频干涉高精度测距的测量盲区,使探测范围提高到数十千米以上,通过飞行时间测量模块7进行粗测消除测量模糊,实现高速、高精度和大量程的扫频干涉激光测距。

[0069] 在一具体实施方式中,所述宽谱脉冲光源1作为双重频扫频激光测距装置的种子源,用于产生10~20MHz的相干宽谱锁模脉冲光,所述宽谱脉冲光源1为宽谱锁模激光器、超连续光源和脉冲展宽锁模激光器等,所述宽谱锁模激光器包括主动锁模激光器、被动锁模激光器如非线性偏振旋转激光器、8字腔非线性光纤环形镜锁模激光器、9字腔非线性光纤

环形镜锁模激光器等,所述脉冲展宽锁模激光器包括高阶孤子自相似脉冲展宽激光器、主动光谱整形激光器等。

[0070] 图2为使用高相干扫频信号进行测距时的原理图,实线为参考臂信号的扫频轨迹,扫频斜率为 ω' ,时间起点为 nT_0 ,其中, T_0 为相邻扫频信号的时间间隔,起点位于 $nT_0 \pm \Delta t$ 的两条虚线限定了信号臂的可探测范围,其中 $\Delta t = B/\omega'$ 。从图2可以看出,只有当信号臂的扫频信号落在参考臂扫频信号的 $\pm \Delta t$ 之间时,干涉信号才可以被测量到,即区间 $[nT_0 + \Delta t, (n+1)T_0 - \Delta t]$ 是系统的探测盲区,落在此范围的信号臂扫频信号将无法被探测到。例如,探测带宽 $B=50\text{GHz}$,线性扫频脉冲长度500ns,扫频范围5THz(1550±20nm),则扫频斜率 $\omega' = 10\text{GHz/ns}$,探测范围 $2\Delta t = 10\text{ns}$,只占扫频周期的2%,盲区范围98%。为了解决现有激光测距技术探测盲区的问题,本实施例中对宽谱脉冲光源1产生的相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到双重频宽谱脉冲光,并对双重频宽谱脉冲光进行色散时域拉伸,得到高相干的双重频扫频信号。图3为使用高相干的双重频扫频信号进行测距时的原理图,从图3可以看出,参考臂扫频信号的间隔时间缩小到 $2\Delta t$,由于 $T_0 \gg 2\Delta t$,因此不同序号的参考扫频信号之间具有大范围重叠区域,但由于不同参考信号之间的最小频率差为 $2\omega'/\Delta t = 2B$,已经远超过探测系统的响应带宽,因此不同参考信号之间的干涉不会被系统探测到,通过高相干的双重频扫频信号进行测距,测量臂的信号在超出第m个参考信号的可探测范围时,刚好进入第m+1个参考信号的可探测范围,则测距装置将不存在探测盲区。

[0071] 继续参照图1所示,本实施例一中所述脉冲调制模块2包括:第一耦合器21、倍频调制单元22以及分频调制单元23;所述第一耦合器21可以是基于光纤熔锥、波导分束等机制的光纤分束器或者是自由空间分束器,所述第一耦合器21用于接收所述相干宽谱锁模脉冲光,并将所述相干宽谱锁模脉冲光分为两路;所述倍频调制单元22用于接收所述第一耦合器21分出的一路相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理,得到第一重频宽谱脉冲光;所述分频调制单元23用于接收所述第一耦合器21分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行分频处理,得到第二重频宽谱脉冲光。具体测距过程中,宽谱脉冲光源1产生的相干宽谱锁模脉冲光被第一耦合器21分为两路,一路光经过倍频调制单元22进行倍频处理,得到第一重频宽谱脉冲光,另一路光经过分频调制单元23进行分频处理,得到第二重频宽谱脉冲光。

