



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112636133 B

(45) 授权公告日 2022.07.19

(21) 申请号 202011266960.4

(22) 申请日 2020.11.13

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112636133 A

(43) 申请公布日 2021.04.09

(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
专利代理师 陈专

(51) Int.Cl.

H01S 3/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104618028 A, 2015.05.13

CN 201490568 U, 2010.05.26

CN 104201550 A, 2014.12.10

JP 2006337833 A, 2006.12.14

CN 103779784 A, 2014.05.07

Dongmei Huang et.al..Spectrally uniform discrete Fourier domain mode locked fiber laser by time domain modulation.《CLEO》.2019,

审查员 关玉巧

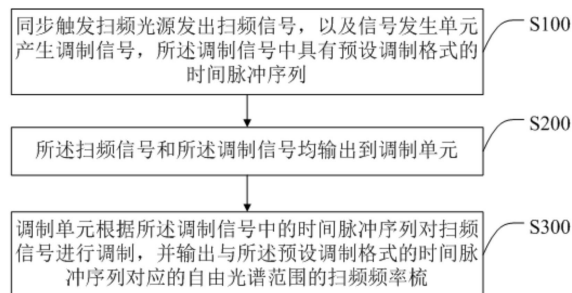
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

一种自由光谱范围可变的腔外调制方法及扫频激光器

(57) 摘要

本发明所提供的一种自由光谱范围可变的腔外调制方法及扫频激光器,扫频激光器包括:扫频光源、信号发生单元,设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元;腔外调制方法包括:同步触发扫频光源发出扫频信号,以及信号发生单元产生调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;所述扫频信号和所述调制信号均输出到调制单元;调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。本发明通过在扫频激光器腔外接入调制单元,利用时域调制的方法对扫频信号进行离散实现扫频频率梳,自由光谱范围及重复频率均可实现调谐重构,提高了扫频频率梳的灵活性。



1. 一种自由光谱范围可变的腔外调制方法,应用于扫频激光器,其特征在于,所述扫频激光器包括:扫频光源、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述扫频光源和信号发生单元均与所述调制单元连接;

所述自由光谱范围可变的腔外调制方法包括:

同步触发扫频光源发出扫频信号,以及信号发生单元产生调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

所述扫频信号和所述调制信号均输出到调制单元;

调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳;

所述自由光谱范围可变的腔外调制的原理为:根据扫频激光器的扫频曲线,确定在频率域离散的均匀扫频频率梳,并确定这些均匀扫频频率梳在时间域对应的非均匀离散扫频信号的时间位置,然后通过信号发生单元产生时间位置的非均匀的离散脉冲信号加载到扫频激光器外接的调制器,通过在时间域上的斩波实现扫频频率梳。

2. 根据权利要求1所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法,其特征在于,所述预设调制格式的时间脉冲序列为单向离散的调制脉冲序列,且在频率域均匀分布,时间域为非等间隔时间脉冲序列。

3. 根据权利要求2所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法,其特征在于,所述调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳具体包括:

调制单元根据所述调制信号中的单向离散的调制脉冲序列对扫频信号进行调制;

输出自由光谱范围与扫频信号自由光谱范围一致的扫频频率梳。

4. 根据权利要求1所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法,其特征在于,所述预设调制格式的时间脉冲序列为双向离散的两组调制脉冲序列,分别为前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序列;所述前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序列在频率域均匀分布。

5. 根据权利要求4所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法,其特征在于,所述调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳具体包括:

调制单元根据所述调制信号中的前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序列对扫频信号进行调制;

输出自由光谱范围为扫频信号自由光谱范围的一半的扫频频率梳。

6. 根据权利要求1所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法,其特征在于,所述自由光谱范围可变的腔外调制方法还包括:

当所述预设调制格式为单个周期调制时,输出自由光谱范围与扫频信号自由光谱范围一致、重复频率与扫频激光器原有扫频频率一致的扫频频率梳。

7. 根据权利要求1所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法,其特征在于,当所述预设调制格式为N个周期组合调制时,所述预设调制格式的时间脉冲序列为N组调制脉冲序列;

所述自由光谱范围可变的腔外调制方法还包括:

相邻的调制脉冲序列之间在频率上偏移 $1/N$ 自由光谱范围,N组调制脉冲序列组合后产生扫频频率梳;

其中,所述扫频频率梳的自由光谱范围为每组调制脉冲序列自由光谱范围的 $1/N$,所述扫频频率梳的重复频率为扫频激光器原有重复频率的 $1/N$ 。

8. 一种扫频激光器,其特征在于,所述扫频激光器包括:扫频光源、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述扫频光源和信号发生单元均与所述调制单元连接;

所述扫频光源用于发出与调制信号同步的扫频信号,并输出到调制单元;

所述信号发生单元用于产生与扫频信号同步的调制信号,并输出到调制单元,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

所述调制单元用于根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳;

所述自由光谱范围可变的腔外调制的原理为:根据扫频激光器的扫频曲线,确定在频率域离散的均匀扫频频率梳,并确定这些均匀扫频频率梳在时间域对应的非均匀离散扫频信号的时间位置,然后通过信号发生单元产生时间位置的非均匀的离散脉冲信号加载到扫频激光器外接的调制器,通过在时间域上的斩波实现扫频频率梳。

9. 根据权利要求8所述的扫频激光器,其特征在于,所述扫频激光器包括:依次通过光纤连接的扫频光源、光分束单元、探测单元、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述调制单元与所述光分束单元通过光纤连接;

所述扫频光源用于发出扫频信号;

所述光分束单元用于对扫频信号分束,分别输出到探测单元和调制单元;

所述探测单元用于探测扫频信号中的时域触发信号,根据所述时域触发信号触发信号发生单元;

