



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112669226 B

(45) 授权公告日 2023.09.05

(21) 申请号 202011433437.6

(22) 申请日 2020.12.10

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112669226 A

(43) 申请公布日 2021.04.16

(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 谢松

(51) Int.Cl.

G06T 5/00 (2006.01)

G06T 5/50 (2006.01)

(56) 对比文件

CA 2880038 A1,2014.01.30

CN 103713287 A,2014.04.09

CN 110062603 A,2019.07.26

CN 111600188 A,2020.08.28

CN 112019276 A,2020.12.01

JP 2016031294 A,2016.03.07

WO 2017216242 A1,2017.12.21

DONGMEI HUANG et al..Frequency comb swept laser with a high-Q microring filter.《Photonics Research》.2020,全文.

审查员 任丽娜

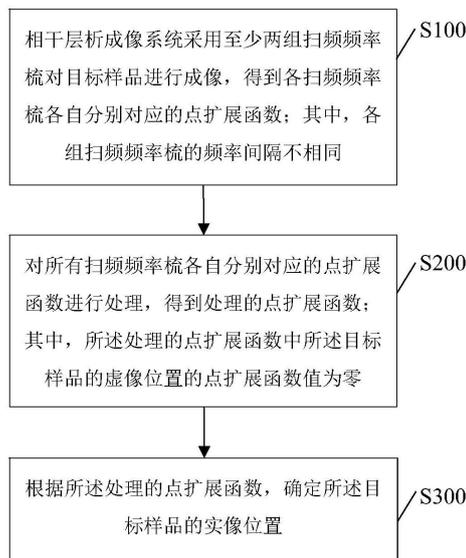
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法

(57) 摘要

本发明公开了一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,包括步骤:相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行成像,得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数;各组扫频频率梳的频率间隔不相同;再进行处理,得到处理的点扩展函数;处理的点扩展函数中目标样品的虚像位置的点扩展函数值为零;根据处理的点扩展函数,确定目标样品的实像位置。由于本发明采用至少两组不同频率间隔的扫频频率梳并应用于相干层析成像系统,得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数,并进行处理,使得处理的点扩展函数中目标样品的虚像位置的点扩展函数值为零,从而确定目标样品的实像位置,解决现有技术中存在虚像而无法准确获得图像真实位置的问题。



1. 一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其特征在于,包括步骤:

相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行成像,得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数;其中,各组扫频频率梳的频率间隔不相同;

对所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数进行处理,得到处理的点扩展函数;其中,所述处理的点扩展函数中所述目标样品的虚像位置的点扩展函数值为零;各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的成像周期长度互质;

根据所述处理的点扩展函数,确定所述目标样品的实像位置;所述目标样品的实像位置为处理的点扩展函数中点扩展函数值不为零的位置;

所述对所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数进行处理,得到处理的点扩展函数,包括:

确定所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的点扩展函数值;

针对点扩展函数每个位置,取该位置上所有点扩展函数值中的最小值,得到处理的点扩展函数。

2. 根据权利要求1所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其特征在于,所述相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行成像,得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数,包括:

相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱;

针对每组扫频频率梳对应的干涉谱,确定该扫频频率梳对应的点扩展函数,以得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数。

3. 根据权利要求2所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其特征在于,所述相干层析成像系统包括:扫频激光光源和调制器;

所述相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱,包括:

通过给所述调制器施加至少两个不同调制格式的时间脉冲序列对所述扫频激光光源进行调制,形成至少两组扫频频率梳;

在至少两组扫频频率梳下,对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱。

4. 根据权利要求3所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其特征在于,所述相干层析成像系统还包括:平衡探测器;

所述在至少两组扫频频率梳下,对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱,包括:

在至少两组扫频频率梳下,通过所述平衡探测器在时间域上进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱。

5. 根据权利要求3所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其特征在于,所述扫频激光光源包括:单向扫频的激光光源、双向扫频的激光光源、周期性扫频的激光光源中的一种或多种。

6. 根据权利要求5所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其特征在于,所述双向扫频的激光光源包括:可调谐扫频激光光源、基于微机电系统可调谐垂直腔表面发射激

光扫频光源以及傅里叶锁模激光光源;所述周期性扫频的激光光源包括:基于时域色散展宽技术的扫频激光光源以及基于时域拉伸的扫频激光光源。

7.一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至6中任一项所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法的步骤。