[0072] 参照图4所示,本实施例一中所述倍频调制单元22包括:级联的若干干涉仪222,与若干所述干涉仪222的两端连接的若干第二耦合器221,以及与若干所述干涉仪222分别连接的若干第一偏振控制器223。若干所述第二耦合器221用于接收所述第一耦合器21分出的一路相干宽谱锁模脉冲光,并将所述相干宽谱锁模脉冲光耦合入若干所述干涉仪222的两臂;若干所述干涉仪222用于接收若干所述第二耦合器221耦合入的相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理,得到第一重频宽谱脉冲光;若干所述第一偏振控制器223用于对与其连接的各个所述干涉仪222的偏振态进行调节。具体测距过程中,第一耦合器21分出的一路高相干宽谱脉冲光经过第二耦合器221分别进入马赫曾德尔干涉仪222的两臂,根据激光器的重复频率设计干涉仪222两臂差 ΔL ,第一偏振控制器223用来精确调节干涉仪222的偏振态,最后通过第二耦合器221合束即可对宽谱脉冲的重复频率实现倍频。通过级联多个马赫曾德尔干涉仪222可以实现相干宽谱锁模脉冲光重复频率的级联倍频。例如,重复频率16MHz的相干宽谱锁模脉冲光经过四次级联的马赫曾德尔干涉仪

222就可以实现256MHz重复频率输出。在一具体实施例中,所述相干宽谱锁模脉冲光的频率为10MHz~20MHz,经过倍频处理后的相干宽谱锁模脉冲光的重复频率即第一重频宽谱脉冲光的重复频率为数百兆赫兹,本实施例中采用数百兆赫兹扫频光源的不同脉冲间干涉扩展量程可实现周期性拼接的无盲区大范围测量。

[0073] 参照图5所示,本实施例一中所述分频调制单元23包括:光电探测器、任意波形发生器231、电放大器232、调制器233、第二偏振控制器234以及偏置电压控制器235,所述任意波形发生器231可以是任意可编程波形发生器、码型发生器等,所述调制器233可以是马赫曾德尔结构的铌酸锂电光调制器、电吸收光调制器等,所述第二偏振控制器234是基于三环型、挤压型等不同类型的光纤在线偏振控制器或由玻片组成的自由空间偏振控制器。所述光电探测器用于接收所述第一耦合器21分出的另一路相干宽谱锁模脉冲光,并将所述相干宽谱锁模脉冲光转化为电信号;所述任意波形发生器用于接收所述电信号并将所述电信号作为触发信号,根据所述电信号实际测量需求生成任意可调的调制脉冲串;所述电放大器232用于接收所述调制脉冲串,对所述调制脉冲串放大后,将所述调制脉冲串加载到所述调制器233;所述调制器233用于对所述调制脉冲串进行调制,得到第二重频宽谱脉冲光;所述第二偏振控制器234用于对所述调制器233的偏振态进行调节;;所述偏置电压控制器235用于对所述调制器233的工作点进行调节,使所述调制器233工作在零点。。具体测距过程中,第一耦合器21分出的另一路高相干宽谱脉冲光经过光电探测器转化为电信号作为同步信号触发任意波形发生器231产生调制脉冲串,并经过放大器放大后加载到调制器233,所述偏置电压控制器235对所述调制器233的工作点进行调节,使所述调制器工作在零点。加载到调制器的信号“1”和“0”对输入调制器233的相干宽谱锁模脉冲光进行“开”和“关”控制,最终实现重复频率的降低。例如,输入脉冲光的重复频率为16MHz,经过分频调制单元23进行分频处理后,重复频率变为1MHz,通过改变调制脉冲串的序列,可以对重复频率实现任意改变。在一具体实施例中,所述相干宽谱锁模脉冲光的频率为10MHz~20MHz,经过分频处理后的相干宽谱锁模脉冲光的重复频率即第二重频宽谱脉冲光的重复频率为兆赫兹,本实施例中利用兆赫兹扫频信号作为信号源可实现亚微米高精度以及高速探测,能够对慢变化的待测物体实现精确快速测量,相比传统扫频干涉测量技术具有抗环境干扰能力强,测量速度快和准确度高的优点。