所述信号发生单元用于产生与扫频信号同步的调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

所述调制单元用于根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。

10. 一种存储介质,其特征在于,所述存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序能够被执行以用于实现如权利要求1-7任意一项所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法的步骤。

一种自由光谱范围可变的腔外调制方法及扫频激光器

技术领域

[0001] 本发明涉及激光器技术领域,尤其涉及的是一种自由光谱范围可变的腔外调制方法及扫频激光器。

背景技术

[0002] 利用扫频激光光源实现扫频频率梳能有效地减小测试数据量,在光学相干成像系统、激光雷达、光传感、光通信、光谱测量等领域都具有潜在的应用。

[0003] 目前的离散扫频频率梳都是在扫频激光腔内(如傅里叶锁模激光器)或者激光腔外(如外腔扫频光源、基于时域拉伸的扫频光源等)插入梳状滤波器将扫频信号在光谱上分割为数小段而实现的。但是梳状滤波器一旦做好将无法进行任何调整,因此,基于梳状滤波器实现扫频频率梳的方式灵活性差,不可调谐。

[0004] 因此,现有技术存在缺陷,有待改进与发展。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种自由光谱范围可变的腔外调制方法及扫频激光器,旨在解决现有技术中基于梳状滤波器实现扫频频率梳的方式灵活性差,不可调谐的问题。

[0006] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0007] 一种自由光谱范围可变的腔外调制方法,应用于扫频激光器,所述扫频激光器包括:扫频光源、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述扫频光源和信号发生单元均与所述调制单元连接;

[0008] 所述自由光谱范围可变的腔外调制方法包括:

[0009] 同步触发扫频光源发出扫频信号,以及信号发生单元产生调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

[0010] 所述扫频信号和所述调制信号均输出到调制单元;

[0011] 调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。

[0012] 进一步地,所述预设调制格式的时间脉冲序列为单向离散的调制脉冲序列,且在频率域均匀分布,时间域为非等间隔时间脉冲序列。

[0013] 进一步地,所述调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳具体包括:

[0014] 调制单元根据所述调制信号中的单向离散的调制脉冲序列对扫频信号进行调制;

[0015] 输出自由光谱范围与扫频信号自由光谱范围一致的扫频频率梳。

[0016] 进一步地,所述预设调制格式的时间脉冲序列为双向离散的两组调制脉冲序列,分别为前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序列;所述前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序

列在频率域均匀分布。

[0017] 进一步地,所述调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳具体包括:

[0018] 调制单元根据所述调制信号中的前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序列对扫频信号进行调制;

[0019] 输出自由光谱范围为扫频信号自由光谱范围的一半的扫频频率梳。

[0020] 进一步地,所述自由光谱范围可变的腔外调制方法还包括:

[0021] 当所述预设调制格式为单个周期调制时,输出自由光谱范围与扫频信号自由光谱范围一致、重复频率与扫频激光器原有扫频频率一致的扫频频率梳。

[0022] 进一步地,当所述预设调制格式为N个周期组合调制时,所述预设调制格式的时间脉冲序列为N组调制脉冲序列;

[0023] 所述自由光谱范围可变的腔外调制方法还包括:

[0024] 相邻的调制脉冲序列之间在频率上偏移 $1/N$ 自由光谱范围,N组调制脉冲序列组合后产生扫频频率梳;

[0025] 其中,所述扫频频率梳的自由光谱范围为每组调制脉冲序列自由光谱范围的 $1/N$,所述扫频频率梳的重复频率为扫频激光器原有重复频率的 $1/N$ 。

[0026] 本发明提供一种扫频激光器,所述扫频激光器包括:扫频光源、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述扫频光源和信号发生单元均与所述调制单元连接;

[0027] 所述扫频光源用于发出与调制信号同步的扫频信号,并输出到调制单元;

[0028] 所述信号发生单元用于产生与扫频信号同步的调制信号,并输出到调制单元,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

[0029] 所述调制单元用于根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。

[0030] 进一步地,所述扫频激光器包括:依次通过光纤连接的扫频光源、光分束单元、探测单元、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述调制单元与所述光分束单元通过光纤连接;

[0031] 所述扫频光源用于发出扫频信号;

[0032] 所述光分束单元用于对扫频信号分束,分别输出到探测单元和调制单元;

[0033] 所述探测单元用于探测扫频信号中的时域触发信号,根据所述时域触发信号触发信号发生单元;

[0034] 所述信号发生单元用于产生与扫频信号同步的调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

[0035] 所述调制单元用于根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。

[0036] 本发明提供一种存储介质,其中,所述存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序能够被执行以用于实现如上所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法的步骤。

[0037] 本发明所提供的一种自由光谱范围可变的腔外调制方法及扫频激光器,所述自由

光谱范围可变的腔外调制方法应用于扫频激光器,所述扫频激光器包括:扫频光源、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述扫频光源和信号发生单元均与所述调制单元连接;所述自由光谱范围可变的腔外调制方法包括:同步触发扫频光源发出扫频信号,以及信号发生单元产生调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;所述扫频信号和所述调制信号均输出到调制单元;调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。本发明通过在扫频激光器腔外接入调制单元,利用时域调制的方法对扫频信号进行离散实现扫频频率梳,自由光谱范围及重复频率均可实现调谐重构,提高了扫频频率梳的灵活性。