8.一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,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至6中任一项所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法的步骤。

## 一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及虚像消除技术领域,尤其涉及的是一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法。

### 背景技术

[0002] 相干层析成像技术(OCT)是基于迈克尔逊干涉仪的低相干干涉技术,通过平衡探测生物组织的背向反射光、数据处理恢复出生物组织的层次结构信息。扫频相干层析成像(扫频OCT)技术采用高速的扫频光源和平衡探测器获取时间分辨的干涉谱信息。由于参考光和样品光之间存在不同的光程延迟会产生周期性频率调制的干涉信号,频率调制的周期与两臂的光程延迟成反比,即两臂光程延迟越大,调制频率的周期越小,拍频差越大。因此,扫频OCT的探测范围除了受限于扫频激光器的相干长度外,还与探测器的带宽成正比,超长距离的探测需要超高速的平衡探测器。扫频激光光源实现扫频频率梳应用到OCT中可以将一个大探测范围内的数据折叠到一个小的成像区域,有效降低OCT测量的数据量,同时还能用低速的平衡探测器实现超长距离的测量。目前报道的用梳状滤波器实现频域均匀离散化的扫频频率梳,在OCT系统中由于周期折叠虚像的存在导致无法恢复图像的真实位置。

[0003] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

### 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,提供一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,旨在解决现有技术中由于虚像的存在导致无法恢复图像的真实位置的问题。

[0005] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0006] 一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其中,包括步骤:

[0007] 相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行成像,得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数;其中,各组扫频频率梳的频率间隔不相同;

[0008] 对所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数进行处理,得到处理的点扩展函数;其中,所述处理的点扩展函数中所述目标样品的虚像位置的点扩展函数值为零;

[0009] 根据所述处理的点扩展函数,确定所述目标样品的实像位置。

[0010] 所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其中,所述相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行成像,得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数,包括:

[0011] 相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱;

[0012] 针对每组扫频频率梳对应的干涉谱,确定该扫频频率梳对应的点扩展函数,以得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数。

[0013] 所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其中,所述相干层析成像系统包

括:扫频激光光源和调制器;

[0014] 所述相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱,包括:

[0015] 通过给所述调制器施加至少两个不同调制格式的时间脉冲序列对所述扫频激光光源进行调制,形成至少两组扫频频率梳;

[0016] 在至少两组扫频频率梳下,对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱。

[0017] 所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其中,所述相干层析成像系统还包括:平衡探测器;

[0018] 所述在至少两组扫频频率梳下,对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱,包括:

[0019] 在至少两组扫频频率梳下,通过所述平衡探测器在时间域上进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱。

[0020] 所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其中,所述扫频激光光源包括:单向扫频的激光光源、双向扫频的激光光源、周期性扫频的激光光源中的一种或多种。

[0021] 所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其中,所述双向扫频的激光光源包括:可调谐扫频激光光源、基于微机电系统可调谐垂直腔表面发射激光扫频光源以及傅里叶锁模激光光源;所述周期性扫频的激光光源包括:基于时域色散展宽技术的扫频激光光源以及基于时域拉伸的扫频激光光源。

[0022] 所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其中,所述对所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数进行处理,得到处理的点扩展函数,包括:

[0023] 确定所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的点扩展函数值;

[0024] 针对点扩展函数每个位置,取该位置上所有点扩展函数值中的最小值,得到处理的点扩展函数。

[0025] 所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,其中,各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的成像周期长度互质。

[0026] 一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,其中,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述任一项所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法的步骤。

[0027] 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其中,所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一项所述的扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法的步骤。

[0028] 有益效果:由于本发明采用至少两组不同频率间隔的扫频频率梳并应用于相干层析成像系统,得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数,并进行处理,使得处理的点扩展函数中所述目标样品的虚像位置的点扩展函数值为零,从而确定所述目标样品的实像位置,解决了现有技术中存在虚像而无法准确获得图像真实位置的问题。

## 附图说明

[0029] 图1是本发明中扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法的具体实施例一中的点扩展函数示意图。

[0030] 图2是本发明中扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法的具体实施例二的点扩展函数示意图。