[0074] 继续参照图1所示,本实施例一中所述色散拉伸模块3包括:第一环行器31、第二环行器32、第一色散单元33;所述第一环行器31用于接收所述第一重频宽谱脉冲光,并将所述第一重频宽谱脉冲光传输至所述第一色散单元33以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂4;所述第二环行器32用于接收所述第二重频宽谱脉冲光,并将所述第二重频宽谱脉冲光传输至所述第一色散单元33以及将所述第一扫频信号传输至所述参考臂4;所述第一色散单元33用于对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号。所述第一色散单元33包括色散补偿光纤和色散位移光纤等色散控制器件,具体测距过程中,第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光分别经过第一环行器31和第二环行器32以及第一色散单元33后,产生不同重复频率的超高速相干扫频信号。例如,重复频率为1MHz和256MHz的高相干宽谱脉冲源经过两个环行器后分别进入色散补偿光纤和散射位移光纤后输出行程扫频信号。采用两个环行器的设计是为了保证得到的第一扫频信号和第二扫频信号具有相同的色散量,色散补偿光纤和色散位移

光纤结合使用是为了减小二阶色散和高级色散而实现线性扫频。

[0075] 继续参照图1所示,本发明实施例一中所述测距装置还包括第三环行器8和第四环行器9,所述精度相干探测模块6包括:光混频器61、分束器62、第三耦合器63、第四耦合器64、第一平衡探测器65以及第二平衡探测器66;所述光混频器61用于对所述测量臂4输出的第二扫频信号进行90°相移,将90°相移后的第二扫频信号分为两路,并将两路所述第二扫频信号分别传输至所述第三耦合器63和所述第四耦合器64;所述分束器62用于将所述参考臂5输出的第一扫频信号分为两路,并将两路所述第一扫频信号分别传输至所述第三耦合器63和所述第四耦合器64;所述第三耦合器63和所述第四耦合器64分别用于接收所述光混频器61传输的第二扫频信号和所述分束器62传输的第一扫频信号,并使所述第一扫频信号和所述第二扫频信号发生干涉;所述第一平衡探测器65和所述第二平衡探测器66用于采集所述第一扫频信号和所述第二扫频信号的干涉信号。具体测距过程中,第二扫频信号由第三环行器8进入测量臂4后,再由测量臂4输出经第三环行器8进入光混频器61,所述光混频器61接收到第二扫频信号后,对第二扫频信号进行90°相移,并将90°相移后的第二扫频信号分成两路输入第三耦合器63和第四耦合器64。类似的,第一扫频信号由第四环行器9进入参考臂5后,再由参考臂5输出经第四环行器9进入分束器62,分束器62接收到第一扫频信号后,将所述第一扫频信号分成两路输入第三耦合器63和第四耦合器64,第一扫频信号和第二扫频信号在第三耦合器63和第四耦合器64内发生干涉,并由第一平衡探测器65和第二平衡探测器66采集干涉信号,以便后续步骤中根据所述干涉信号确定待测距离。

[0076] 继续参照图1所示,本发明实施例一中所述测距装置还包括第六耦合器10和第七耦合器11,所述飞行时间测量模块7包括:窄带滤波器71和探测器72,所述窄带滤波器71用于对输入所述测量臂4前的第二扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号进行窄带滤波;所述探测器72用于采集窄带滤波后的输入所述测量臂4前的第二扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号。距离测量过程中,色散拉伸模块3生成的第二扫频信号被所述第六耦合器10分为两路,一路进入测量臂4,另一路进入窄带滤波器71,所述测量臂4输出的第二扫频信号被所述第七耦合器11分为两路,一路进入窄带滤波器71,另一路进入光混频器61,窄带滤波器71对输入测量臂4前的第二扫频信号和测量臂4输出的第二扫频信号进行窄带滤波后,由探测器72采集窄带滤波后的输入所述测量臂4前的第二扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号。

[0077] 参照图6所示,为本发明实施例二中提供的双重频扫频激光测距装置的结构示意图,本发明实施例二中提供的双重频扫频激光测距装置的结构与本发明实施例一中提供的双重频扫频激光测距装置的结构基本相同,唯一区别是本发明实施例二中提供的双重频扫频激光测距装置中的色散拉伸模块3包括第二色散单元34和第三色散单元35,所述第二色散单元34用于接收所述第一重频宽谱脉冲光,对所述第一重频宽谱脉冲光进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂5;所述第三色散单元35用于接收所述第二重频宽谱脉冲光,对所述第二重频宽谱脉冲光进行色散时域拉伸,得到第二扫频信号,并将所述第二扫频信号传输至所述测量臂4。所述第二色散单元34和所述第三色散单元35均包括色散补偿光纤和色散位移光纤等色散控制器件,具体测距过程中,第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光分别经过第二色散单元34和第三色散单元35后,产生不同重复频率的超高速相干扫频信号。例如,重复频率为1MHz和256MHz的高相干宽谱