附图说明

[0038] 图1是本发明中自由光谱范围可变的腔外调制方法较佳实施例的流程图。

[0039] 图2是本发明中扫频激光器较佳实施例的功能原理框图。

[0040] 图3是本发明中自由光谱范围可变的腔外调制方法另一较佳实施例的流程图。

[0041] 图4a是本发明中自由光谱范围可变的腔外调制方法较佳实施例中基于单向外调制的扫频频率梳原理图。

[0042] 图4b是本发明中自由光谱范围可变的腔外调制方法较佳实施例中基于双向外调制的扫频频率梳原理图。

[0043] 图5是本发明中自由光谱范围可变的腔外调制方法较佳实施例中基于周期性组合外调制的扫频频率梳原理图。

具体实施方式

[0044] 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。

[0045] 目前,在激光腔内插入梳状滤波器或者在激光腔内使用调制器并不适用于所有扫频激光光源,包括:基于可调滤波器的传统扫频激光光源(基于光栅/扫描振镜调谐滤波器、基于光纤型法布里珀罗调谐滤波器、声光可调谐滤波器、电光可调谐滤波器等)、基于微机电系统(MEMS)可调谐垂直腔表面发射激光扫频光源(VCSEL)、傅里叶锁模激光光源、基于时域色散展宽技术的扫频激光光源、基于时域拉伸的扫频激光光源。例如在基于微机电系统(MEMS)可调谐垂直腔表面发射激光扫频光源(VCSEL)、基于时域拉伸的扫频激光光源等就无法通过在腔内插入梳状滤波器实现扫频频率梳。其中,频率梳是指在频谱上由一系列均匀间隔的频率分量组成的光谱。扫频频率梳的是不同的时间点频谱上输出不同的频率,这些频率分量是均匀等间隔的,故称为扫频的频率梳。

[0046] 本发明是在扫频激光器腔外通过接入光调制器,利用时域调制的方法对扫频信号进行离散实现扫频频率梳。主要解决目前基于梳状滤波器实现扫频频率梳的灵活性差,不可调谐等问题。同时也提供一种外调制的方法适用于所有扫频激光光源产生可重构的扫频频率梳。除此以外,本发明提供一种任意可重构的离散扫频频率梳,其自由光谱范围及重复频率均可以实现调谐重构。

[0047] 请参见图1,图1是本发明中自由光谱范围可变的腔外调制方法的流程图。如图1所示,本发明实施例所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法包括以下步骤:

[0048] S100、同步触发扫频光源发出扫频信号,以及信号发生单元产生调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

[0049] S200、所述扫频信号和所述调制信号均输出到调制单元;

[0050] S300、调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。

[0051] 所述扫频激光器包括:扫频光源、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述扫频光源和信号发生单元均与所述调制单元连接。

[0052] 也就是说,扫频信号和调制信号之间需要通过某种方式进行同步,同步方式有多种:

[0053] 第一种同步方式:通过探测扫频激光信号产生触发信号,然后触发信号发生单元产生调制信号。具体地,请参阅图2,扫频激光器包括:依次通过光纤连接的扫频光源10、光分束单元20、探测单元30、信号发生单元40,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元50,所述调制单元50与所述光分束单元20通过光纤连接。

[0054] 请参阅图3,调制的具体步骤为:

[0055] S10、扫频光源发出扫频信号,经光分束单元分别输出到探测单元和调制单元;

[0056] S20、探测单元探测扫频信号中的时域触发信号,根据所述时域触发信号触发信号发生单元;

[0057] S30、信号发生单元产生与扫频信号同步的调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

[0058] S40、调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。

[0059] 第二种同步方式:将扫频信号通过一个光滤波器,产生一个或多个短脉冲作为触发信号,然后触发信号发生单元产生调制信号。

[0060] 第三种同步方式:扫频光源内部已经内建同步触发信号,直接输出到信号发生单元产生调制信号。

[0061] 第四种同步方式:信号发生单元在生成调制信号的同时,产生一路同步触发信号,同步触发扫频光源产生扫频信号。

[0062] 第五种同步方式:外置同步触发,同时触发信号发生单元和扫频光源。

[0063] 第六种同步方式:信号发生单元和扫频光源共用时钟信号(如通过10MHz参考时钟同步,可来自任何一方或外置时钟源),调谐到统一的重复频率和输出相位,可是直接同步。

[0064] 也就是说,本发明基于时域调制的方法,在扫频光源外接入调制器,通过给调制器施加不同调制格式的时间脉冲序列,对扫频光源进行调制,在频率上实现扫频频率梳输出。

[0065] 扫频光源10作为实现扫频频率梳的种子源,可以是基于可调滤波器的传统扫频激光光源(基于光栅/扫描振镜调谐滤波器、基于光纤型法布里珀罗调谐滤波器、声光可调谐滤波器、电光可调谐滤波器等)、基于微机电系统(MEMS)可调谐垂直腔表面发射激光扫频光源(VCSEL)、傅里叶锁模激光光源、基于时域色散展宽技术的扫频激光光源、基于时域拉伸的扫频激光光源等。

[0066] 光分束单元20具体为光分束器(BS),对光信号进行不同比例的分束,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光分束器。

[0067] 探测单元30具体为探测器,用来探测扫频激光器的时域触发信号,触发信号发生单元产生同步的调制信号驱动调制器。

[0068] 信号发生单元40具体为信号发生器,用来产生调制器所需的驱动电信号,通过给调制器施加不同调制格式的时间脉冲序列对扫频激光光源进行调制,在频率上实现扫频频率梳输出。

[0069] 调制单元50具体为调制器,调制器用来实现对光信号的强度或幅度调制,可以是基于铌酸锂或其他电光材料的马赫增德尔电光调制器,或者是半导体电吸收调制器,微机械光开关等不同类型的光调制器。不同时间脉冲序列的电信号加载到调制器时,就会对调制器的光信号在频率进行离散,实现扫频频率梳输出。

