



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101822530 B

(45) 授权公告日 2013. 11. 06

(21) 申请号 201010123799. 5

(22) 申请日 2010. 03. 02

(30) 优先权数据

2009-053793 2009. 03. 06 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 末平信人

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 罗银燕

(51) Int. Cl.

A61B 5/00(2006. 01)

A61B 3/14(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2006089548 A1, 2006. 04. 27, 全文.

DE 112006003228 T5, 2008. 10. 02, 全文.

Jon Holmes 等. Multi-channel Fourier
domain OCT system with superior lateral

resolution for biomedical applications.

《Proc. of SPIE》. 2008, 第 6847 卷第 684700-1
至 684700-9 页.

审查员 马薇

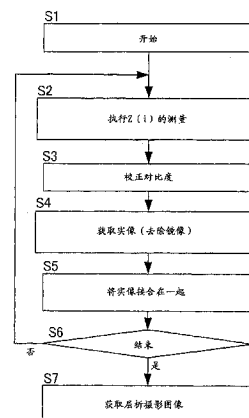
权利要求书2页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

光学相干层析摄影方法和光学相干层析摄影
装置

(57) 摘要

本发明公开一种光学相干层析摄影方法和光学相干层析摄影装置。根据本发明的光学相干层析摄影方法包括以下步骤：将待测对象分成沿测量光的照射方向彼此相邻的多个测量区域，并且基于相干光的波长谱对于每个测量区域获取测量图像；对于每个测量区域，校正测量区域的测量图像的对比度；以及对于每个测量区域，从校正的测量图像获取层析摄影图像。



1. 一种光学相干层析摄影方法,所述光学相干层析摄影方法将来自光源的光分成测量光和参考光,并且基于所述参考光和返回光的干涉光的波长谱来获取对象的层析摄影图像,在将所述测量光施加到所述对象上时所述返回光从所述对象返回,所述光学相干层析摄影方法包括以下步骤:

获取与在所述对象的沿所述测量光的照射方向彼此相邻的多个测量区域对应的多个测量图像;

对于每个测量区域,基于与所述测量图像对应的测量区域中的沿所述照射方向的强度变化来校正测量图像的对比度;以及

对于每个测量区域,从校正的测量图像获取层析摄影图像,

其中在获取测量图像的步骤中,对于每个测量区域:

分别将相干门的位置和焦点位置调整到与测量区域对应的位置,以及

基于干涉光的波长谱来获取测量图像。

2. 根据权利要求1的光学相干层析摄影方法,其中,在校正测量图像的对比度的步骤中,用对于每个测量区域不同的校正函数来校正测量图像的对比度。

3. 根据权利要求1或2的光学相干层析摄影方法,其中,在校正测量图像的对比度的步骤中,根据基于代表相对于测量区域中沿照射方向的位置的强度变化的衰减函数而确定的校正函数,对于每个测量区域校正测量图像的对比度。

4. 根据权利要求1或2的光学相干层析摄影方法,还包括对于每个测量区域调整层析摄影图像的强度和/或测量区域的沿照射方向的位置的步骤。

5. 根据权利要求4的光学相干层析摄影方法,其中

在比测量区域大的范围中获取测量图像;以及

当对于每个测量区域调整测量区域的沿照射方向的位置时,调整位置以使得测量区域及其相邻区域的层析摄影图像的重叠部分的强度差被固定。

6. 根据权利要求4的光学相干层析摄影方法,其中

在比测量区域大的范围中获取测量图像;以及

当对于每个测量区域调整层析摄影图像的强度时,调整强度以使得测量区域及其相邻区域的层析摄影图像的重叠部分的强度差最小。

7. 根据权利要求1或2的光学相干层析摄影方法,其中,当获取测量图像时,相干门的位置相对于测量区域和测量区域的相邻区域之间的边界被设置在相邻区域侧。

8. 一种光学相干层析摄影装置,所述光学相干层析摄影装置将来自光源的光分成测量光和参考光,并且基于所述参考光和返回光的干涉光的波长谱来获取对象的层析摄影图像,在将所述测量光照射到所述对象上时所述返回光从所述对象返回,所述光学相干层析摄影装置包括:

测量图像获取单元,用于获取与在所述对象的沿所述测量光的照射方向彼此相邻的多个测量区域对应的多个测量图像;

校正单元,被配置为对于每个测量区域基于与所述测量图像对应的测量区域中的沿所述照射方向的强度变化来校正测量图像的对比度;和

层析摄影图像获取单元,被配置为对于每个测量区域从校正的测量图像获取层析摄影图像,

其中测量图像获取单元对于每个测量区域：
分别将相干门的位置和焦点位置调整到与测量区域对应的位置，
以及
基于干涉光的波长谱来获取测量图像。

光学相干层析摄影方法和光学相干层析摄影装置

技术领域

[0001] 本发明涉及光学相干层析摄影 (tomography) 方法和光学相干层析摄影装置, 更特别地, 涉及使用在医疗领域中使用的相干光学系统的光学相干层析摄影方法和光学相干层析摄影装置。

背景技术

[0002] 当前, 存在各种各样的使用光学设备的眼科设备。这样的眼科设备的例子包括前眼成像装置、视网膜照相机和扫描激光检眼镜 (SLO)。在它们之中, 光学相干层析摄影 (OCT) 装置能以高分辨率获得待测对象的层析摄影图像, 并因此正在变成对于视网膜专用的门诊病人医学治疗所必不可少的设备。

[0003] 例如, 在日本专利申请公开 No. H11-325849 中公开了一种 OCT 装置。在日本专利申请公开 No. H11-325849 中公开的 OCT 装置中, 使用低相干光。来自光源的光通过诸如分束器的分割的光路被分成测量光和参考光。测量光通过测量光路被施加到诸如人眼的待测对象上, 并且, 来自待测对象的返回光通过检测光路被引向检测位置。这里使用的返回光指的是包含关于待测对象对于光照射方向的界面的信息的反射光或散射光。参考光通过参考光路被引向检测位置。对于检测位置的输入是由返回光和参考光之间的干涉所得到的相干光。然后, 通过使用分光计等来一并 (collectively) 获取相干光的波长谱, 并且对波长谱进行傅立叶变换, 由此获得待测对象的层析摄影图像。一般地, 一并测量波长谱的 OCT 装置被称为谱域 OCT (SD-OCT) 装置。

[0004] 通过 SD-OCT 装置, 可通过选择用于控制待测对象中的测量光的聚焦位置的透镜的数值孔径 (NA), 调整焦深和横向分辨率。例如, 数值孔径越大, 则焦深越小, 但横向分辨率越高。另一方面, 如果减小数值孔径, 那么焦深变大, 但横向分辨率变低。换句话说, 焦深和横向分辨率之间的关系是折衷关系。

[0005] 作为克服这种关系的方法, 在 "OPTICS LETTERS Vol. 28, 2003, pp. 182-184" 中公开了动态焦点 OCT。在这种模式中, 采用在改变光路长度的同时获取层析摄影图像的时域 OCT (TD-OCT)。于是, 在相互同步地改变光路长度和移动透镜的焦点位置的同时, 获取层析摄影图像。结果, 在维持高的横向分辨率的同时, 可以增大待测对象的测量范围 (获取的层析摄影图像中的沿测量光的照射方向的范围)。

发明内容

[0006] 但是, 在 TD-OCT 中, 在连续改变光路长度的同时执行测量。因此, 与用 SD-OCT 相比, 用 TD-OCT 获取 (测量) 层析摄影图像花费更多的时间。为了实现待测对象的测量范围大并且横向分辨率高的层析摄影图像的高速获取, 考虑以谱域模式执行动态聚焦的方法。如上所述, 在谱域模式中, 随着横向分辨率增大, 焦深减小。因此, 为了增大测量范围, 需要出于测量的目的而将待测对象分成沿测量光的照射方向彼此相邻的多个测量区域。