[0031] 图3是本发明中扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法的流程图。

### 具体实施方式

[0032] 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。

[0033] 请同时参阅图1-图3,本发明提供了一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法的一些实施例。

[0034] 本发明扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法应用于相干层析成像系统,相干层析成像系统(Optical Coherence Tomography,OCT)可以包括:扫频光源、调制器、光线耦合器、参考臂、样品臂以及探测器,参考臂包括:反射镜和透镜,样品臂包括:透镜、扫描振镜以及物镜。当然,这里的扫频光源可以是带有调制器的扫频光源。探测器可以采用平衡探测器。扫频光源可以采用扫频激光器。

[0035] 本发明相干层析成像系统属于扫频源OCT(SS-OCT),核心结构是低相干干涉的迈克尔逊干涉仪。基本原理是利用低相干干涉技术对样本中返回的背向散射信号和参考臂返回的光信号的干涉信号做探测,对干涉信号进行频谱分析,从中提取出被测样品深度方向上的可探测深度的结构信息。

[0036] 如图3所示,本发明的一种扫频光频梳相干层析成像虚像消除方法,包括以下步骤:

[0037] 步骤S100、相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行成像,得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数;其中,各组扫频频率梳的频率间隔不相同。

[0038] 具体地,利用时域调制的方法对扫频激光器进行离散化,设计两组或者多组不同频率间隔(Free Spectral Range,FSR)的扫频频率梳并应用于相干层析成像系统。单个组扫频频率梳中频率间隔是相同的,而任意两个组扫频频率梳中频率间隔是不相同的。由于各组扫频频率梳中频率间隔是不相同的,因此各组扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的成像周期长度也是不相同的,如图1中(a)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,点扩展函数的成像周期长度是3;如图1中(b)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,点扩展函数的成像周期长度是1.8。如图2中(a)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,点扩展函数的成像周期长度是3;如图2中(b)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,点扩展函数的成像周期长度是1.8;如图2中(c)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,点扩展函数的成像周期长度是2。

[0039] 所述扫频激光光源包括:单向扫频的激光光源、双向扫频的激光光源、周期性扫频的激光光源中的一种或多种。

[0040] 扫频激光光源并不局限于双向扫频激光光源,单向扫频的激光光源也可以通过调制的方法产生两组或者多组扫频频率梳。只要能够产生两组或者多组自由光谱范围不同的扫频频率梳,就可以用本申请的方法消除虚像。

[0041] 举例说明,所述扫频激光光源为双向扫频的激光光源。双向扫频的激光光源包括:

可调谐扫频激光光源(如基于光栅/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)以及傅里叶锁模激光光源。

[0042] 所述扫频频率梳为前向扫频频率梳或后向扫频频率梳,可以通过设计前向离散和后向离散组合的调制格式,实现前向和后向两组不同频率间隔的扫频频率梳。也可以通过只对前向或者后向设计两组或者多组不同频率间隔的扫频频率梳。还可以对前向一组或者多组不同频率间隔扫频频率梳和后向一组或者多组不同频率间隔的扫频频率梳进行组合,获得多组不同频率间隔的扫频频率梳。

[0043] 所述扫频激光光源为周期性扫频的激光光源。周期性扫频的激光光源包括: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。所述扫频频率梳为至少两个周期组合调制的扫频频率梳。可以通过对两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。获得两组或者多组不同频率间隔的扫频频率梳。

[0044] 步骤S100具体包括:

[0045] 步骤S110、相干层析成像系统采用至少两组扫频频率梳对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱。

[0046] 步骤S120、针对每组扫频频率梳对应的干涉谱,确定该扫频频率梳对应的点扩展函数,以得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数。

[0047] 具体地,在通过相干层析成像系统得到点扩展函数时,先对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱,然后针对每组扫频频率梳对应的干涉谱,确定该扫频频率梳对应的点扩展函数,以得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数。

[0048] 步骤S110具体包括:

[0049] 步骤S111、通过给所述调制器施加至少两个不同调制格式的时间脉冲序列对所述扫频激光光源进行调制,形成至少两组扫频频率梳。

[0050] 步骤S112、在至少两组扫频频率梳下,对目标样品进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱。