[0070] 所述扫频激光器还包括:通过光纤连接在光分束单元20和调制单元50之间的偏振控制单元60。偏振控制单元60具体为偏振控制器(PC),用来调节腔内的偏振态,使得使偏振敏感器件如光调制器、半导体光放大器等工作在系统所要求的最佳状态。其可以是基于三环型、双环形、挤压型等不同类型的光纤在线偏振控制器或者是由多个玻片组成的自由空间偏振控制器。

[0071] 基于外调制的可重构扫频频率梳源的工作原理是:根据扫频激光器的扫频曲线,设计在频率域离散的均匀扫频频率梳,找出这些均匀频率梳在时间域对应的非均匀离散扫频信号的时间位置,然后通过信号发生单元产生时间位置的非均匀的离散脉冲信号加载到扫频激光器外接的调制器,通过在时间域上的斩波实现扫频频率梳。时域调制方法实现扫频频率梳具有极大的灵活性,只需要通过设计时间域脉冲信号的位置就可以实现任意自由光谱范围的扫频频率梳。基于时域调制的灵活性,基于外调制的可重构扫频频率梳源可以根据扫频激光器的特性实现不同的调制格式,对扫频频率梳的扫频频率及自由光谱范围进行灵活改变。

[0072] 其中,时域调制的方法会输出离散的扫频信号,例如,第一个输出为191THz,第二个输出为191.1THz,第三个为191.2THz……依次输出离散的扫频信号。自由光谱范围是指相邻两个离散信号在频率上的差(自由光谱范围 $191.1-191=0.1\text{THz}$)。相邻两个脉冲的时间差对应的频率差是一样的,这样才能输出离散的扫频频率梳。

[0073] 其中,扫频曲线是指扫频激光器输出的时间波长曲线。同一个扫频激光器的扫频曲线是固定的,输出的是连续的扫频信号。本发明通过时域调制的方法可以实现离散的扫频信号输出,从而减小数据量。

[0074] 对于基于可调滤波器的传统扫频激光光源(基于光栅/扫描振镜调谐滤波器、基于光纤型法布里珀罗调谐滤波器、声光可调谐滤波器、电光可调谐滤波器等)、基于微机电系统(MEMS)可调谐垂直腔表面发射激光扫频光源(VCSEL)、傅里叶锁模激光光源等这类双向扫频的激光器,可以通过设计单向离散或者双向离散(前向离散和后向离散组合)的调制格式,实现自由光谱范围任意可调或任意减半,如图4a和4b所示。其中,对于一个扫频激光器,假设输出是从 λ_1 到 λ_n ;对于单向扫频来说,激光器在一个周期是从 λ_1 到 λ_n 输出。对于双向扫频激光器来说,在二分之一一个周期从 λ_1 到 λ_n 输出,在另外二分之一一个周期从 λ_n 到 λ_1 输出。

[0075] 在一种实现方式中,将所述预设调制格式的时间脉冲序列设置为单向离散的调制

脉冲序列,且在频率域均匀分布,时间域为非等间隔时间脉冲序列。

[0076] 进一步地,所述步骤S400具体包括:调制单元根据所述调制信号中的单向离散的调制脉冲序列对扫频信号进行调制;输出自由光谱范围与扫频信号自由光谱范围一致的扫频频率梳。

[0077] 具体地,请参阅图4a,单向离散的调制脉冲序列,在频率域是均匀分布的,时间域为非等间隔时间脉冲序列。可以通过设计调节脉冲序列格式,获得不同的自由光谱范围。例如,前向扫频频率梳的自由光谱范围(FSR)设计为100GHz,或者后向扫频频率梳的自由光谱范围(FSR)设计为100GHz,就可以实现扫频频率梳的自由光谱范围(FSR)为100GHz。

[0078] 在一种实现方式中,还可以将所述预设调制格式的时间脉冲序列设置为双向离散的两组调制脉冲序列,分别为前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序列;所述前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序列在频率域均匀分布。

[0079] 进一步地,所述步骤S400具体包括:调制单元根据所述调制信号中的前向调制脉冲序列和后向调制脉冲序列对扫频信号进行调制;输出自由光谱范围为扫频信号自由光谱范围的一半的扫频频率梳。

[0080] 具体地,请参阅图4b,双向离散的两组调制脉冲序列,前向和后向在频率域是均匀分布的,对应差一个自由光谱范围,组合调制后自由光谱范围变为原来的一半。前向和后向的脉冲调制格式也可以灵活设计,实现不同自由光谱范围。例如,前向扫频频率梳的自由光谱范围(FSR)设计为100GHz,后向扫频频率梳的自由光谱范围(FSR)也设计为100GHz,通过前后向组合调制,使前向调制信号和后向调制信号有50GHz的时间延迟,就可以实现扫频频率梳的自由光谱范围(FSR)为50GHz。

[0081] 对于基于时域色散展宽技术的扫频激光光源、基于时域拉伸的扫频激光光源等具有周期性扫频特性,可以通过对单个或者多个周期组合调制对扫频频率梳的自由光谱范围和扫频频率进行改变,如图5所示(以五个周期为一个单元为例说明)。图5中实线代表的是扫频曲线,横轴是时间,纵轴是输出的频率(波长),这就是扫频激光器的扫频曲线,不同的时间点输出不同的频率(波长)。虚线代表的是在时间域上使用不同的时间脉冲序列斩波,实现在频率上等间隔的频率梳输出。

[0082] 在一种实现方式中,所述自由光谱范围可变的腔外调制方法还包括:当所述预设调制格式为单个周期调制时,输出自由光谱范围与扫频信号自由光谱范围一致、重复频率与扫频激光器原有扫频频率一致的扫频频率梳。