脉冲源分别进入色散补偿光纤和散射位移光纤后输出行程扫频信号。

[0078] 参照图7所示,为本发明实施例三中提供的双重频扫频激光测距装置的结构示意图,本发明实施例三中提供的双重频扫频激光测距装置的结构与本发明实施例二中提供的双重频扫频激光测距装置的结构基本相同,唯一区别是本发明实施例三中提供的双重频扫频激光测距装置中的精度相干探测模块6包括:第五耦合器67和第三平衡探测器68,所述第五耦合器67用于使所述参考臂5输出的第一扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号发生干涉;所述第三平衡探测器68用于采集所述第一扫频信号和所述第二扫频信号的干涉信号。具体测距过程中,所述参考臂5输出的第一扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号在所述第五耦合器67中发生干涉,并由第三平衡探测器68采集干涉信号,以便后续步骤中根据所述干涉信号确定待测距离。

[0079] 参照图8所示,为本发明实施例四中提供的双重频扫频激光测距装置的结构示意图,本发明实施例四中提供的双重频扫频激光测距装置的结构与本发明实施例一中提供的双重频扫频激光测距装置的结构基本相同,唯一区别是本发明实施例四中提供的双重频扫频激光测距装置中的精度相干探测模块6包括:第五耦合器67和第三平衡探测器68,所述第五耦合器67用于使所述参考臂5输出的第一扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号发生干涉;所述第三平衡探测器68用于采集所述第一扫频信号和所述第二扫频信号的干涉信号。具体测距过程中,所述参考臂5输出的第一扫频信号和所述测量臂4输出的第二扫频信号在所述第五耦合器67中发生干涉,并由第三平衡探测器68采集干涉信号,以便后续步骤中根据所述干涉信号确定待测距离。

[0080] 示例性方法

[0081] 本实施例提供一种上述所述的双重频扫频激光测距装置的测距方法,如图9中所示,所述方法包括:

[0082] 步骤S100、对所述宽谱脉冲光源产生的相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光;

[0083] 步骤S200、对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂;

[0084] 步骤S300、使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉,并采集干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号;

[0085] 步骤S400、根据所述干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号,确定待测距离。

[0086] 具体地,通过上述所述双重频扫频激光测距装置进行测距时,首先对宽谱脉冲光源产生的相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光,然后对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂,接着使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉,并采集干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号,最后根据所述干涉信号、输入所述测量臂前

的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号,确定待测距离。本实施例中通过对相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到双重频宽谱脉冲信号,然后对双重频宽谱脉冲信号进行色散时域拉伸,得到具有高相干性的双重频扫频信号,通过所述双重频扫频信号进行测距,可以消除高速扫频干涉高精度测距的测量盲区,使探测范围提高到数十千米以上,消除测量模糊,实现高速、高精度和大量程的扫频干涉激光测距。

[0087] 对于第一扫频信号和第二扫频信号,每个周期对应一个干涉差,获取到输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号后,根据两个第二扫频信号之间的延迟时间即可确定干涉信号所处的周期,然后根据第一扫频信号和第二扫频信号的斜率对干涉信号进行信号解调即可获取测量臂的位置信息即一个周期内的距离值,最后根据干涉信号所处的周期和一个周期内的距离值即可确定待测距离。例如,高重复频率100MHz的扫频信号,一个周期是10ns,对应的周期长度是2m,确定输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号之间的延迟时间为100ns,根据延迟时间即可确定干涉信号所处的周期为 $100\text{ns}/10\text{ns}=10$,假设根据干涉信号确定一个周期内的距离值为10mm,则待测距离为 $10*2\text{m}+10\text{mm}=20.01\text{m}$ 。

