



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109238131 B

(45) 授权公告日 2020.12.22

(21) 申请号 201810928053.8

CN 103284687 A, 2013.09.11

(22) 申请日 2018.08.09

CN 104769481 A, 2015.07.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 103006174 A, 2013.04.03

申请公布号 CN 109238131 A

CN 107981838 A, 2018.05.04

(43) 申请公布日 2019.01.18

CN 103070665 A, 2013.05.01

(73) 专利权人 江苏度微光学科技有限公司

CN 105476605 A, 2016.04.13

地址 215000 江苏省苏州市相城区元和街
道嘉元路1018号元联大厦19层1904-
1906室

CN 107049258 A, 2017.08.18

CN 108272432 A, 2018.07.13

US 2014293290 A1, 2014.10.02

US 2018084993 A1, 2018.03.29

US 2018172425 A1, 2018.06.21

(72) 发明人 马庆 匡翠方 罗向东 杨春雷

CN 101732035 A, 2010.06.16

(51) Int. Cl.

G01B 9/02 (2006.01)

G01N 21/47 (2006.01)

丁志华 等. 多普勒光学相干层析成像研究
进展.《激光与光电子学进展》.2013,

审查员 许李铭

(56) 对比文件

CN 101732035 A, 2010.06.16

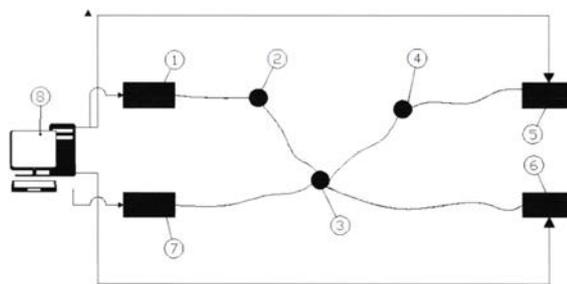
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种横向超高分辨的光学相干层析方法和系统

(57) 摘要

一种横向超高分辨的光学相干层析方法和系统,通过光场切换控制样品臂的照明光场,获取多组不同照明模式下的二维或三维扫描样品信息,根据不同照明模式对应的点扩散函数数字相干合成超高分辨点扩散函数,加权叠加所有照明模式下的样品信息获得中间处理图像,利用超高分辨点扩散函数反卷积中间处理图像,重构横向超高分辨的光学相干层析图像。与现有光学相干层析技术相比,本发明通过物理上构造不同照明模式调制照明光场,数字上相干合成超高分辨点扩散函数,根据反卷积算法重构出超高横向空间分辨率图像,可以扩大光学相干层析技术和系统的应用范围。



1. 一种横向超高分辨的光学相干层析系统,其特征在于:包括宽带光源、光纤隔离器、光纤耦合器、光纤偏振控制器、参考臂、探测臂、样品臂和计算机,所述系统利用物理方法调制不同照明模式下的点扩散函数,利用数字方法重构超高分辨的图像,所述宽带光源发出的照明光经过所述光纤隔离器和所述光纤耦合器分别进入所述参考臂和所述样品臂,所述参考臂提供参考光信号,所述样品臂提供不同照明模式下的样品光信号,所述光纤偏振控制器控制所述参考光信号的偏振态,所述探测臂接收所述参考光信号和所述样品光信号的相干信息,所述计算机接收所述探测臂获取的信号进行相应处理和显示,并发出扫描控制信号和光场控制信号,所述物理方法是利用振幅调制、相位调制或振幅相位同时调制的方式控制照明光束在样品内形成不同分布的照明光场,使得光学相干层析系统具有不同的横向点扩散函数,所述数字方法是根据各照明模式下对应的光学相干层析系统横向点扩散函数,数字相干合成超高分辨的横向点扩散函数,获得各照明模式下样品信号的权重系数,通过反卷积算法重构出横向超高分辨的光学相干层析图像。

2. 根据权利要求1所述的横向超高分辨的光学相干层析系统,其特征在于,所述样品臂具有光场切换功能和光束扫描功能,利用振幅模板、相位模板、振幅相位复合模板、或空间光调制器控制照明光场,可以自动切换不同照明光场,利用扫描振镜实现照明光束的一维或二维扫描。