[0083] 具体地,对于单个周期的调制,可以设计调制格式相同的脉冲序列,使得调制的扫频信号在频域上输出相同的自由光谱范围。这种调制格式输出的扫频频率梳的重复频率与扫频激光器的扫频频率一致。例如,对于重复频率为100MHz的时域拉伸的扫频激光器,扫频激光器的周期为10ns,通过设计调制周期为10ns调制脉冲序列实现扫频频率梳,扫频频率梳的重复频率与扫频激光器的扫频频率一致。

[0084] 进一步地,当所述预设调制格式为N个周期组合调制时,所述预设调制格式的时间脉冲序列为N组调制脉冲序列。所述自由光谱范围可变的腔外调制方法还包括:相邻的调制脉冲序列之间在频率上偏移 $1/N$ 自由光谱范围,N组调制脉冲序列组合后产生扫频频率梳。其中,所述扫频频率梳的自由光谱范围为每组调制脉冲序列自由光谱范围的 $1/N$,所述扫频频率梳的重复频率为扫频激光器原有重复频率的 $1/N$ 。

[0085] 具体地,对于多个周期组合的调制,对其中N个周期设计N组调制脉冲序列,包括:第一组脉冲序列、第二组脉冲序列、第三组脉冲序列……第(N-1)组脉冲序列、第N组脉冲序列。每组调制脉冲在频率域对应相同的自由光谱范围(FSR),第二组脉冲序列相对于第一组脉冲序列在频率上偏移 $1/N$ 自由光谱范围(FSR),第三组脉冲序列相对于第二组脉冲序列在频率上偏移 $1/N$ 自由光谱范围(FSR),以此类推,第N组脉冲序列相对于第(N-1)组脉冲序列在频率上偏移 $1/N$ 自由光谱范围(FSR)。N组调制脉冲序列组合后产生新的扫频频率梳,自由光谱范围为每组自由光谱范围的 $1/N$,重复频率相应的也变为原来的 $1/N$ 。

[0086] 例如,对于重复频率为100MHz的时域拉伸的扫频激光器,扫频激光器的周期为10ns,通过设计调制周期为50ns(每五个周期为一组调制单元)实现扫频频率梳,每个调制单元的每组(五组)调制信号的周期为10ns,每组调制的扫频频率梳为100GHz,每组调制信号的起始点相对于前一组调制信号的起始点偏移20GHz对应的时间延迟,这样就可以实现自由光谱范围为20GHz、重复频率为20MHz的扫频频率梳。

[0087] 通过设计偏移,五组脉冲序列的相邻两个脉冲序列偏移 $1/5$ FSR,五组脉冲序列组合时就可以实现 $1/5$ FSR的自由光谱范围输出。另外,以两组为例,第一组输出自由光谱范围为100GHz,在纵轴上0,100,200,300,400依次输出。第二组自由光谱范围也为100GHz,但是相对第一组有偏移50GHz,在纵轴上50,150,250,350,450依次输出。两组输出组合就是0,50,100,150,200,250,300,350,400,450等依次输出,自由光谱范围就变为50GHz。

[0088] 本发明采用时域调制技术对扫频光源进行外调制,实现离散扫频频率梳,相比以前在扫频激光腔内或者腔外插入滤波器、或者在扫频激光腔内进行时域调制实现的扫频频率梳,具有以下好处:

[0089] 第一、基于时域调制,对扫频激光器进行外调制实现扫频频率梳,时域调制脉冲只依赖于驱动信号,相比采用固态梳状滤波器的方案,具有极大的灵活性。

[0090] 第二、通过前后向分组调制、多个周期分组调制等调制格式,可以对不同类型的扫频光源的扫频频率及自由光谱范围进行灵活调制,对同一套扫频系统实现可重构的扫频频率梳,大大提高了扫频频率梳的灵活性;在实际应用中,可以利用可重构的特性实现一套扫频激光器系统多重功能用途,大大降低了成本。

[0091] 第三、扫频频率梳的自由光谱范围及重复频率都可以灵活地实现重构调谐。

[0092] 下面列举具体实施例进行说明。

[0093] 实施例一:

[0094] 对于基于可调滤波器的传统扫频激光光源(基于光栅/扫描振镜调谐滤波器、基于光纤型法布里珀罗调谐滤波器、声光可调谐滤波器、电光可调谐滤波器等)、基于微机电系统(MEMS)可调谐垂直腔表面发射激光扫频光源(VCSEL)、傅里叶锁模激光光源等这类双向扫频的激光器,可以通过设计前向离散或者后向离散组合的调制格式,实现自由光谱范围均匀的扫频频率梳。

[0095] 扫频光源的输出信号到光分束器(BS)分成两部分分别输出到探测器和调制器。探测器探测到的信号作为触发信号使信号源产生同步的调制脉冲序列,如图4a所示。短脉冲信号的单脉冲长度在100ps至100ns之间,单向调制脉冲序列加载到调制器。调制器在这些短脉冲信号驱动下,将对光信号进行斩波,形成波长不同的短脉冲,从而实现了波长分立的扫频输出。实验的关键是根据理论计算找到合理的工作参数空间,设置与扫频信号匹配的

单向离散化分组扫频序列,使激光器在频谱上输出自由光谱范围相同的扫频信号。同时,需要精确地调节偏振控制器以及调制器的偏置电压,使调制器工作在零点状态。

[0096] 实施例二:

[0097] 对于基于可调滤波器的传统扫频激光光源(基于光栅/扫描振镜调谐滤波器、基于光纤型法布里珀罗调谐滤波器、声光可调谐滤波器、电光可调谐滤波器等)、基于微机电系统(MEMS)可调谐垂直腔表面发射激光扫频光源(VCSEL)、傅里叶锁模激光光源等这类双向扫频的激光器,可以通过设计前向离散和后向离散组合的调制格式,实现自由光谱范围减半的扫频频率梳。