[0051] 具体地,所述相干层析成像系统包括:扫频激光光源和调制器。通过给调制器施加不同调制格式的时间脉冲序列对扫频激光光源进行调制,在频率上实现两组或者多组不同频率间隔的扫频频率梳。所述相干层析成像系统还包括:参考臂,样品臂,平衡探测器;将两组或者多组不同频率间隔的扫频频率梳应用到OCT成像系统中,通过平衡探测器在时间域上获取参考臂和样品臂的干涉信号并进行重采样得到频谱的干涉信号(即干涉谱)。对重采样的干涉谱进行傅里叶变换,即可得到各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数。经过傅里叶变换可以明确点扩展函数的成像周期长度,便于进行后续的步骤S200的处理。

[0052] 步骤S112包括:

[0053] 步骤S1121、在至少两组扫频频率梳下,通过所述平衡探测器在时间域上进行采样,得到各扫频频率梳各自分别对应的干涉谱。

[0054] 具体地,两组或者多组频率梳是同时产生的,平衡探测器是同时探测两组或者多组频率梳对应的干涉谱。不存在先后的时间顺序,频率梳的产生及平衡探测探测到的多组频率梳干涉谱均是一次同时完成的。

[0055] 举例说明,采用三组扫频频率梳,分别为第一组扫频频率梳、第二组扫频频率梳以

及第三扫频频率梳,在采样时,在三组扫频频率梳下,通过平衡探测器在时间域上进行采样,得到三组扫频频率梳各自分别对应的干涉谱。

[0056] 步骤S200、对所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数进行处理,得到处理的点扩展函数;其中,所述处理的点扩展函数中所述目标样品的虚像位置的点扩展函数值为零。

[0057] 具体地,在得到所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数后进行处理,根据所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数,得到处理的点扩展函数。在某一个扫频频率梳对应的点扩展函数中,可以得到若干个成像位置,若干个成像位置之间的间隔是根据扫频频率梳的频率间隔确定的,扫频频率梳的频率间隔越大,若干个成像位置之间的间隔越大;扫频频率梳的频率间隔越小,若干个成像位置之间的间隔越小。由于各组扫频频率梳的频率间隔不相同,那么各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的成像位置也各不相同。经过处理得到的处理的点扩展函数中,目标样品的虚像位置的点扩展函数值为零。

[0058] 步骤S200包括:

[0059] 步骤S210、确定所有扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的点扩展函数值。

[0060] 步骤S220、针对点扩展函数每个位置上,取该位置上所有点扩展函数值中的最小值,得到处理的点扩展函数。

[0061] 具体地,本发明通过解调参考样品和目标样品的干涉条纹,通过傅里叶变化获得点扩展函数,点扩展函数对应的位置就是目标样品的实际深度位置。由于在不同频率间隔(FSR)下实像位置是不变的,而在不同频率间隔(FSR)下虚像位置是会改变的,因此,多组扫频频率梳对应的点扩展函数成像周期长度的公倍数是本发明方法可以获得的最大消除虚像的成像深度,如图1所示,A、B位置(Position)即为实像的位置,频率梳对应的点扩展函数的实际位置在A、B、C位置,而 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 等是虚像所处的位置,公倍数 $A_3$ 、 $B_5$ 是可消除虚像的最大成像深度。如图2所示,A、B、C位置(Position)即为实像的位置,频率梳对应的点扩展函数的实际位置在A、B、C位置,而 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_5$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 、 $B_5$ 、 $B_6$ 、 $B_7$ 、 $B_8$ 、 $B_9$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 、 $C_6$ 、 $C_7$ 、 $C_8$ 等是虚像所处的位置,公倍数 $A_6$ 、 $B_{10}$ 、 $C_9$ 是可消除虚像的最大成像深度。

[0062] 举例说明,采用两组扫频频率梳,如图1中(a)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,(a)组扫频频率梳对应的点扩展函数的成像周期长度为3,则得到一系列虚像位置,即 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $\dots$ 、 $A_n$ 。如图1中(b)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,(b)组扫频频率梳对应的点扩展函数的成像周期长度为1.8,则得到一系列虚像位置,即 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 、 $B_5$ 、 $\dots$ 、 $B_n$ 。对点扩展函数的每个位置上的所有点扩展函数值进行取最小操作,得到处理的点扩展函数。例如,在B到 $B_1$ 之间的位置(不包括B位置和 $B_1$ 位置)上时,两个点扩展函数的点扩展函数值均为0,因此,在处理的点扩展函数的相应位置上的点扩展函数值也为0。在 $B_1$ 位置上时,(a)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值为0,(b)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值不为0,在取最小值时,两者的最小值为0,在A位置(即B位置)上时,(a)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值为1,(b)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值为1,因此,在取最小值时,两者的最小值为1。这里的点扩展函数是归一化的,因此,点扩展函数值为1,在其它实现方式中,点扩展函数值还可以是其他值。