[0007] 在 SD-OCT 中, 出现如图 7 所示的现象。图 7 示出使用反射镜 (mirror) 作为待测对

象的情况下水平轴的相干门 (coherence gate) 与反射镜之间的距离和垂直轴的测量强度 (光的强度 ; 反射强度) 的关系。具体而言, 示出当反射镜的位置距相干门有 $50\ \mu\text{m}$ 、 $100\ \mu\text{m}$ 、 $150\ \mu\text{m}$ 、 $200\ \mu\text{m}$ 、 $300\ \mu\text{m}$ 、 $400\ \mu\text{m}$ 、 $500\ \mu\text{m}$ 、 $600\ \mu\text{m}$ 、 $800\ \mu\text{m}$ 、 $1000\ \mu\text{m}$ 、 $1200\ \mu\text{m}$ 、 $1600\ \mu\text{m}$ 和 $2000\ \mu\text{m}$ 远时测量的强度 (数字值)。注意, 术语“相干门”指的是处于测量光路中并且具有与参考光路相同的光学距离的位置。点划线示意性地示出它们的结果的包络线 (关于测量区域中沿照射方向的位置的强度变化), 其是所谓的衰减函数。在图 7 中, 随着反射镜的位置距相干门越远, 强度衰减更大。这被称为“滚降 (roll-off)”等, 并且由于分光计的分辨率等而出现。

[0008] 如上所述, 在出现该现象的情况下, 随着位置越接近相干门, 强度越强, 而随着位置距相干门越远, 强度越弱。因此, 在测量区域的边界处, 强度在一个区域中强, 而强度在另一区域中弱。这导致彼此相邻的区域之间的测量强度的跳动 (jump)。

[0009] 因此, 本发明的目的是, 提供能够连续地接合 (join) 从多个测量区域中的每一个获取的层析摄影图像的光学相干层析摄影方法和光学相干层析摄影装置。

[0010] 根据本发明, 提供一种光学相干层析摄影方法, 该光学相干层析摄影方法将来自光源的光分成测量光和参考光, 并且基于参考光和返回光的相干光的波长谱来获取待测对象的层析摄影图像, 在将测量光施加到待测对象上时返回光从待测对象返回, 该光学相干层析摄影方法包括以下步骤:

[0011] 将待测对象分成沿测量光的照射方向彼此相邻的多个测量区域, 并且基于相干光的波长谱, 对于每个测量区域获取测量图像;

[0012] 对于每个测量区域, 校正测量区域的测量图像的对比度 (contrast); 以及

[0013] 对于每个测量区域, 从校正的测量图像获取层析摄影图像。

[0014] 根据本发明, 提供一种光学相干层析摄影装置, 该光学相干层析摄影装置将来自光源的光分成测量光和参考光, 并且基于参考光和返回光的相干光的波长谱来获取待测对象的层析摄影图像, 在将测量光照射到待测对象上时返回光从待测对象返回, 该光学相干层析摄影装置包括:

[0015] 测量图像获取单元, 用于将待测对象分成沿测量光的照射方向彼此相邻的多个测量区域, 并且用于基于相干光的波长谱, 对于每个测量区域获取测量图像;

[0016] 校正单元, 被配置为对于每个测量区域校正测量区域的测量图像的对比度; 和

[0017] 层析摄影图像获取单元, 被配置为对于每个测量区域从校正的测量图像获取层析摄影图像。

[0018] 根据本发明的一些方面, 可以提供能够连续地接合从多个测量区域中的每一个获取的层析摄影图像的光学相干层析摄影方法和光学相干层析摄影装置。

[0019] 从参考附图对示例性实施例的以下描述, 本发明的进一步的特征将变得明显。

附图说明

[0020] 图 1 是示出根据本实施例的光学相干层析摄影方法的流程图。

[0021] 图 2 示出用于根据本例子的 OCT 装置中的 Mach-Zehnder 干涉系统的配置。

[0022] 图 3 示出测量区域的宽度。

[0023] 图 4A 示出待测对象的理想层析摄影图像。

- [0024] 图 4B 示出测量区域中反映 (reflect) 的镜像。
- [0025] 图 4C 示出各测量区域的校正图像。
- [0026] 图 4D 示出各测量区域的计算的实像。
- [0027] 图 5 是示出分析测量图像数据的方法的流程图。
- [0028] 图 6 示出实像的图像调整的方法。
- [0029] 图 7 示出使用反射镜作为待测对象时相干门和反射镜之间的距离与测量强度的关系。

具体实施方式

[0030] 以下,将描述根据本实施例的光学相干层析摄影装置。

[0031] 根据实施例的光学相干层析摄影装置通过分割的光路将来自光源的光分成测量光和参考光。测量光通过测量光路被照射到待测对象上。在照射测量光时从待测对象返回的返回光通过检测光路被引向检测位置。可通过焦点驱动机构来控制待测对象中(照射方向)的测量光的焦点位置。参考光通过参考光路被引向检测位置。在参考光路中,设置反射镜,并且,可通过反射镜驱动机构来调整相干门的位置。由于可以相互同步地控制相干门和焦点位置,因此能够将待测对象分成沿照射方向彼此相邻的多个测量区域,并且对于每个区域依次执行测量。被引向检测位置的光(返回光和参考光的相干光)被分解成其波长谱并被分析。因此,获取待测对象的层析摄影图像。

[0032] 当待测对象被分成多个测量区域时,出现需要在待测对象的内部布置相干门的情形。由于相干门指的是具有与参考光路相同的光学距离的测量光路中的位置,因此,跨过相干门在相邻的区域中形成相互反映的图像。所述两个图像是等价的,因此,可采用它们中的任一个用于层析摄影图像。以下,待获取的图像(即,被采用作为该区域中的层析摄影图像的图像)被称为“实像”,并且,另一图像被称为“镜像”。在采用 SD-OCT 模式的情况下,由相干光代表的图像(测量图像)包含实像和镜像,因此将实像与镜像分离是必不可少的。

[0033] 参考图 1,描述根据本实施例的光学相干层析摄影方法。在该实施例中,待测对象被分成 M 个测量区域 $Z(0)$ 至 $Z(M-1)$,并且,对于每个区域依次执行测量。

[0034] 在步骤 S1 中,测量开始。

[0035] 在步骤 S2 中,调整相干门和焦点位置,并且,获取测量区域 Z

[0036] (i) 的测量图像。注意, i 的初始值取为 0。

[0037] 在步骤 S3 中,校正测量区域 $Z(i)$ 的测量图像的对比度,以便获取测量区域 $Z(i)$ 的校正的测量图像(校正图像)。

[0038] 在步骤 S4 中,分析校正图像,并且,执行信号处理,以获取测量区域 $Z(i)$ 的实像。

[0039] 在步骤 S5 中,将来自测量区域 $Z(0)$ 至 $Z(i)$ 的实像接合在一起。

[0040] 在步骤 S6 中,确定是否已对于所有的测量区域执行了测量(是否已对于所有的测量区域完成了测量)。如果存在还没有执行测量的测量区域(如果 $i < M-1$)(在步骤 S6 中为否),那么将 i 加 1,并且,过程返回步骤 S2。如果已对于所有的测量区域执行了测量(如果 $i = M-1$)(在步骤 S6 中为是),那么过程前进到步骤 S7。因此,在步骤 S7 中,可以获取希望的层析摄影图像(通过将所有测量区域的实像接合在一起而获得的图像;具有大的待测对象的测量范围和高的横向分辨率的层析摄影图像)。