3. 根据权利要求1所述的横向超高分辨的光学相干层析系统,其特征在于,所述重构超高分辨的图像按照以下流程进行:首先,将不同照明模式下获取的二维或三维相干信号沿轴向进行插值、傅里叶逆变换获得样品空间域信息;然后,数字相干合成超高分辨的横向点扩散函数,根据不同照明模式的权重叠加上述所有样品空间域信息,形成中间处理图像;最后,利用数字相干合成的超高分辨点扩散函数沿横向反卷积中间处理图像,重构出横向超高分辨的光学相干层析图像。

4. 根据权利要求1所述的横向超高分辨的光学相干层析系统,其特征在于,所述数字相干合成超高分辨的横向点扩散函数是根据不同照明模式下光学相干层析系统实际测量的横向点扩散函数,通过归一化处理以后进行加权叠加,综合合成点扩散函数的半高全宽、分布函数、旁瓣大小、光学传递函数的最大截止频率和光学传递函数高频与低频部分比重调节加权系数。

5. 根据权利要求2所述的横向超高分辨的光学相干层析系统,其特征在于,所述自动切换不同照明光场是计算机控制空间光调制器改变照明光束的振幅、相位或振幅与相位,或者计算机控制安装在机械转轮上的不同振幅模板、相位模板或振幅相位复合模板插入照明光路。

一种横向超高分辨的光学相干层析方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学相干层析技术,尤其是涉及一种横向超高分辨的光学相干层析方法和系统。

背景技术

[0002] 光学相干层析技术(Optical Coherence Tomography,简称OCT)作为一种新兴的光学成像技术,能够进行非接触、无损伤、快速地、高分辨率成像,主要应用于眼科、心血管等疾病的临床诊断,考古,集成电路、玻璃面板和光伏组件等的无损检测。

[0003] 空间分辨率作为光学成像技术最重要的技术指标之一,一直受光学成像系统的衍射极限约束。如何突破该极限获得更高的分辨率是促进包括OCT技术在内的各种光学成像技术不断发展的动力。在OCT系统中,横向空间分辨率取决于采样臂光学系统的横向光场分布,而轴向空间分辨率取决于宽带光源的相干长度,即OCT系统的横向和轴向空间分辨率相互独立。因此,可以使用不同的方法分别提高OCT系统的轴向和横向空间分辨率。目前,提高OCT系统轴向分辨率的主要方法是宽带光源技术,如超短脉冲激光技术、非线性超连续光谱技术和光谱合成技术。提高OCT系统横向分辨率最直接的方法是采样臂使用高数值孔径聚焦光学系统。但是,该方法在获得高横向分辨率的同时必然导致光学系统的焦深变短,从而使得远离实际焦点处的横向分辨率迅速下降。鉴于光纤型OCT系统采样臂的光路系统一般是共聚焦光路结构模式,数字信号处理方法可以用来校正或提高OCT系统的横向空间分辨率,如基于点扩散函数的反卷积算法,类似合成孔径成像的综合孔径相干成像技术。然而,这些方法依然要受光学系统衍射极限的限制,横向空间分辨能力的提高能力有限。通过调节照明光束的振幅、相位和偏振态可以改变聚焦光场(即点扩散函数工程),光学成像系统能够突破衍射极限而获得超高空间分辨率,如使用中心遮挡型光瞳滤波器,环形、多级纯相位光瞳滤波器,复振幅滤波器,光瞳掩模等。因此,丁志华等(中国专利:CN200610053327)提出在采样臂插入超分辨光瞳滤波器,利用相干门抑制轴向响应函数的旁瓣,实现轴向超高分辨OCT。另外,丁志华等(中国专利:CN200910154912)引入光程参量作为控制量,提出基于光程编码和相干合成的超高分辨OCT技术,即引入光程编码分束器,获得多种对应不同光程延迟的有效响应函数,通过改变相干合成时的相对系数,数字控制多种有效响应函数的相对贡献,实现不同程度的超分辨效果。