[0063] 需要说明的是,(a)组和(b)组扫频频率梳能消除虚像的最大成像深度为两组点扩

展函数周期的最小公倍数,即1.8和3对应的最小公倍数9。

[0064] 举例说明,采用三组扫频频率梳,如图2中(a)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,(a)组扫频频率梳对应的点扩展函数的成像周期长度为3,则得到一系列虚像位置,即 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_5$ 、 $A_6$ 、 $\dots$ 、 $A_n$ 。如图2中(b)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,(b)组扫频频率梳对应的点扩展函数的成像周期长度为1.8,则得到一系列虚像位置,即 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 、 $B_5$ 、 $B_6$ 、 $B_7$ 、 $B_8$ 、 $B_9$ 、 $B_{10}$ 、 $\dots$ 、 $B_n$ 。如图2中(c)组频率间隔的扫频频率梳对应的点扩展函数所示,(c)组扫频频率梳对应的点扩展函数的成像周期长度为2,则得到一系列虚像位置,即 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 、 $C_6$ 、 $C_7$ 、 $C_8$ 、 $C_9$ 、 $\dots$ 、 $C_n$ 。对点扩展函数的每个位置上的所有点扩展函数值进行取最小操作,得到处理的点扩展函数。例如,在B到 $B_1$ 之间的位置(不包括B位置和 $B_1$ 位置)上时,三个点扩展函数的点扩展函数值均为0,因此,在处理的点扩展函数的相应位置上的点扩展函数值也为0。在 $B_1$ 位置上时,(a)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值和(c)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值均为0,(b)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值不为0,在取最小值时,三者的最小值为0,在A位置(即B位置、C位置)上时,(a)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值为1,(b)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值为1,(c)组扫频频率梳对应的点扩展函数的点扩展函数值为1,因此,在取最小值时,三者的最小值为1。这里的点扩展函数是归一化的,因此,点扩展函数值为1,在其它实现方式中,点扩展函数值还可以是其他值。

[0065] 需要说明的是,(a)组、(b)组和(c)组扫频频率梳能消除虚像的最大成像深度为三组点扩展函数周期的最小公倍数,即1.8,2和3对应的最小公倍数18。

[0066] 为了避免因两个扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的成像周期长度具有倍数关系导致无法准确确定实像位置,本方法中各扫频频率梳各自分别对应的点扩展函数的成像周期长度互质,这里的互质是指互为质数,两个数公约数只有1,则两个数互质。例如,3和2是互质的。需要说明的是,本方法中并不要求互质的两个数是整数,例如,1.8和2也可以认为是互质的。

[0067] 步骤S300、根据所述处理的点扩展函数,确定所述目标样品的实像位置。

[0068] 具体地,在得到处理的点扩展函数之后,处理的点扩展函数中点扩展函数值不为零的位置即为目标样品的实像位置。例如,如图1所示,A和B为实像位置。如图2所示,A、B以及C为实像位置。

[0069] 由于本发明利用时域调制的方法对扫频激光器进行离散化,设计两组或者多组不同频率间隔(FSR)的扫频频率梳并应用于相干层析成像系统。主要解决了目前基于梳状滤波器实现频率均匀的频率梳在OCT系统中存在虚像而无法准确获得图像真实位置的问题。同时,基于时域调制在频率上产生两组或者多组不同频率间隔的频率梳可以解决基于梳状滤波器实现扫频频率梳灵活性差、不可调谐的问题。除此之外,利用此方法可以在不增加实验系统复杂性的条件下解决周期折叠消除虚像的问题,降低实验系统的复杂度及成本。