[0041] < 例子 >

[0042] 下面,描述根据本实施例的光学相干层析摄影装置的具体例子。具体而言,以下描述应用本发明的眼科 OCT 装置。

[0043] < 光学装置的配置 >

[0044] 图 2 示出用于根据本例子的 OCT 装置中的 Mach-Zehnder 干涉系统的配置。从光源 201 发射的光(发射光)通过单模光纤 202-1,并被引向透镜 211-1。发射光通过分束器 203-1 被分成参考光 205 和测量光 206。在用测量光 206 照射眼睛 207 或待测对象之后,测量光 206 作为由反射或散射导致的返回光 208 而返回。参考光和返回光通过分束器 203-2、透镜 211-2 和单模光纤 202-3,并入射到分光计 218 上。在分光计中获取的诸如光(返回光和参考光的相干光)的波长谱的数据被输入到计算机 219。注意,光源 201 是作为代表性的低相干光源的超发光二极管(SLD,super luminescent diode)。考虑待测对象是眼睛的事实,优选发射光是红外光(例如,具有 840nm 的中心波长和 50nm 的带宽的光)。

[0045] 对于参考光 205 的参考光路给出描述。由分束器 203-1 的分割得到的参考光 205 依次入射到反射镜 214-1 至 214-3 上。参考光 205 被引向分束器 203-2,并入射到分光计上。注意,参考光 205 通过反射镜 214-1 和 214-2 之间的色散(dispersion)补偿玻璃 215-1 的内部。色散补偿玻璃 215-1 的长度为 L1,其优选等于典型的眼睛的深度的两倍。优选该长度,以对于当测量光 206 在眼睛 207 中反射和散射时导致的色散补偿参考光 205。在本例子中,长度 L1 被给为 46mm。该长度被视为日本人的眼球的平均直径的 23mm 的两倍。并且,通过反射镜驱动机构 213,反射镜 214-1 和 214-2 可沿图 2 中的箭头所示的方向移动。通过移动反射镜 214-1 和 214-2 的位置,参考光 205 的光路长度可被调整和控制。参考光 205 通过反射镜 214-2 和 214-3 之间的色散补偿玻璃 215-2 的内部。色散补偿玻璃 215-2 被用于扫描眼睛用的物镜 216 和扫描透镜 217 的色散补偿。

[0046] 对于测量光 206 的测量光路给出描述。由分束器 203-1 的分割得到的测量光 206 从分束器 203-3 被反射,并入射到 XY 扫描仪 204 的反射镜上。XY 扫描仪 204 沿与光轴(照射方向)垂直的方向执行视网膜 210 的光栅扫描。测量光 206 的中心被调整,以与 XY 扫描仪 204 的反射镜的旋转中心对准。物镜 216 和扫描透镜 217 构成用于扫描视网膜 210(将测量光引向视网膜的各种位置)的光学系统,并且被用于以角膜 209 附近的点用作支点而扫描视网膜 210。在本例子中,物镜 216 和扫描透镜 217 的焦距分别为 50mm 和 50mm。可通过焦点驱动机构 212 来调整物镜 216 的(沿照射方向的)焦点位置。当测量光 206 入射到眼睛 207 上时,测量光 206 被视网膜 210 反射和散射,并且作为返回光 208 而返回。返回光 208 直到分束器 203-3 通过与测量光 206 相同的光路,并且通过分束器 203-3。然后,返回光 208 被分束器 203-2 引导以入射到分光计上。

[0047] 注意,焦点驱动机构、反射镜驱动机构、XY 扫描仪和分光计被计算机 219 控制,以执行希望的操作。计算机执行分光计的数据处理、数据保存和图像处理。

[0048] < 测量范围 >

[0049] 下面,参考图 3,描述测量区域的(沿照射方向的)宽度。在图 3 中,垂直轴表示强度(光的强度;反射强度),水平轴表示待测对象的内部中的(沿光施加方向的)位置。图 3 示意性地示出相干门 301 被放在测量区域 Z(3) 和与其相邻的测量区域 Z(2) 之间、并且执行测量区域 Z(3) 的测量的情况。附图标记 302 表示各测量区域的宽度,附图标记 303 表示

测量深度,附图标记 304 表示焦深。以下将描述测量深度和焦深。

[0050] 焦深 (DOF) 表示获得的图像的可见范围。焦深通过使用用于将测量光聚焦到待测对象中的透镜的数值孔径 (NA) 和光源的中心波长 λ 的表达式 1 (光学距离) 来表达。在图 3 中,由表达式 1 获得的范围的正侧由实线表示,并且,负侧由虚线表示。

$$[0051] \quad \text{DOF} = \pm \lambda / (2\text{NA}^2) \quad (1)$$

[0052] 在待测对象是眼睛、并且待测对象被分成 6 个测量区域的情况下,如果各测量区域的宽度为 $500 \mu\text{m}$,那么优选焦深比 $1000 \mu\text{m} (\pm 500 \mu\text{m})$ 的总长度长。注意,在典型的 SD-OCT 装置中,焦深的总长度约为 3mm。当然,如果分割数增大,那么可使得测量区域较小,因此也可减小焦深。注意,在一定程度上超过焦深的区域不是没有测量的可能性。焦点不需要被设定于相干门的位置处。但是,为了获得均匀的图像,优选焦深比各测量区域的宽度大。在 OCT 装置的情况下,可通过改变光束的直径来改变 NA。一般地,如果入射到眼睛上的光束的直径增大,那么 NA 增大。

[0053] 测量深度代表不出现混叠 (aliasing) 的范围 (混叠的出现使得测量困难)。测量深度通过使用分光计的线传感器的像素数 N (偶数,典型地为 2 的幂,诸如 1024 和 2048) 和由分光计检测的波数的谱带宽 ΔK 的表达式 2 (光学距离) 来表达。在图 3 中,通过表达式 2 获得的范围的正侧和负侧分别由实线和虚线表示。

$$[0054] \quad L_{\text{max}} = \pm N / (4 \Delta K) \quad (2)$$

[0055] 假定测量光的中心波长为 840nm、带宽为 50nm,并且分光计的线传感器的像素数为 1024,那么可被测量的范围延伸直至约 $\pm 3.4\text{mm}$ 的光学距离。注意,由表达式 2 代表的测量深度是理论值,并且,事实上,由于分光计的光学分辨率,因此实际的采样次数比 N 小。因此,可被精确地复原 (测量) 的范围比理论测量深度小。因此,测量区域的宽度需要被设为比理论测量深度小。一般地,满足测量区域的宽度 < 理论测量深度的关系。并且,为了获得均匀的图像,优选焦深 (总长度) 和测量区域的宽度满足表达式 3 的关系。即,优选测量区域的宽度比获取所关注的测量区域的测量图像时的焦深的一半小。

$$[0056] \quad 2 \times \text{测量区域的宽度} < \text{焦深 (总长度)} \quad (3)$$

[0057] 在离散傅立叶变换中,构成测量图像的各元素 (element) 具有由表达式 4 (光学距离) 给出的离散值。这里, t 是 $0 \leq t \leq N/2$ 的整数。

$$[0058] \quad L = t / (2 \Delta K) \quad (4)$$

[0059] 数值深度分辨率 $\delta (L)$ 由表达式 5 表达。数值深度分辨率 $\delta (L)$ 还是每个像素的间隔。在本例子中,数值深度分辨率 $\delta (L)$ 是约 $6.8 \mu\text{m}$ 的光学距离。

$$[0060] \quad L_{\text{min}} = \delta (L) = 1 / (2 \Delta K) \quad (5)$$

[0061] < 去除镜像的方法 >

[0062] 下面,参考图 4A 至 4D,描述从校正的测量图像 (校正图像) 获取实像的方法 (去除镜像的方法)。在图 4A 至 4D 中,垂直轴表示强度,水平轴表示待测对象的内部中的 (沿照射方向的) 位置。注意,根据下面要描述的方法,可通过至少一次测量来去除一个测量区域中的镜像。