[0004] 区别以上各种OCT技术,本发明在样品臂引入光场切换功能,实现照明光场的自动切换,获得多个受衍射极限限制的照明点扩散函数;通过各点扩散函数数字相干合成超分辨点扩散函数,加权叠加所有样品空间信息得到中间处理图像;根据数字相干合成超分辨点扩散函数反卷积中间处理图像,过滤像差和噪声的影响,重构出横向超高分辨图像。

发明内容

[0005] 本发明针对OCT系统横向分辨率与焦深的相互矛盾,即高横向分辨时沿轴向远离照明焦点处横向分辨率迅速下降,提供一种横向超高分辨的光学相干层析方法和系统,通

过物理上的空间光场调制和信号处理上的数字相干合成点扩散函数重构横向超高分辨的光学图像。

[0006] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现：

[0007] 一种横向超高分辨的光学相干层析方法和系统，其特征在于，包括宽带光源、光纤隔离器、光纤耦合器、光纤偏振控制器、参考臂、探测臂、样品臂和计算机。该方法和系统通过所述的宽带光源提供短相干长度的照明光，其相干长度决定OCT系统的轴向空间分辨率；所述的光纤隔离器防止沿同一光纤反向传输的光信号进入宽带光源；所述的光纤耦合器保证照明光、参考光和信号光沿相应路径传输；所述的光纤偏振控制器放置在参考臂，调节参考光和信号光构成的相干信号对比度；所述的样品臂具有光场切换功能，能够自动调制样品臂的照明光场，获得不同的点扩散函数；所述的样品臂通过扫描模块，能够使照明光场扫描被测样品，获取多组不同照明模式下的二维或三维样品信息；所述的探测臂包含光谱探测器，接收信号光和参考光合成的相干信号，并将测量信号输入计算机；所述的计算机对测量信号进行处理，并根据要求控制照明光场的切换和光束扫描，根据不同照明模式对应点扩散函数数字相干合成超分辨点扩散函数，加权叠加获得的多组样品信息获得中间处理图像，基于超分辨点扩散函数一维或二维卷积运算重构横向超高分辨的图像。

[0008] 所述的控制照明光场的物理方法是利用振幅调制、相位调制或振幅相位同时调制的方式控制样品臂上照明光束在样品内形成不同分布的照明光场，使得光学相干层析系统具有不同的横向点扩散函数。

[0009] 所述的数字相干合成方法是根据各照明模式下对应的光学相干层析系统横向点扩散函数，数字相干合成超高分辨的横向点扩散函数，获得各照明模式下样品信号的权重系数，通过反卷积算法过滤噪声和像差影响，重构出横向超高分辨的光学相干层析图像。

[0010] 所述的光学相干层析系统的样品臂具有光场切换功能和光束扫描功能，利用振幅模板、相位模板、振幅相位复合模板、或空间光调制器控制照明光场，可以计算机控制自动切换不同照明光场，利用扫描振镜实现照明光束的一维或二维扫描。

[0011] 所述的重构横向超高分辨图像的流程：首先，将不同照明模式下获取的二维或三维相干信号沿轴向进行插值、傅里叶逆变换获得样品空间域信息；然后，数字相干合成超高分辨的横向点扩散函数，根据不同照明模式的权重叠加上述所有样品空间域信息，形成中间处理图像；最后，利用数字相干合成的超高分辨点扩散函数沿横向反卷积中间处理图像，重构出横向超高分辨的光学相干层析图像。

[0012] 所述的超高横向分辨点扩散函数数字相干合成是根据不同照明模式下光学相干层析系统实际测量的横向点扩散函数，通过归一化处理以后进行加权叠加，综合合成点扩散函数的半高全宽、分布函数、旁瓣大小、光学传递函数的最大截止频率和光学传递函数高频与低频部分比重调节加权系数。

[0013] 所述的样品臂照明光场自动切换是计算机控制空间光调制器改变照明光束的振幅、相位或振幅与相位，或者计算机控制安装在机械转轮上的不同振幅模板、相位模板或振幅相位复合模板插入照明光路。