[0088] 综上所述,本发明公开了一种双重频扫频激光测距装置及方法,包括:宽谱脉冲光源、脉冲调制模块、色散拉伸模块、测量臂、参考臂、精度相干探测模块、飞行时间测量模块以及控制终端;所述宽谱脉冲光源用于产生相干宽谱锁模脉冲光;所述脉冲调制模块用于接收所述相干宽谱锁模脉冲光,并对所述相干宽谱锁模脉冲光进行倍频处理和分频处理,得到第一重频宽谱脉冲光和第二重频宽谱脉冲光;所述色散拉伸模块用于接收所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光,并对所述第一重频宽谱脉冲光和所述第二重频宽谱脉冲光分别进行色散时域拉伸,得到第一扫频信号和第二扫频信号,并将所述第一扫频信号传输至所述参考臂以及将所述第二扫频信号传输至所述测量臂;所述精度相干探测单元用于使所述参考臂输出的第一扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号发生干涉,并采集干涉信号;所述飞行时间测量模块用于采集输入所述测量臂前的第二扫频信号和所述测量臂输出的第二扫频信号;所述控制终端用于根据所述干涉信号、输入所述测量臂前的第二扫频信号以及所述测量臂输出的第二扫频信号,确定待测距离。本发明的测距装置可以测量盲区,使探测范围提高到数十千米以上,实现高速、高精度和大量程的扫频干涉激光测距。