[0063] 图 4A 示出待测对象的理想层析摄影图像。在本例子中,待测对象以规则的间隔被分成测量区域 $Z(0)$ 至 $Z(5)$,并且,基于区域来执行测量。附图标记 $R(0)$ 至 $R(5)$ 分别代表测量区域 $Z(0)$ 至 $Z(5)$ 的实像。在本例子中,测量区域 $Z(0)$ 作为第一测量区域被设置在待

测对象的端部处。多个测量区域被设定为使得沿测量光的照射方向依次布置第一至第 X 测量区域 (X 是大于 1 的整数 ; 在图 4A 至 4D 的例子中为测量区域 Z(0) 至 Z(5))。注意, 通过 OCT 装置, 具有大的折射率差的部分被测量为大的信号。因此, 待测对象的端部处的区域是与可忽略折射率差的范围相邻的区域。注意, 即使在待测对象的内部中, 如果可以在等于或大于测量区域的宽度的范围中忽略折射率差, 那么所关注的测量区域和设置在其外部中的区域也可被视为不同的对象。因此, 这种测量区域可被视为待测对象的端部处的区域。

[0064] 图 4B 示意性地示出当相干门被放置在测量区域 Z(i-1) 和测量区域 Z(i) (i > 1) 的边界处时在测量区域 Z(i) 中反映的镜像 (要在测量区域 Z(i) 的实像上叠加的镜像)。由于在测量区域 Z(i) 中反映的镜像是测量区域 Z(i-1) 的实像的镜像, 因此该镜像由附图标记 R' (i-1) 表示。注意, i = 0 的测量区域 (测量区域 Z(0)) 是待测对象的端部处的区域, 因此不出现镜像。

[0065] 图 4C 示出当相干门被放置在测量区域 Z(i-1) 和测量区域 Z(i) 之间的边界处时的测量区域的校正图像 H(0) 至 H(5)。通过将测量图像 S(i) 除以校正数据 D(i), 获得校正图像。校正数据是如图 7 所示的衰减函数。测量区域 Z(1) 至 Z(5) 的校正图像是这样的图像, 在所述图像中的每一个中, 在实像上叠加镜像。但是, 如上所述, 在测量区域 Z(0) 中不出现镜像, 因此测量区域 Z(0) 的校正图像 H(0) 是实像。校正图像 H(i) 由表达式 6-1 和 6-2 表达。

$$[0066] \quad H(i) = R(i) \quad i = 0 \quad (6-1)$$

$$[0067] \quad H(i) = R(i) + R' (i-1) \quad i = 1 \text{ 至 } 5 \quad (6-2)$$

[0068] 表达式 6-1 表示测量区域 Z(0) 的校正图像 H(0) 是实像 R(0)。表达式 6-2 表示可通过从测量区域 Z(i) 的校正图像 H(i) 减去实像 R(i-1) 的镜像 R' (i-1) 来获得测量区域 Z(i) 的实像 R(i)。

[0069] 假定通过从校正图像去除镜像获得的实像由附图标记 C(i) 表示, 那么实像 C(i) 由表达式 7-1 和 7-2 表达 (附图标记 C' (i-1) 表示实像 C(i-1) 的镜像)。

$$[0070] \quad C(i) = H(i) \quad i = 0 \quad (7-1)$$

$$[0071] \quad C(i) = H(i) - C' (i-1) \quad i = 1 \text{ 至 } 5 \quad (7-2)$$

[0072] 可从实像 C(i-1) 计算镜像 C' (i-1)。如上所述, 在第一测量区域 (测量区域 Z(0)) 中不出现镜像。因此, 在本例子中, 对于第一测量区域, 采用校正图像 H(0) 作为层析摄影图像 (实像) C(0)。依次地对于第二至第 X 测量区域, 通过从第 Y 测量区域的校正图像去除第 (Y-1) 测量区域的实像的镜像, 获得第 Y (2 ≤ Y ≤ X) 实像。即, 在图 4D 的例子中, 对于 i = 1 至 5 依次计算实像 C(i)。这使得能够对于每个测量区域获取实像。通过将获取的实像接合在一起, 可以获得希望的层析摄影图像 (图 4D)。

[0073] 注意, 在本例子中, 从 i = 1 依次计算实像 C(i); 但是, 计算方法不限于本例子中的方法。例如, 在测量区域 Z(5) 被设置在待测对象的端部处、并且相干门被放置在测量区域 Z(I+1) 和测量区域 Z(I) 之间的边界处的情况 (I 不大于 y 且不小于 0, 并且在图 4A 至 4D 的例子中 y = 4) 下, 测量区域 Z(5) 可以是第一测量区域。更具体而言, 在这种情况下, 校正图像 H(5) 变为实像 C(5), 在测量区域 Z(I) 中反映测量区域 Z(I+1) 的实像 C(I+1) 的镜像。因此, 可通过从校正图像 H(I) 减去镜像 C' (I+1) 来获得实像 C(I)。可通过对于 I = 4 至 0 依次计算实像 C(I) 来获得各测量区域的实像。

[0074] 可以构想,端部位于待测对象的内部中。例如,可以构想,测量区域 $Z(2)$ 和测量区域 $Z(4)$ 是待测对象的端部处的区域,并且,在测量区域 $Z(3)$ 中不存在结构。在这种情况下,如果相干门被放置在测量区域 $Z(i-1)$ 和测量区域 $Z(i)$ 之间的边界处,那么校正图像 $H(3)$ 变为实像 $C(2)$ 的镜像,并且,校正图像 $H(4)$ 变为实像 $C(4)$ 。因此,在这种情况下,可以用与上述方式相同的方式计算测量区域 $Z(0)$ 、 $Z(1)$ 和 $Z(5)$ 的实像。

[0075] 注意,从测量图像获取实像的方法(去除镜像的方法)不限于上述的方法。例如,如日本专利申请公开 No. 11-325849 中公开的那样,可通过在多次改变相干门的位置的同时执行一个测量区域的测量,获取测量区域的实像。如果可通过它获取各测量区域的实像,那么可以使用任何方法。

[0076] < 信号处理 >

[0077] 参考图 5,描述分析测量图像的数据(测量图像数据)的方法。在本例子中,描述相干门被放置在测量区域 $Z(i-1)$ 和测量区域 $Z(i)$ 之间的边界处、并且执行测量区域 $Z(i)$ 的测量的情况。以下,测量区域 $Z(i)$ 的测量图像数据由附图标记 $S(i, k)$ 表示,这里, i 是从 0 至 $M-1$ 的区域号, k 是从 0 至 $N-1$ 的元素号(i 和 k 均为整数)。 M 是区域的数量, N 是线传感器的像素的数量。注意,在本例子中,测量区域中的元素号的范围为 0 至 n , 并且,在比测量区域大的范围中获得测量图像。由于 n 满足 $n < N/2$ 的关系,因此,如果测量区域的宽度约为 $500 \mu\text{m}$, 那么 $n = 500/6.8 = \text{约 } 74$ 个像素(由于在本例子中 $\delta(L) = 6.8 \mu\text{m}$)。可通过增大分割数来减小测量区域的宽度,因此, n 相对于线传感器的像素的数量而减小。类似地,各测量区域的实像的数据(实像数据)由附图标记 $C(i, k)$ 表示。

[0078] 在步骤 S1-1 中,测量开始。注意, i 的初始值取为 0。

[0079] 在步骤 S1-2 中,为了执行测量区域 $Z(i)$ 的测量,调整相干门和焦点位置。由于待测对象是眼睛,因此相干门被放置在相对于视网膜的角膜侧的位置处。在相干门被放置在角膜侧之后,随着相干门向视网膜移动,测量图像开始改变。更具体而言,与相干门的移动同步地,测量图像更加接近相干门。在作为移动的结果实现希望的状态(不产生镜像的状态)的位置处,相干门和焦点停止。该位置被确定为测量区域 $Z(0)$ 的位置。注意,测量区域 $Z(i)$ 的位置是通过将测量区域的宽度 $\times i$ 加到测量区域 $Z(0)$ 的位置而获得的位置。理想地,执行控制,使得测量图像数据 $S(i-1, n)$ 的位置与测量图像数据 $S(i, 0)$ 的位置是同样的。