[0014] 与现有技术相比，本发明通过计算机控制自动切换不同的照明光场，获得不同横向点扩散函数照明下样品的深度信息，数字相干合成具有超高横向空间分辨率的点扩散函数，加权叠加不同照明模式下的OCT图像形成中间处理图像，利用超高横向空间点扩散函数

反卷积中间处理图像,重构出横向超高分辨的二维或三维光学相干层析图像。相对其他方法,本发明利用具有照明光场切换功能的样品臂进行照明,结合数字合成的超高横向点扩散函数进行图像重构,可以实现具有超高的横向空间分辨率,利于OCT系统获得更大的应用范围。

附图说明

[0015] 图1为本发明系统的结构示意图;

[0016] 图2为本发明样品臂的结构示意图;

[0017] 图3为光场切换模块的结构示意图;

[0018] 图中,宽带光源1;光纤隔离器2;光纤耦合器3;光纤偏振控制器4;参考臂5;样品臂6;探测臂7;计算机8;光场切换模块9;扫描模块10;成像透镜11;单模保偏光纤12;准直透镜13;光场调控模块14;1/2波片一15;偏振分束器一16;反射镜二17;反射镜一18;1/2波片二19;偏振分束器二20。

具体实施方式

[0019] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0020] 实施例

[0021] 图1所示为一种超高横向分辨光学相干层析系统的示意图:系统包括宽带光源1、光纤隔离器2、光纤耦合器3、光纤偏振控制器4、参考臂5、样品臂6、探测臂7和计算机8。所述光纤隔离器2防止反向传输光信号进入宽带光源1;所述光纤偏振控制器4调节参考光偏振方向控制参考光和样品光相干信号的对比度;所述参考臂5光路系统由光束准直透镜和安装在电控平移台上的平面反射镜组成;所述样品臂6包含光场切换模块9、扫描模块10和成像透镜11,通过光场切换模块自动调节不同的照明光场模式,扫描模块实现照明光束的一维或二维扫描;所述计算机8处理探测臂7接收的信号,并控制参考光信号强度和系统零光程位置,以及照明光场切换和照明光束扫描。

[0022] 在一种超高横向分辨光学相干层析系统中,宽带光源1发出的低相干光,经光纤隔离器2和光纤耦合器3分光后,分别进入参考臂5和样品臂6。进入参考臂5的光经光纤偏振控制器4、准直透镜和平面反射镜组成光路系统,由平面反射镜(系统零光程参考面)反射后按照原光路返回到光纤耦合器3;进入样品臂6的光首先通过准直透镜13变成平行光束,由1/2波片一15、偏振分束器一16和反射镜一18导入含有光场调制模块14的光路,通过光场调制后由偏振分束器二20和1/2波片二19导入扫描模块10,经成像透镜11会聚照明样品,照明区域内经样品反射或后向散射的信号光再次通过成像透镜11和扫描模块10,由1/2波片二19、偏振分束器二20和反射镜二17进入光场切换模块的另一条光路,有经偏振分束器一16和1/2波片一15后由准直透镜13会聚进入单模保偏光纤12,通过光纤耦合器3进入探测臂7;样品臂6返回的信号光与参考臂5返回的参考光在探测臂7汇合并发生干涉,产生的干涉信号被探测臂中的光谱探测装置接收,输入计算机8进行处理,沿轴向对采集数据进行插值后傅里叶变换获得不同照明模式下二维或三维图像,根据不同照明模式对应的点扩散函数数字相干合成超高分辨点扩散函数,通过该超高分辨点扩散函数反卷积不同照明模式下样品的加权叠加图像,重构出样品的横向超高分辨图像。