[0098] 扫频光源的输出信号到光分束器(BS)分成两部分分别输出到探测器和调制器。探测器探测到的信号作为触发信号使信号源产生同步的调制脉冲序列,如图4b所示。短脉冲信号的单脉冲长度在100ps至100ns之间,双向的两组调制脉冲序列加载到调制器。调制器在这些短脉冲信号驱动下,将对光信号进行斩波,形成波长不同的短脉冲,从而实现了波长分立的扫频输出。实验的关键是根据理论计算找到合理的工作参数空间,设置与扫频信号匹配的双向离散化分组扫频序列使激光器在频谱上输出自由光谱范围相同的扫频信号。精确设计前向和后向两组脉冲序列,使得前向后向对应的扫频信号在频率域上相差一个自由光谱范围。同时,需要精确地调节偏振控制器以及调制器的偏置电压,使调制器工作在零点状态。

[0099] 实施例三:

[0100] 对于基于时域色散展宽技术的扫频激光光源、基于时域拉伸的扫频激光光源等具有周期性扫频特性,可以通过对单个周期调制对扫频频率梳的自由光谱范围进行改变,扫频频率梳的重复频率与扫频激光器扫频频率一致。

[0101] 扫频光源的输出信号到光分束器(BS)分成两部分分别输出到探测器和调制器。探测器探测到的信号作为触发信号使信号源产生同步的调制脉冲序列,如图5所示(五组中任意一组调制脉冲序列)。短脉冲信号的单脉冲长度在100ps至100ns之间,脉冲序列加载到调制器。调制器在这些短脉冲信号驱动下,将对光信号进行斩波,形成波长不同的短脉冲,从而实现了波长分立的扫频输出。实验的关键是根据理论计算找到合理的工作参数空间,设置与扫频信号匹配的离散化扫频序列,使激光器在频谱上输出自由光谱范围相同的扫频频率梳。同时,需要精确地调节偏振控制器以及调制器的偏置电压,使调制器工作在零点状态。

[0102] 实施例四:

[0103] 对于基于时域色散展宽技术的扫频激光光源、基于时域拉伸的扫频激光光源等具有周期性扫频特性,可以通过对多个周期组合调制对扫频频率梳的自由光谱范围和扫频频率进行改变,扫频频率梳的重复频率为扫频激光器扫频频率的 $1/N$ 。

[0104] 扫频光源的输出信号到光分束器(BS)分成两部分分别输出到探测器和调制器。探测器探测到的信号作为触发信号使信号源产生同步的调制脉冲序列,如图5所示。短脉冲信号的单脉冲长度在100ps至100ns之间,周期性调制的N组脉冲序列加载到调制器。调制器在这些短脉冲信号驱动下,将对光信号进行斩波,形成波长不同的短脉冲,从而实现了波长分立的扫频输出。实验的关键是根据理论计算找到合理的工作参数空间,设置与扫频信号匹配的N组周期性离散化分组扫频序列,使激光器在频谱上输出自由光谱范围相同的N组扫频

信号。精确设计N组与(N-1)组两组脉冲序列之间的间隔,使得相邻两组脉冲序列的扫频信号在频率域上相差一个自由光谱范围,这样N组脉冲序列组合就可以得到扫频频率梳的自由光谱范围为每组自由光谱范围的1/N。同时,需要精确地调节偏振控制器以及调制器的偏置电压,使调制器工作在零点状态。

[0105] 本发明还提供一种扫频激光器,请参阅图2,所述扫频激光器包括:扫频光源10、信号发生单元40,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元50,所述扫频光源10和信号发生单元40均与所述调制单元50连接;

[0106] 所述扫频光源10用于发出与调制信号同步的扫频信号,并输出到调制单元50;

[0107] 所述信号发生单元40用于产生与扫频信号同步的调制信号,并输出到调制单元50,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

[0108] 所述调制单元50用于根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。

[0109] 进一步地,所述扫频激光器包括:依次通过光纤连接的扫频光源10、光分束单元20、探测单元30、信号发生单元40,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元50,所述调制单元50与所述光分束单元20通过光纤连接;

[0110] 所述扫频光源10用于发出扫频信号;

[0111] 所述光分束单元20用于对扫频信号分束,分别输出到探测单元30和调制单元50;

[0112] 所述探测单元30用于探测扫频信号中的时域触发信号,根据所述时域触发信号触发信号发生单元40;

[0113] 所述信号发生单元40用于产生与扫频信号同步的调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;

[0114] 所述调制单元50用于根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。

[0115] 进一步地,所述扫频激光器还包括:通过光纤连接在光分束单元20和调制单元50之间的偏振控制单元60;所述偏振控制单元60用于调节扫频激光器的激光腔内的偏振态;具体如上所述。

[0116] 本发明还提供一种存储介质,其中,所述存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序能够被执行以用于实现如上所述的自由光谱范围可变的腔外调制方法的步骤。

[0117] 综上所述,本发明公开的一种自由光谱范围可变的腔外调制方法及扫频激光器,所述自由光谱范围可变的腔外调制方法应用于扫频激光器,所述扫频激光器包括:扫频光源、信号发生单元,以及设置在扫频激光器的激光腔外的调制单元,所述扫频光源和信号发生单元均与所述调制单元连接;所述自由光谱范围可变的腔外调制方法包括:同步触发扫频光源发出扫频信号,以及信号发生单元产生调制信号,所述调制信号中具有预设调制格式的时间脉冲序列;所述扫频信号和所述调制信号均输出到调制单元;调制单元根据所述调制信号中的时间脉冲序列对扫频信号进行调制,并输出与所述预设调制格式的时间脉冲序列对应的自由光谱范围的扫频频率梳。本发明通过在扫频激光器腔外接入调制单元,利用时域调制的方法对扫频信号进行离散实现扫频频率梳,自由光谱范围及重复频率均可实现调谐重构,提高了扫频频率梳的灵活性。