[0070] 本发明采用的时域调制技术对扫频光源进行调制实现离散扫频频率梳,设计两组或者多组不同频率间隔(FSR)的扫频频率梳并应用于相干层析成像系统,使用min算法对两组或者多组不同频率间隔的频率梳的傅里叶变换进行操作获得点扩展函数,可以使得虚像位置的点扩展函数值为零而消除虚像,获取图像的真实位置。具有以下好处:

[0071] 1、基于时域调制对扫频激光器进行调制实现扫频频率梳,相比于固定的梳状滤波

器具有极大的灵活性。

[0072] 2、通过时域调制灵活设计两组或者多组不同频率间隔的扫频频率梳,通过min操作可以消除虚像,准确获得图像真实位置。相比于用光学正交解调方法(I\Q解调)获取干涉信号的复振幅,十分简单成本低,而且灵活性高。

[0073] 3、基于时域调制获取扫频频率梳适用于所有扫频激光器,既可以在激光腔内接入调制器进行内调制获取离散扫频频率梳,也可以在激光腔外接入调制器实现离散扫频频率梳。在实际应用于还可以根据探测需求,实现可重构的不同频率间隔的扫频频率梳,既可以降低数据采集成本又可以满足实际探测范围的需求。

[0074] 具体实施例一

[0075] 如图1所示,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,实现前向和后向两组不同频率间隔的扫频频率梳。假设前向扫频频率梳的FSR对应点扩展函数的周期单位长度为3,后向扫频频率梳的FSR对应点扩展函数的周期单位长度为1.8,则前向和后向组合得到的扫频频率梳用于OCT系统时,成像时可分辨的周期单位长度为9。可以通过两组不同频率间隔(FSR)的频率梳组合,在一定范围内消除虚像在更大范围内获取待测样品的真实位置。前向和后向的FSR还可以任意调整,比方说前向的周期长度是7,后向的周期常长度为11,则前向和后向组合后的周期长度为77。理论上互质的两个周期长度组合时,可以最大范围的拓展范围消除虚像。

[0076] 具体实施例二

[0077] 如图2所示,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,可以通过对两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。获得两组或者多组不同频率间隔的扫频频率梳。将这些两组或者多组不同扫频频率梳应用到OCT成像系统中,使用min算法对两组或者多组不同频率间隔的频率梳的傅里叶变换进行操作获得点扩展函数,可以使得虚像位置的点扩展函数值为零而消除虚像,获取图像的真实位置。假设第一个周期扫频频率梳的FSR对应点扩展函数的周期单位长度为3,第二个周期扫频频率梳的FSR对应点扩展函数的周期单位长度为1.8,第三个周期扫频频率梳的FSR对应点扩展函数的周期单位长度为2。则三个周期重新组合为一个新的周期可以得到三个不同扫频间隔(FSR)的扫频频率梳,应用于OCT成像系统时,成像时可分辨的周期单位长度为18。三个周期还可以任意扩展到多个周期,通过多个周期不同FSR的扩展,可以实现无限长范围内消除虚像而获得待测物体的真实位置信息。在周期扩展时,尽量选择周期长度互质的三组或者多组不同的频率间隔扫频频率梳,可以最有效的扩展成像范围消除虚像。