[0023] 所述的样品臂6如图2所示,由光场切换模块9、扫描模块10和成像透镜11构成,提供不同的扫描照明模式和接收扫描照明区域内的样品信息。其中,光场切换模板9如图3所示,包含准直透镜13、1/2波片一15、偏振分束器一16、反射镜二17、反射镜一18、1/2波片二19、偏振分束器二20和光场调制模块14组成,单模保偏光纤12输出的照明光束通过准直透镜13变成平行光束,经1/2波片一15和偏振分束器一16,把照明光束导入含有光场调制模块14的光路,计算机8控制由空间光调制器或振幅、相位、振幅相位复合模板调节光场,在样品内部获得不同的照明点扩散函数。一维或二维扫描振镜构成的扫描模块10控制照明光束进行一维或二维扫描。成像透镜11将扫描光束聚焦在样品内的不同空间位置。从样品扫描照明区域内后向散射的信号光经成像透镜11和扫描模块10由偏振分束器二20导入光场切换模块内的另一光路,经准直透镜13耦合进入单模保偏光纤12。

[0024] 作为实施例,图3所述光场调节模块14可以由透射式或反射式空间光调制器构成,也可以由安装在电控机械转轮上的不同振幅模板、相位模板或者振幅相位复合模板构成,通过计算机控制不同的照明模式进行自动切换。

[0025] 作为实施例,所述的信号处理和重构横向超高分辨图像的流程是:首先,将不同光场照明模式下获取的二维或三维相干信号沿轴向进行插值、傅里叶逆变换获得二维或三维样品空间域信息;然后,根据每种照明模式下实际测量的光学相干层析系统横向点扩散函数,数字相干合成超高分辨的横向点扩散函数;其次,根据不同照明模式的权重叠加上述所有样品空间域信息,形成中间处理图像;最后,利用数字相干合成的超高分辨点扩散函数沿横向反卷积中间处理图像,重构出横向超高分辨的光学相干层析图像。