[0118] 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。

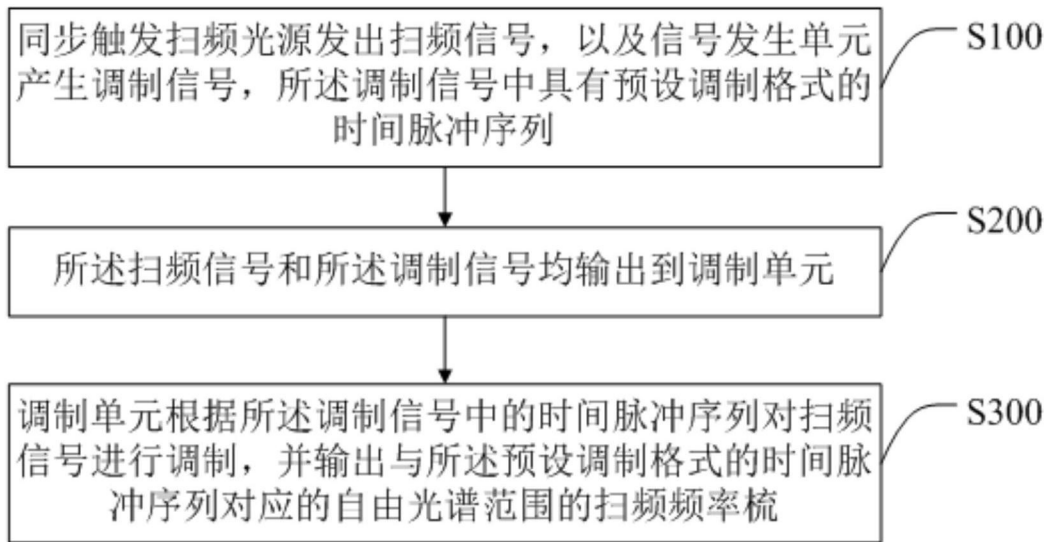


图1

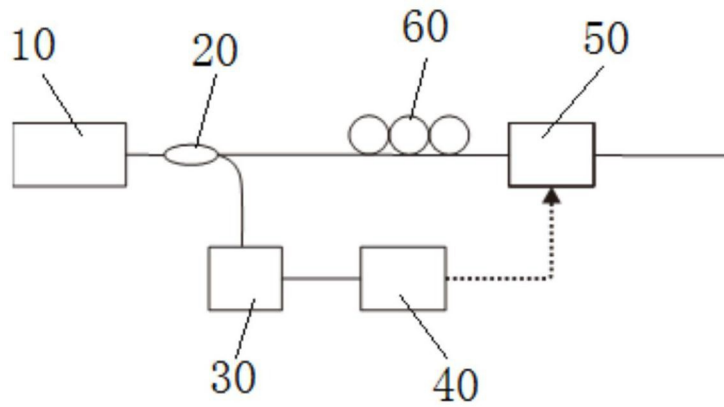


图2