[0080] 在步骤 S1-3 中,获取测量区域 $Z(i)$ 的测量图像数据 $S(i, k)$ (测量图像获取单元)。

[0081] 在步骤 S1-4 中,确定是否已对于希望的测量区域(在图 4A 至 4D 的例子中,直至 $i = 5$) 完成了测量。如果还没有完成测量(在步骤 S1-4 中为否),那么将 i 加 1, 并且过程返回步骤 S1-2。如果已完成了测量(在步骤 S1-4 中为是),那么 i 返回初始值,并且,过程前进到步骤 S1-5。

[0082] 在步骤 S1-5 中,校正测量区域 $Z(i)$ 的测量图像数据的对比度(校正单元)。例如,根据校正函数来执行校正,所述校正函数取决于代表相对于测量区域中沿(测量光的)照射方向的位置的强度变化的衰减函数而确定。更具体而言,光学相干层析摄影装置事先存储或获取上述的校正函数,并且,使用与位置对应的校正函数的值(通过将位置代入校正函数而获得的值;校正数据)对于每个测量位置(元素位置)执行校正。假定用于校正

的数据是校正数据 $D(i, k)$, 那么校正的测量图像数据 (校正图像数据) $H(i, k)$ 由表达式 8 表达。

$$[0083] \quad H(i, k) = S(i, k) / D(i, k) \quad (8)$$

[0084] 注意, 校正函数可以是理论或实验获得的校正函数本身, 也可以是衰减函数的近似函数 (直线或二次曲线), 并且, 也可以是衰减函数和给定系数的和或积。如果可以消除 SD-OCT 特有的现象 (出现对比度变化的现象), 那么可以使用任何函数。

[0085] 注意, 可以使用单个校正函数; 但是, 如果测量区域的特性 (上述的特性; 衰减函数) 彼此不同, 那么优选对于每个测量区域准备校正函数 (优选使用对于每个测量区域不同的校正函数来校正测量图像的对比度)。例如, 在焦深取决于焦点位置而变化的情况下, 特性对于每个测量区域而改变, 因此这种准备是有效的。

[0086] 在步骤 S1-6 中, 计算测量区域 $Z(i)$ 的实像 (层析摄影图像获取单元)。

[0087] 在测量区域 $Z(0)$ 中, 不产生镜像。因此, 校正值数据 $H(i, k)$ 和计算的实像数据 $C(i, k)$ 之间的关系由表达式 9 表达。

$$[0088] \quad C(i, k) = H(i, k) \quad (9)$$

[0089] 注意, 校正图像数据 $H(0, 0)$ 不是层析摄影数据 (在该元素的位置处不存在结构), 并因此可以使用校正值数据 $H(0, 1)$ 替代校正值数据 $H(0, 0)$ 。

[0090] 如果 i 比 1 大, 那么在测量区域 $Z(i)$ 中产生镜像。因此, 从在步骤 S1-5 中获取的校正图像数据 $H(i, k)$ 去除镜像数据, 以获取实像数据 $C(i, k)$ 。通过相对于相干门的位置 (在本例子中, 为测量区域及其相邻区域之间的边界) 反转 (reverse), 获得去除的镜像数据。更具体而言, 从校正图像数据 $H(i, k)$ 去除作为镜像数据的实像数据 $C(i-1, n-k)$ 。注意, 实像数据 $C(i, 0)$ 是放置相干门的位置处的数据, 并由此由实像数据 $C(i-1, n)$ 替代 (表达式 10-1)。计算的实像数据 $C(i, k)$ 由表达式 10-2 表达。

$$[0091] \quad C(i, 0) = C(i-1, n) \quad k = 0 \quad (10-1)$$

$$[0092] \quad C(i, k) = H(i, k) - C(i-1, n-k) \quad 0 < k \leq n \quad (10-2)$$

[0093] 在步骤 S1-7 中, 确定是否已获取希望的测量区域的实像 (在图 4A 至 4D 的例子中, 直至 $i = 5$ 的测量区域)。如果还没有完成获取 (在步骤 S1-7 中为否), 那么将 i 加 1, 并且过程返回步骤 S1-5。如果已完成了获取 (在步骤 S1-7 中为是), 那么 i 返回 1, 并且, 过程前进到步骤 S1-8。

[0094] 在步骤 S1-8 中, 执行 $Z(i)$ 的实像的图像调整。图像调整是实像的像素值 (强度) 和测量区域的位置 (沿测量光的照射方向的位置) 的调整。如上所述, 希望实像数据 $C(i, 0)$ 的位置和实像数据 $C(i-1, n)$ 的位置彼此是同样的。但是, 由于相干门的位置误差、光源的强度误差等, 因此它们的位置彼此移位。在该步骤中, 调整这种移位。

[0095] 参考图 6, 描述图像调整。在图 6 中, 垂直轴表示反射强度, 水平轴表示待测对象中的 (沿照射方向的) 位置。在图 6 中, 彼此相邻的测量区域 $Z(3)$ 和 $Z(4)$ 的实像分别由实线和虚线表示。测量区域 $Z(i)$ 的实像在 $k > n$ 的范围中与测量区域 $Z(i+1)$ 的实像重叠。将重叠部分的数据的部分或全部用于图像调整。在 $k > n$ 的范围中获得的实像数据之间执行内插, 并且, 可以使用通过内插获得的数据。理想地, 调整实像数据, 使得重叠部分彼此匹配。注意, 以下描述: 假定测量区域 $Z(3)$ 的实像已被调整, 调整测量区域 $Z(4)$ 的实像以与测量区域 $Z(3)$ 的实像匹配。

[0096] 执行测量区域的位置的调整（即，沿图 6 的水平轴方向的调整），使得测量区域及其相邻区域的层析摄影图像（实线和虚线）的重叠部分的强度差被固定。即，为了使得实线和虚线的重叠部分的强度差被固定（例如，使重叠部分的强度差的分散最小化），将虚线沿水平轴方向偏移。如果在重叠部分中，在实像中的每一个中存在特定的峰，那么可以执行调整，使得它们的峰位置彼此匹配。执行强度调整（即，沿图 6 的垂直轴方向的调整），使得测量区域及其相邻区域的层析摄影图像（实线和虚线）的重叠部分的强度差最小。即，为了使得实线和虚线的重叠部分的强度差最小（例如，使得重叠部分的强度差的绝对值的总值最小），将虚线沿垂直轴方向偏移。注意，在图像调整中，可以只调整测量区域的位置和强度中的一个。如果测量区域的位置和强度均被调整，那么优选在调整位置之后调整强度。

[0097] 在步骤 S1-9 中，确定是否已完成希望的测量区域（在图 4A 至 4D 的例子中，为直至 $i = 5$ 的测量区域）的实像的图像调整。如果还没有完成图像调整（在步骤 S1-9 中为否），那么将 i 加 1，并且过程返回步骤 S1-8。如果已完成了图像调整（在步骤 S1-9 中为是），那么过程前进到步骤 S1-10。

[0098] 在步骤 S1-10 中，将对于所有的测量区域获取的实像接合在一起。因此，在步骤 S1-11 中，可以获取希望的层析摄影图像。注意，当将实像接合在一起时，对于重叠部分，可以使用它们的平均值，并且，可以忽略序号比 n 大的元素。