[0078] 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。

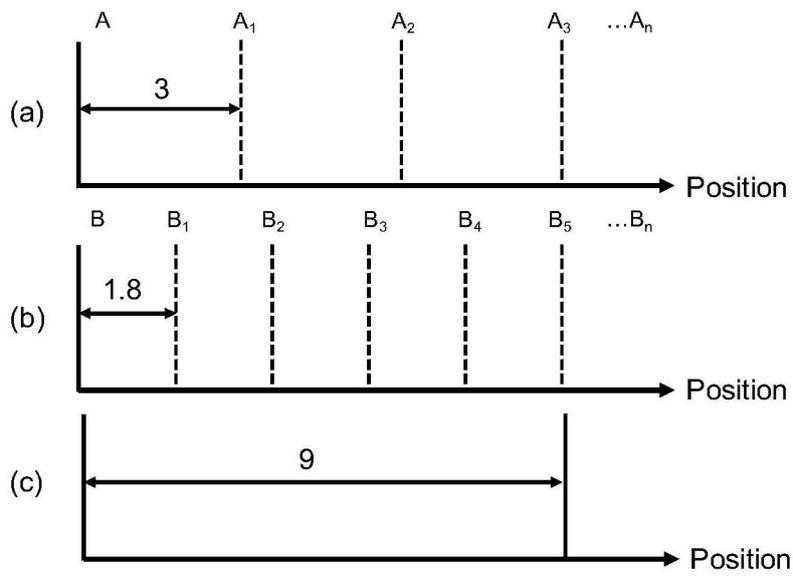


图1

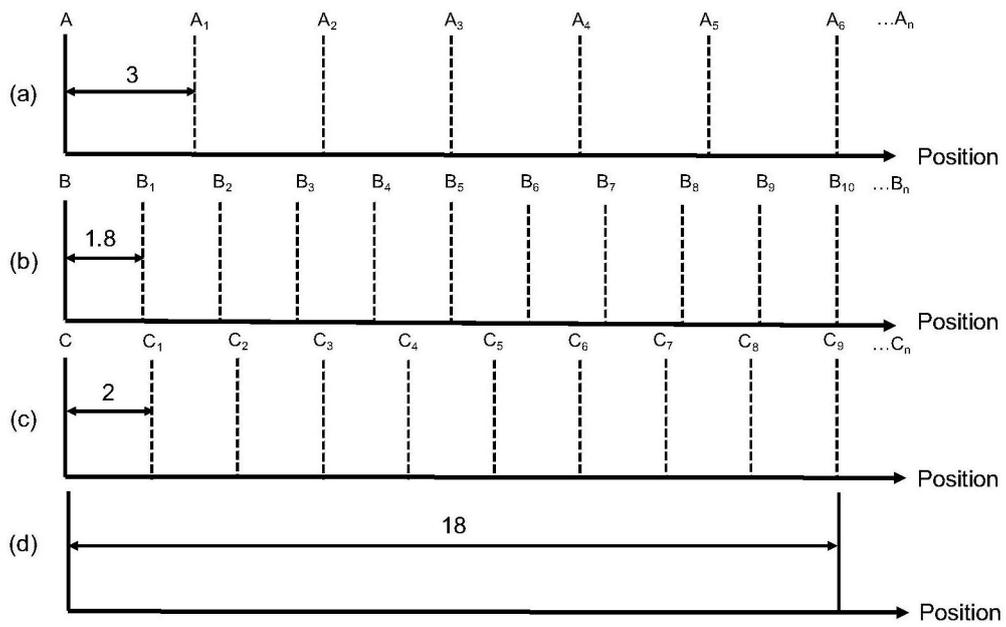


图2

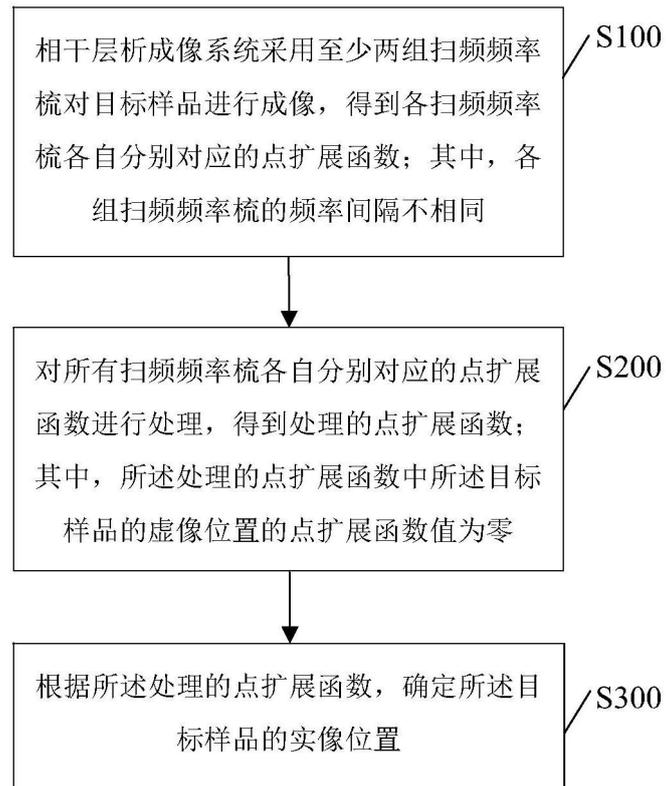


图3