[0089] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

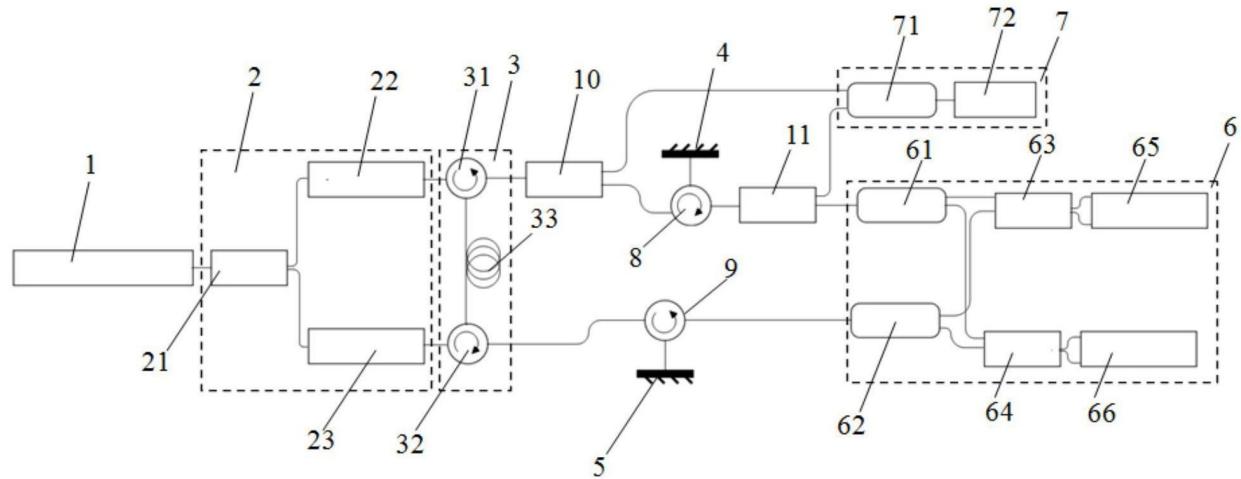


图1

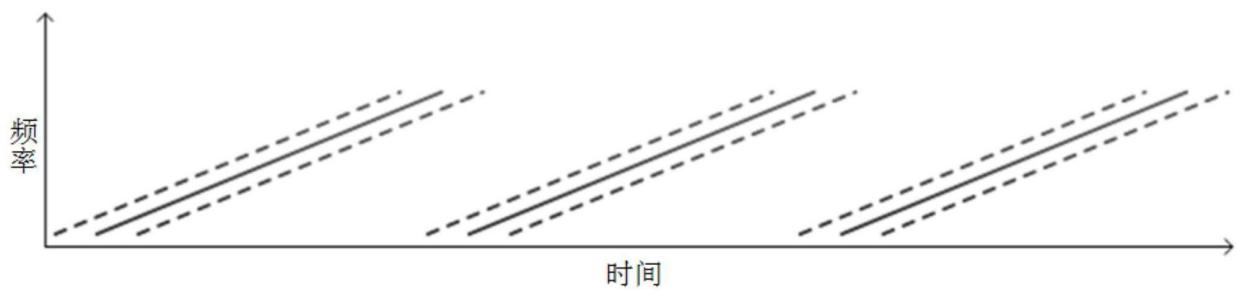


图2

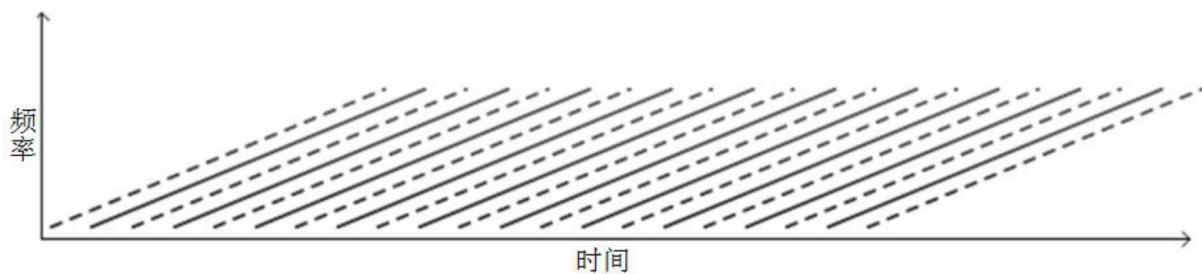
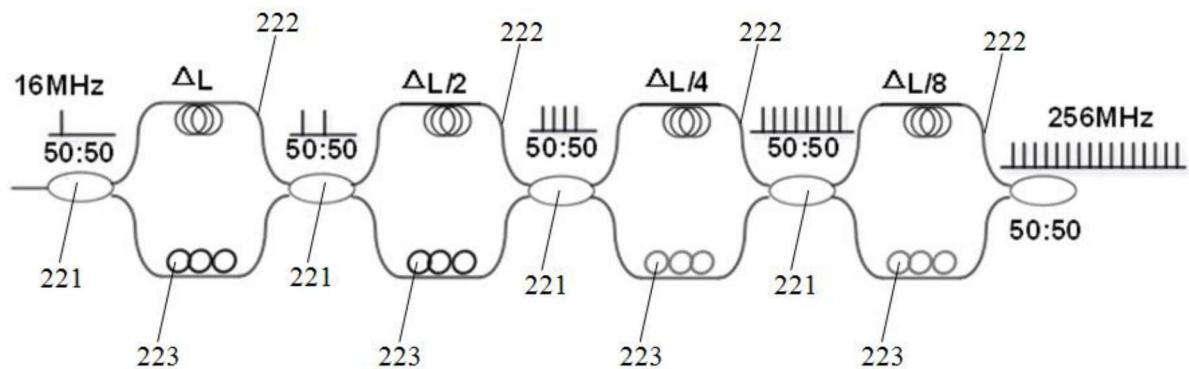