[0099] 应当注意，在本例子中，将相干门放置在测量区域的边界处而进行计算；但是，由于光源的谱导致的误差有时与 $S(i, k)$ 的 i 为低次的分量混合。在这种情况下，当获取测量图像时，相干门的位置可相对于测量区域和相邻区域之间的边界被设置在相邻区域侧。例如，当执行测量区域 $Z(i)$ 的测量时，相干门应从测量区域 $Z(i-1)$ 和测量区域 $Z(i)$ 之间的边界向测量区域 $Z(i-1)$ 偏移几个到几十个元素。可取决于光源的相干函数等来确定偏移元素的数量。

[0100] 结果，可以平滑地连接每个测量区域的数据。这使得能够获得更加精确的层析摄影图像。

[0101] 如上所述，通过根据本实施例的光学相干层析摄影装置，校正测量图像的对比度，并且，从校正的测量图像获取层析摄影图像（实像）。因此，可以将多个测量区域中的每一个获取的层析摄影图像连续地接合在一起。

[0102] 虽然已参考示例性实施例描述了本发明，但应理解，本发明不限于公开的示例性实施例。随附的权利要求的范围应被赋予最宽的解释，以包含所有这样的修改以及等同的结构和功能。

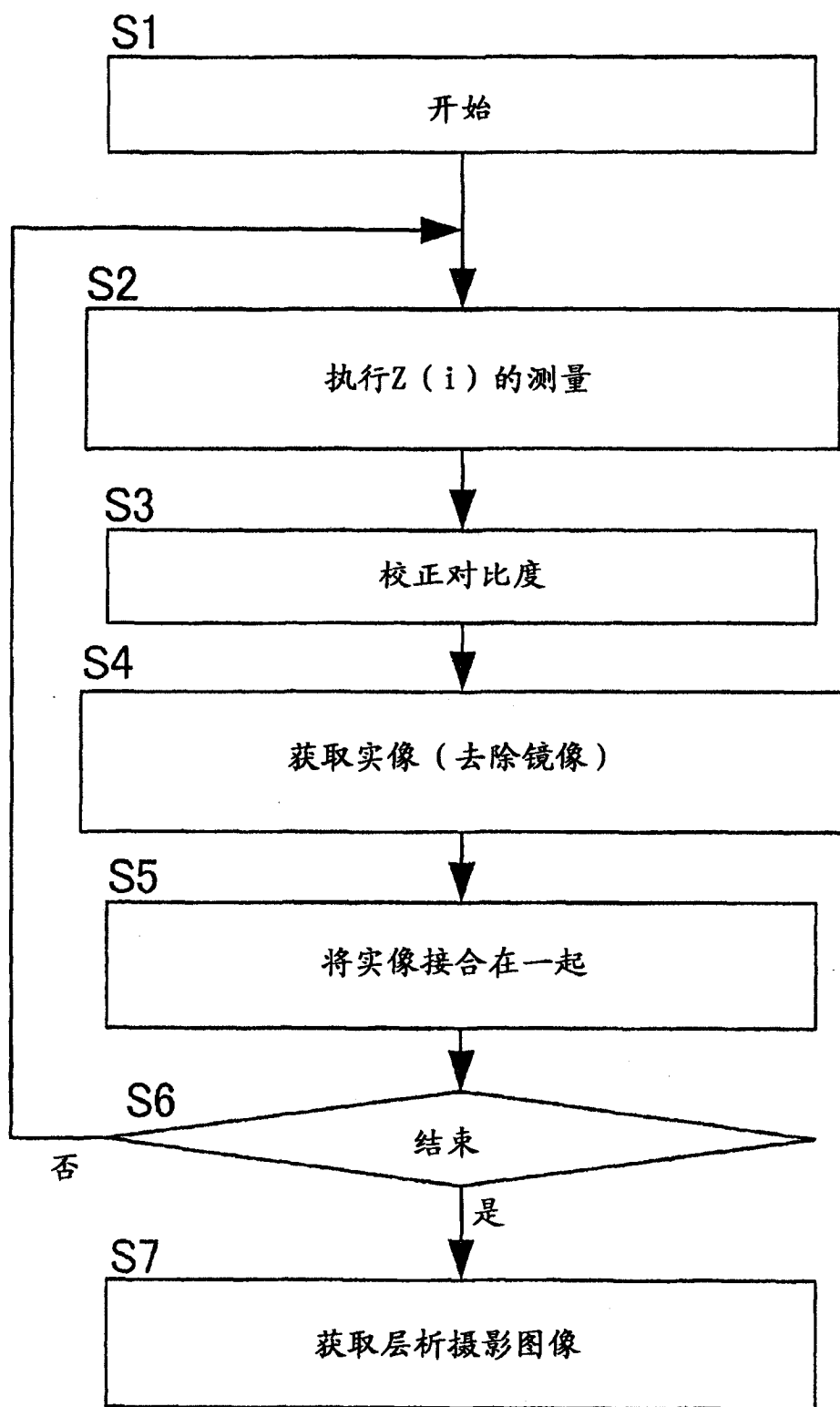


图 1

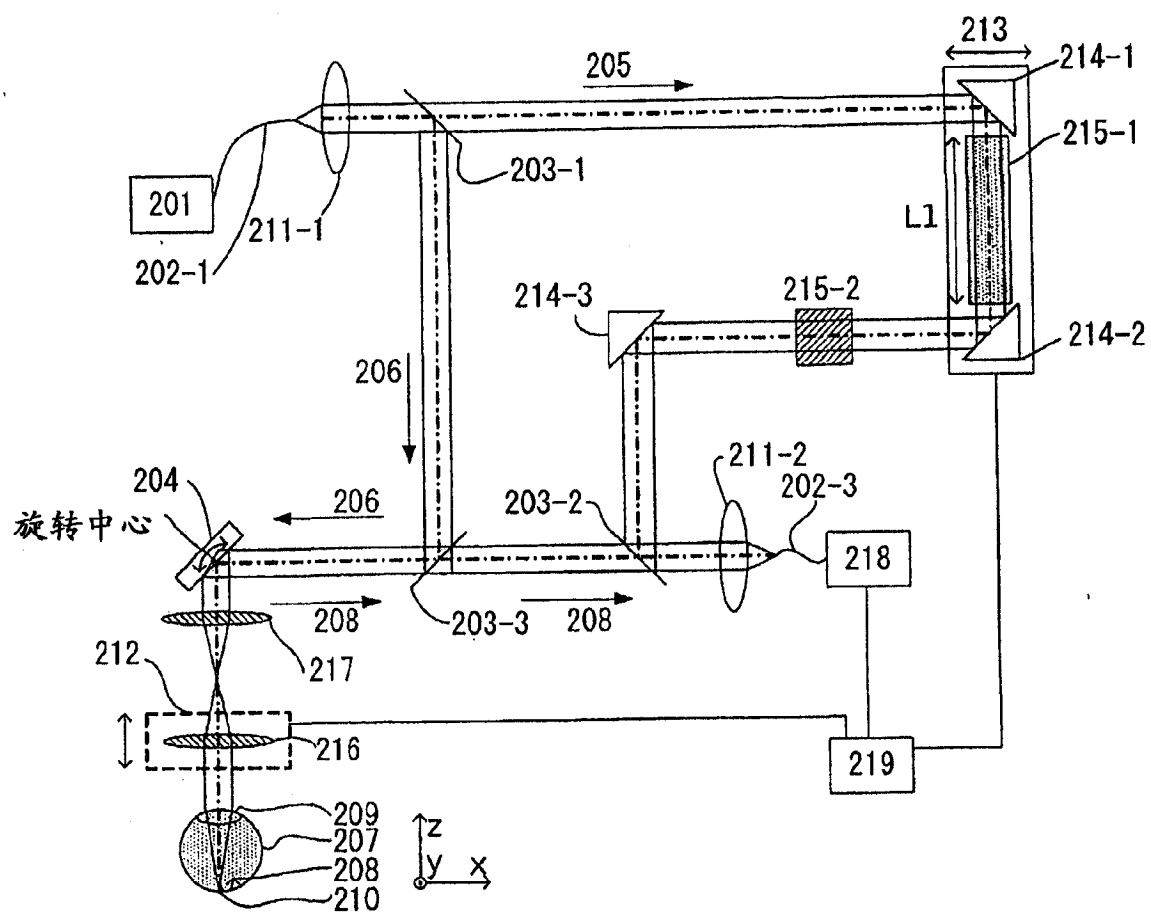


图 2

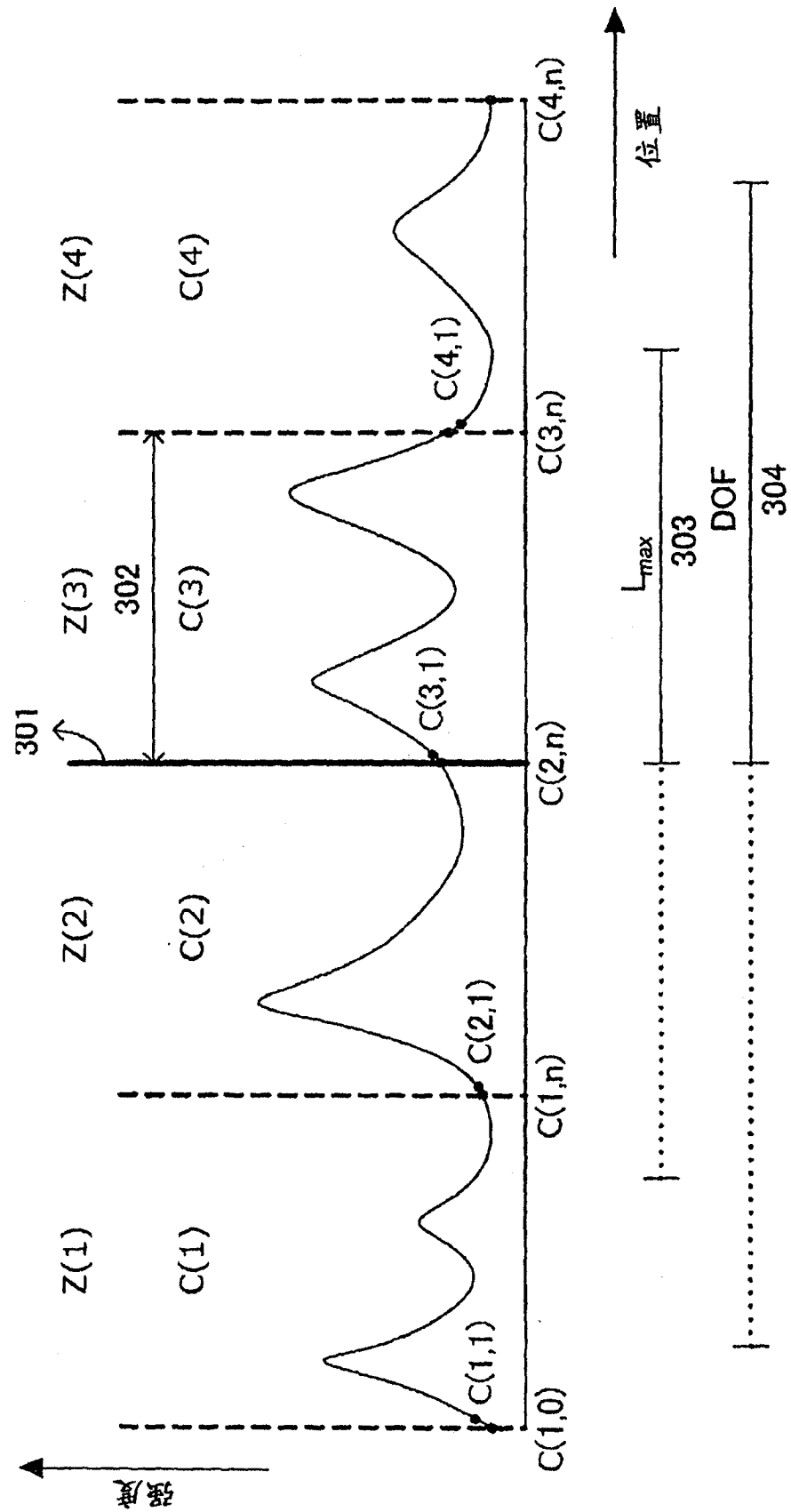