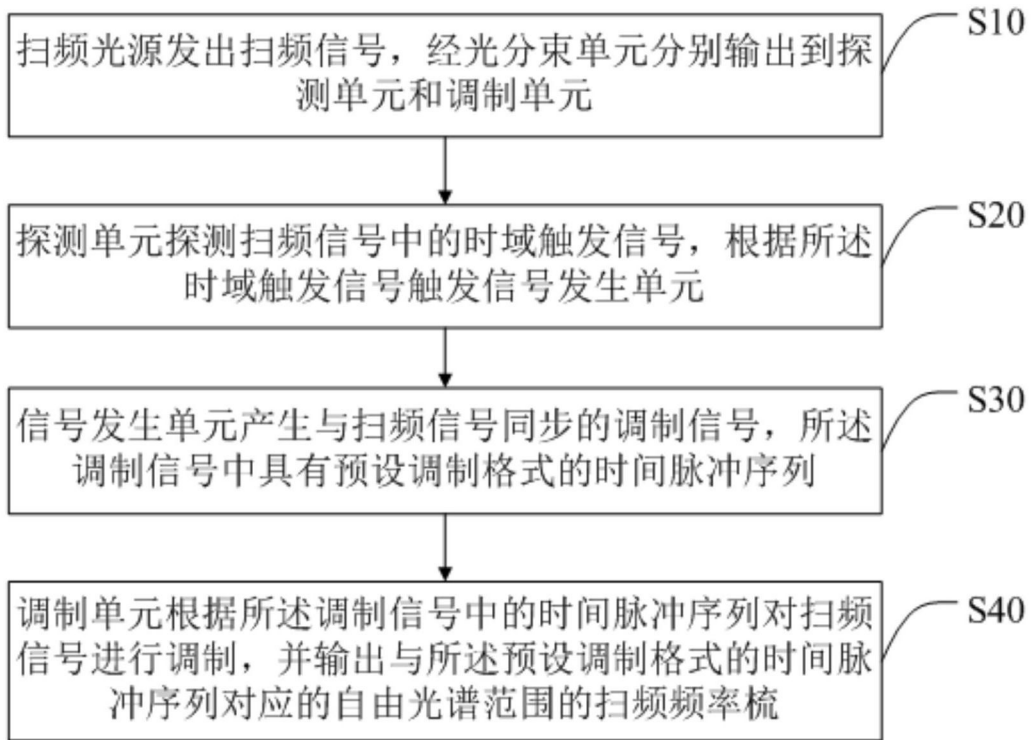


图3

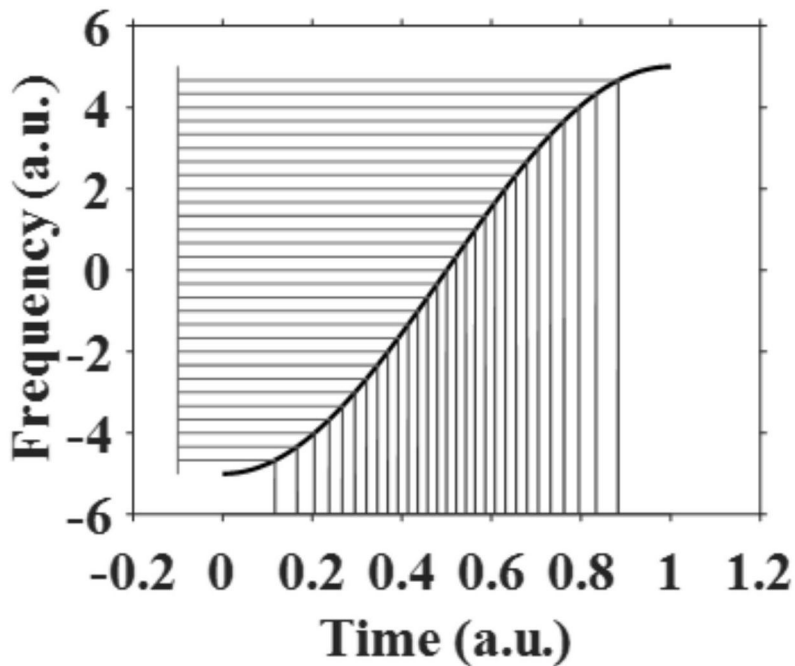


图4a

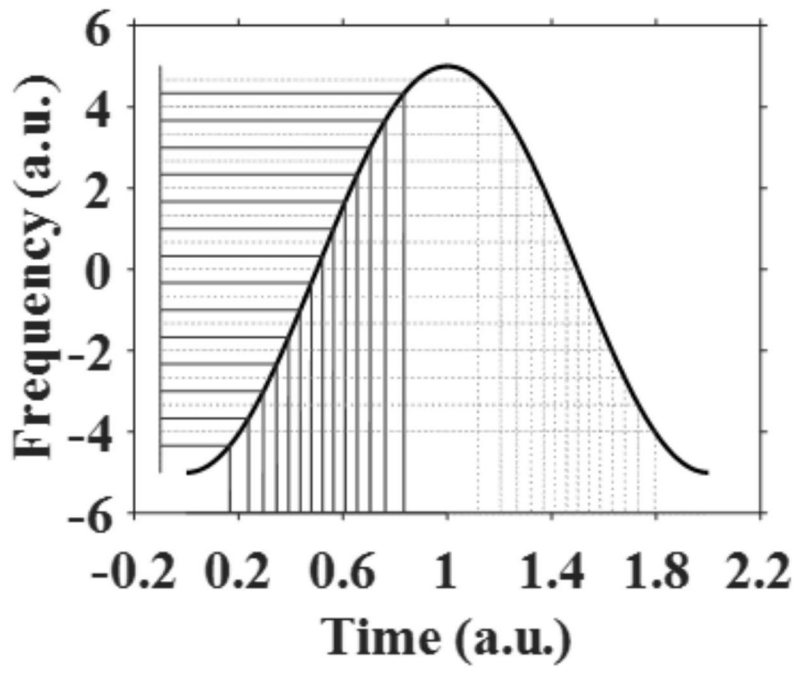


图4b

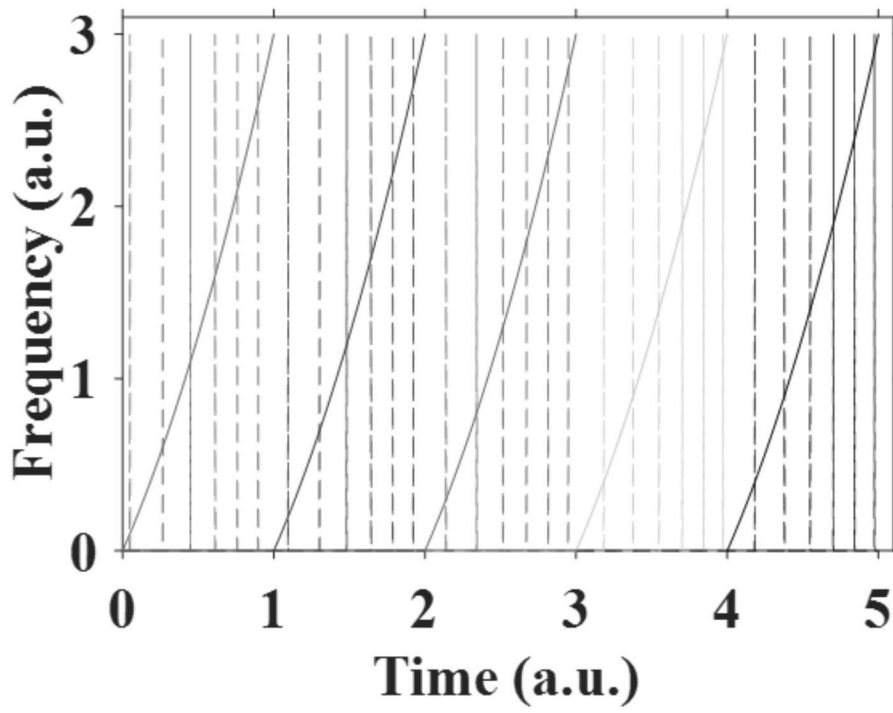


图5