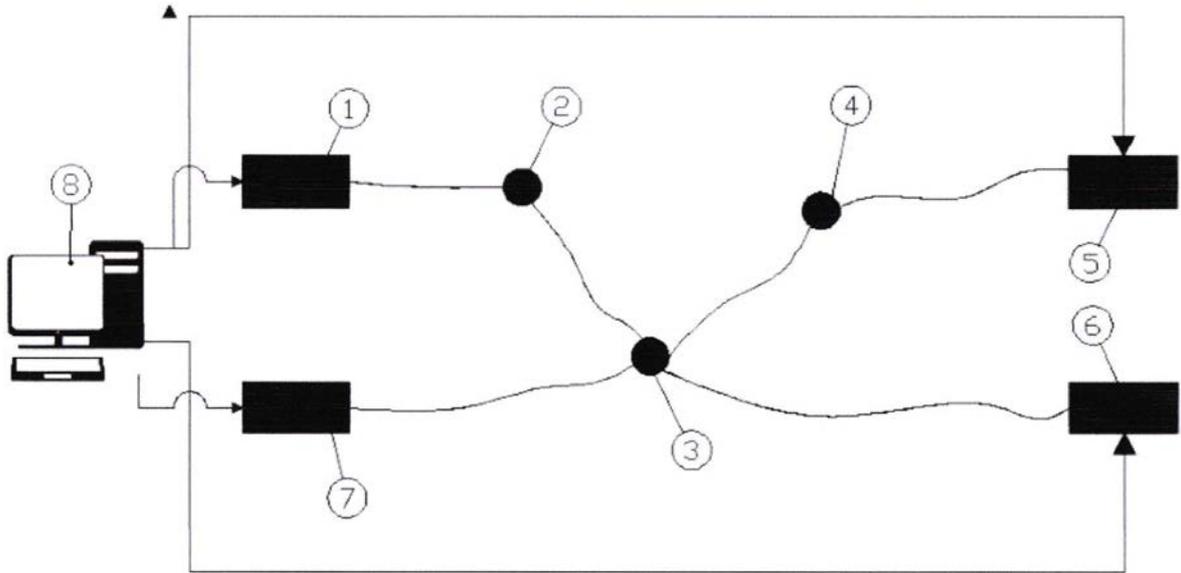


图1

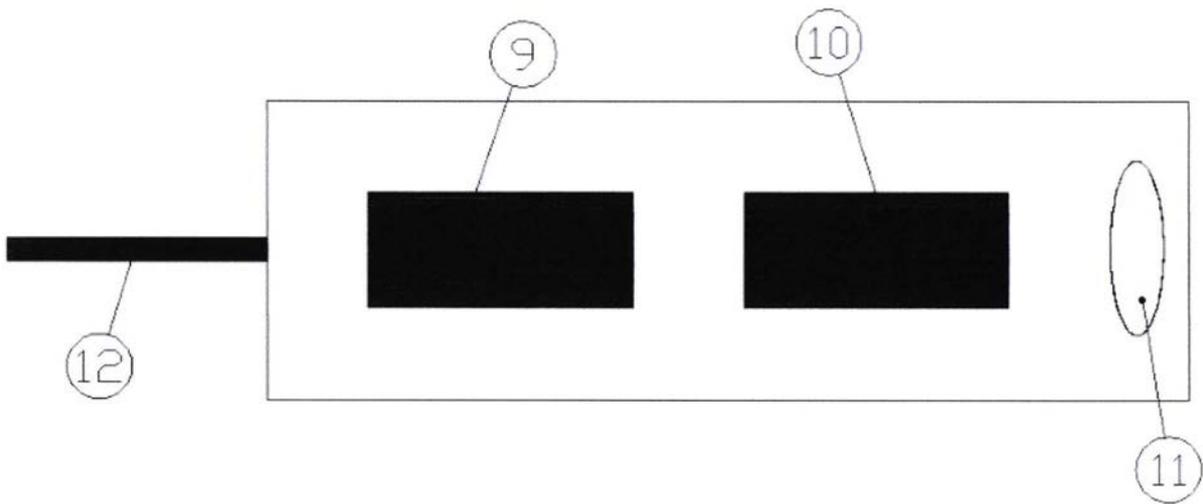


图2

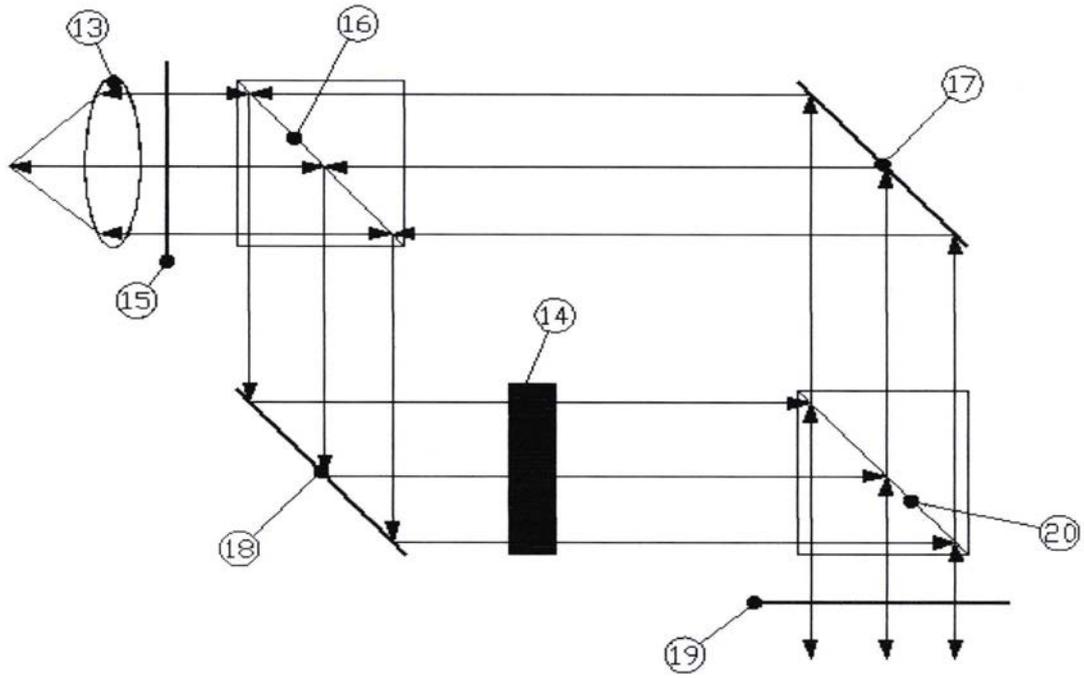


图3