图3



冬 4

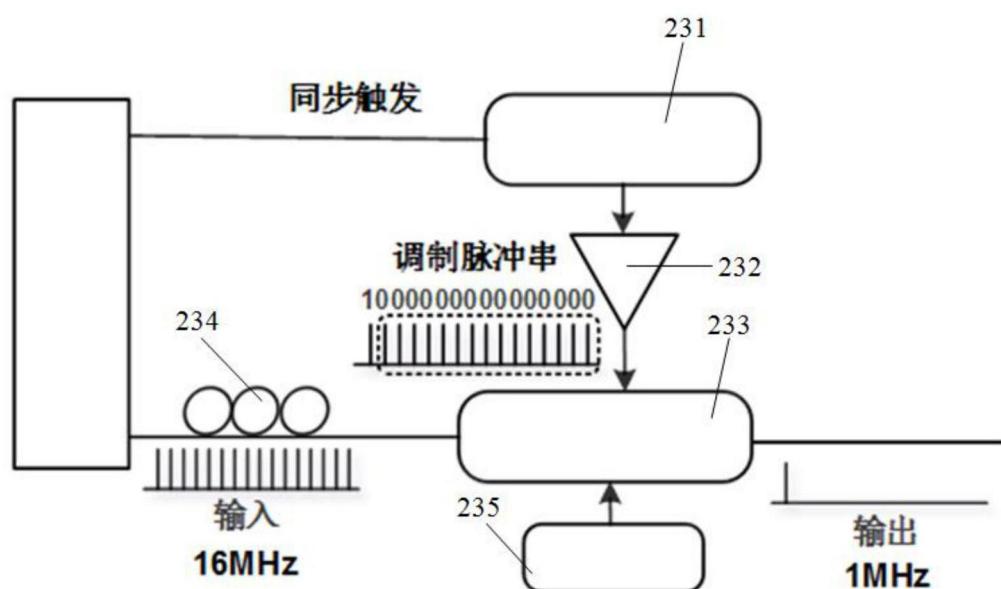


图5

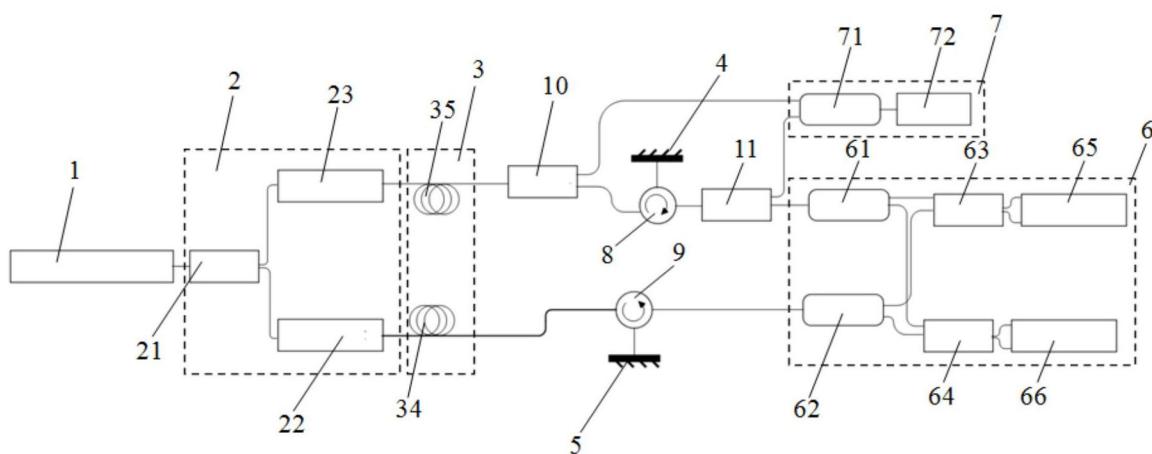


图 6

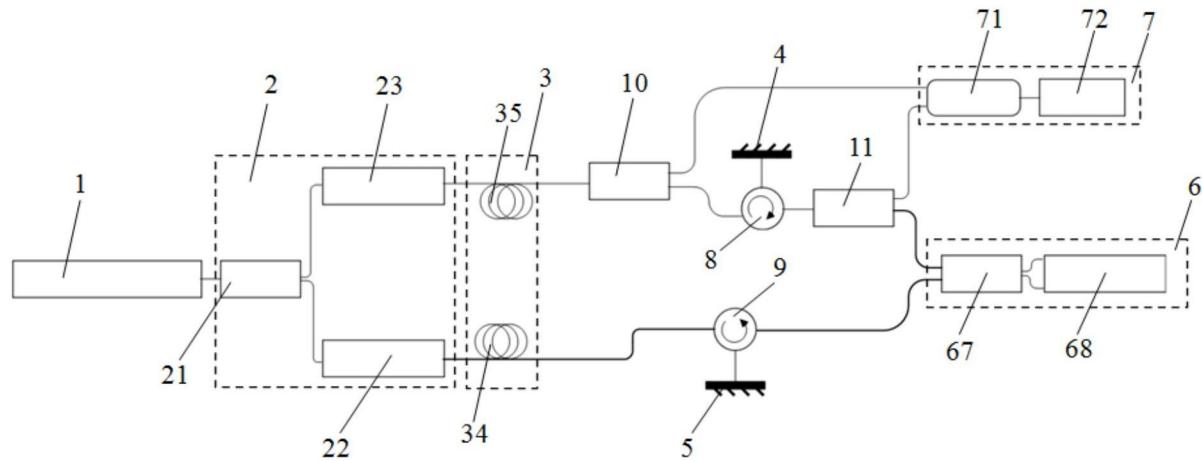


图7

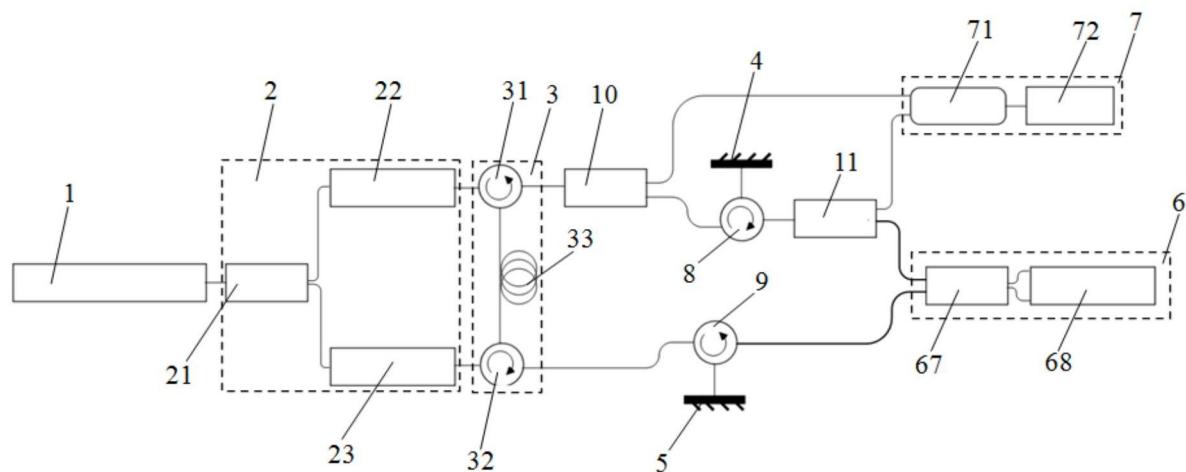


图8

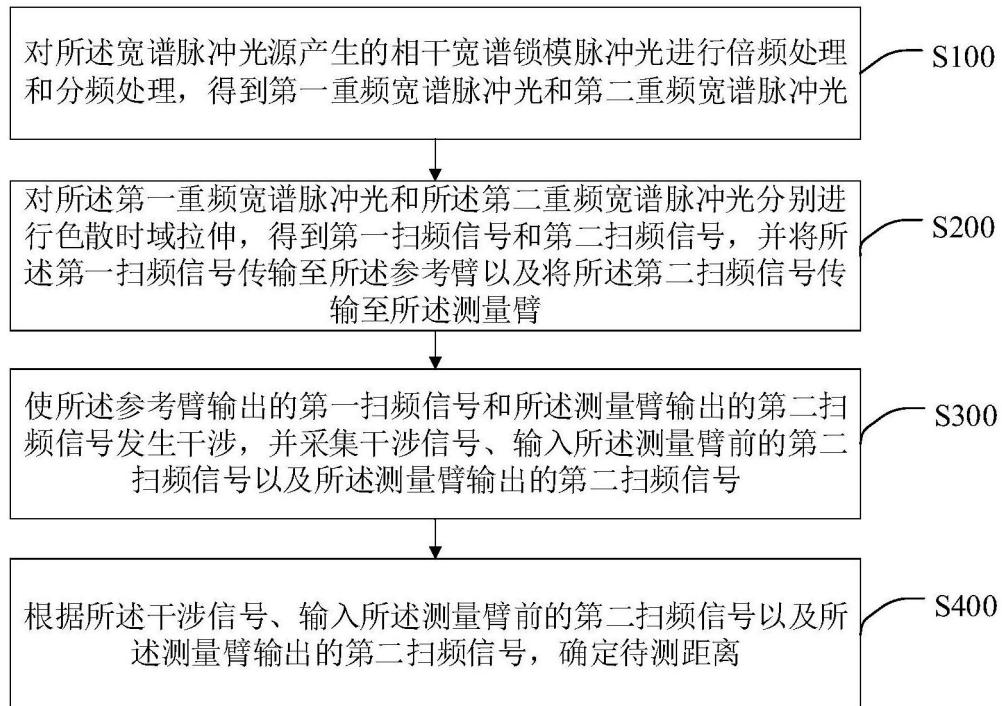


图9