图 3

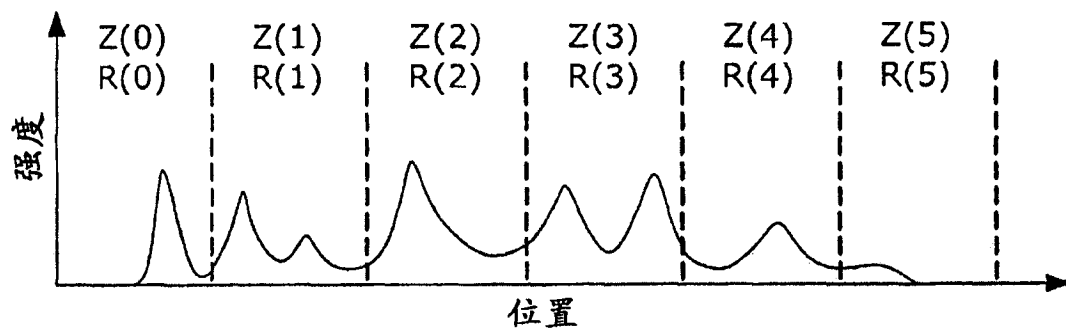


图 4A

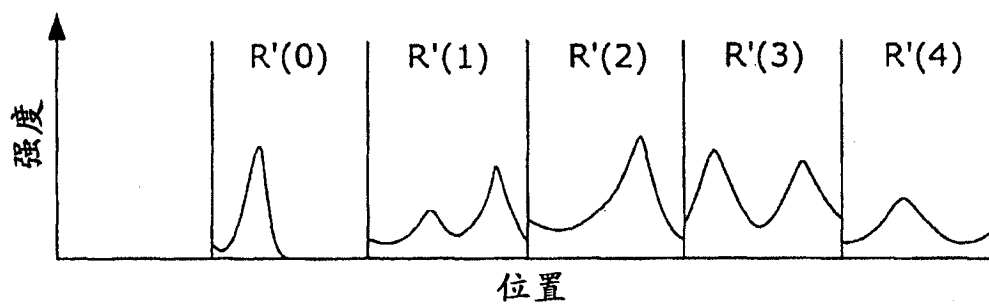


图 4B

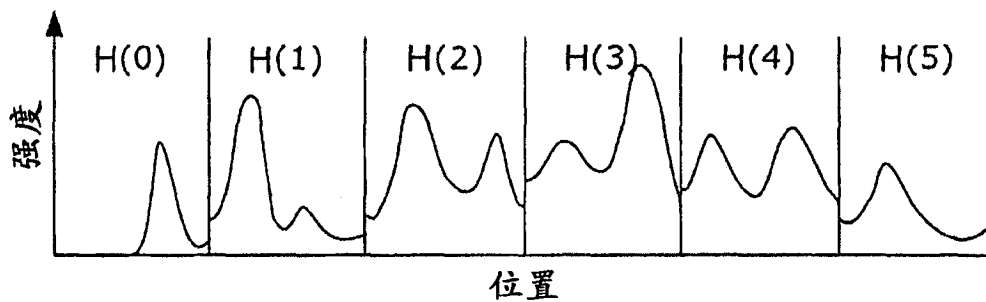


图 4C

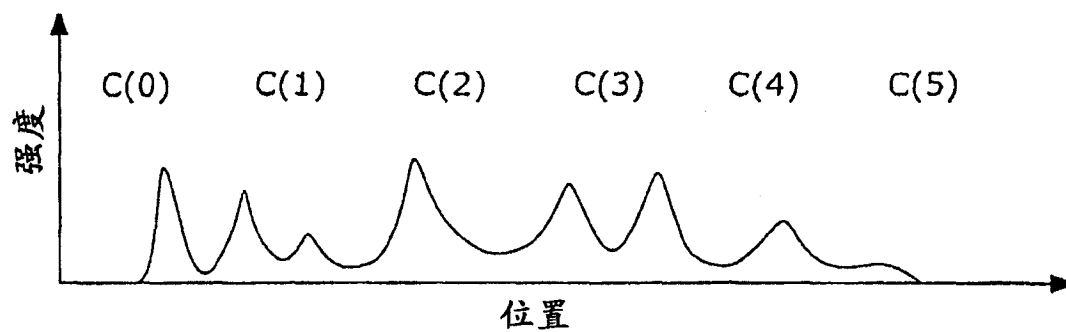


图 4D

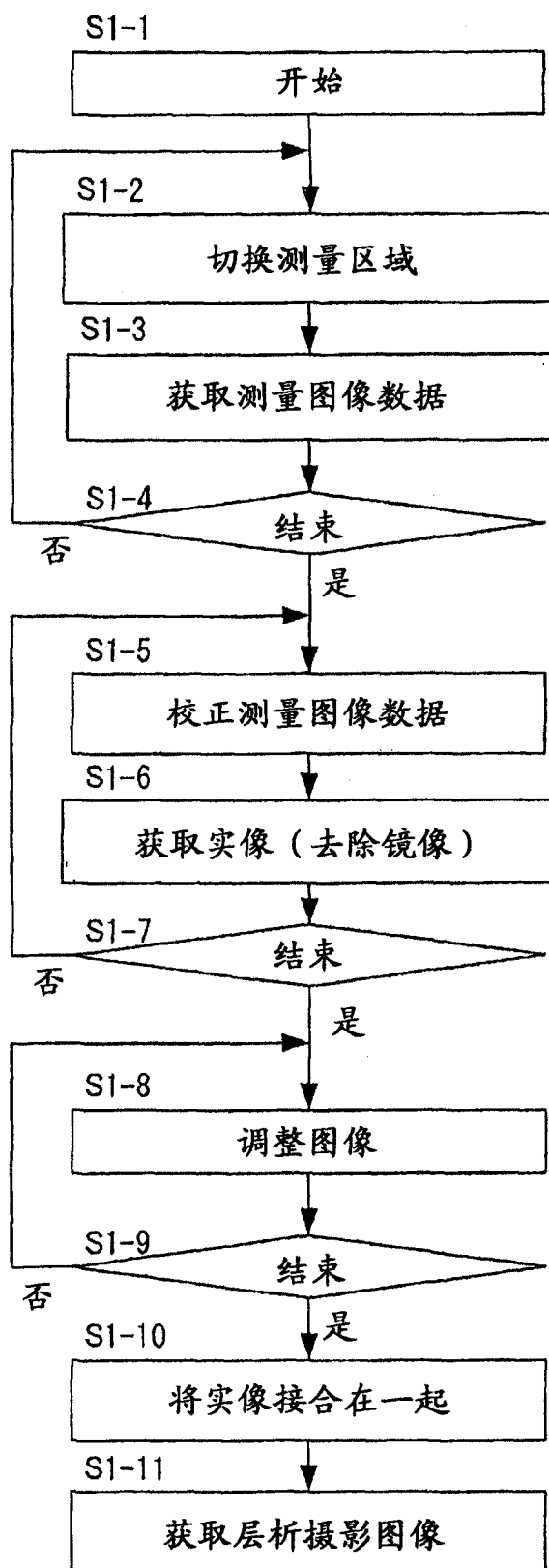


图 5

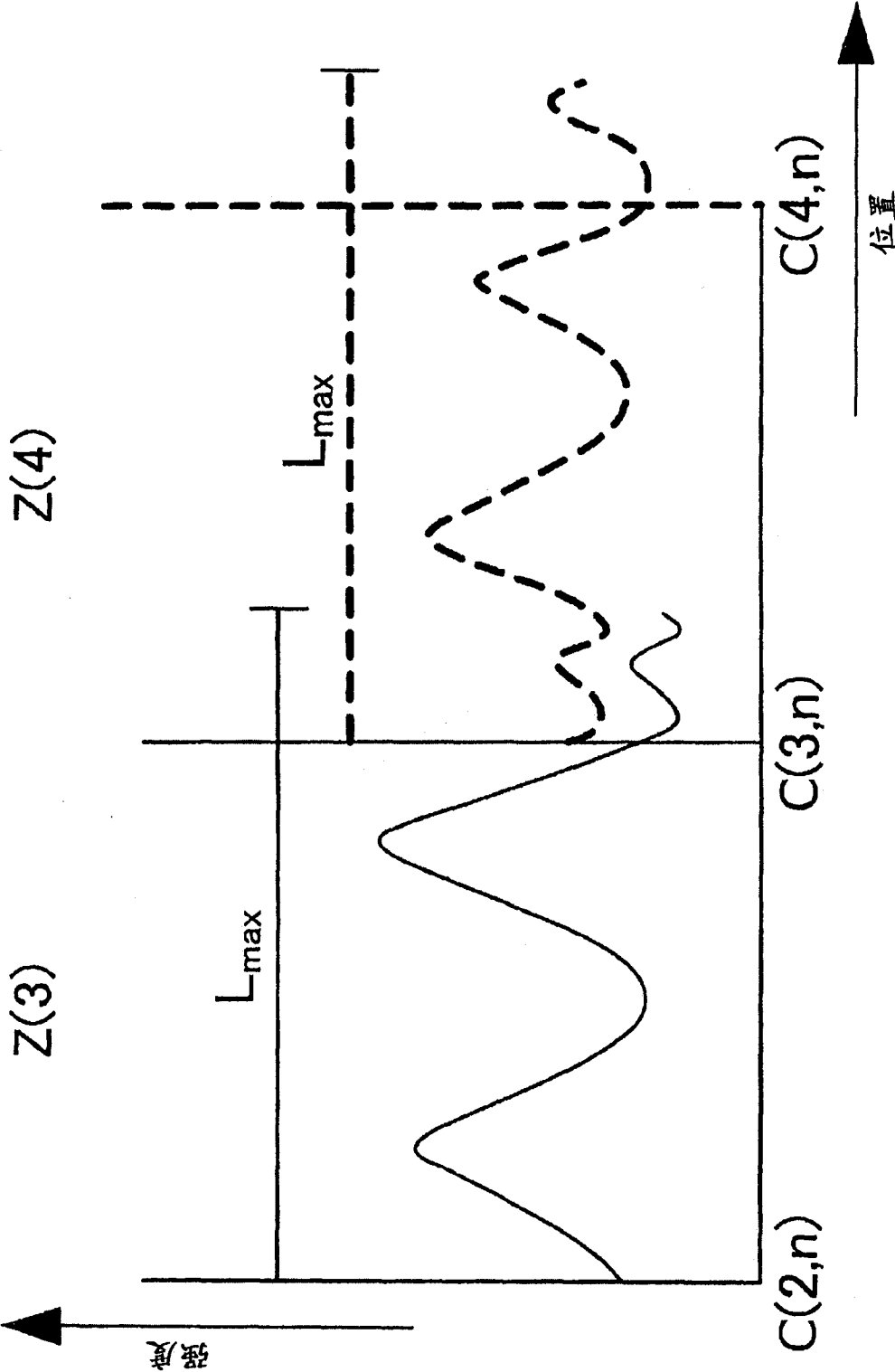


图 6

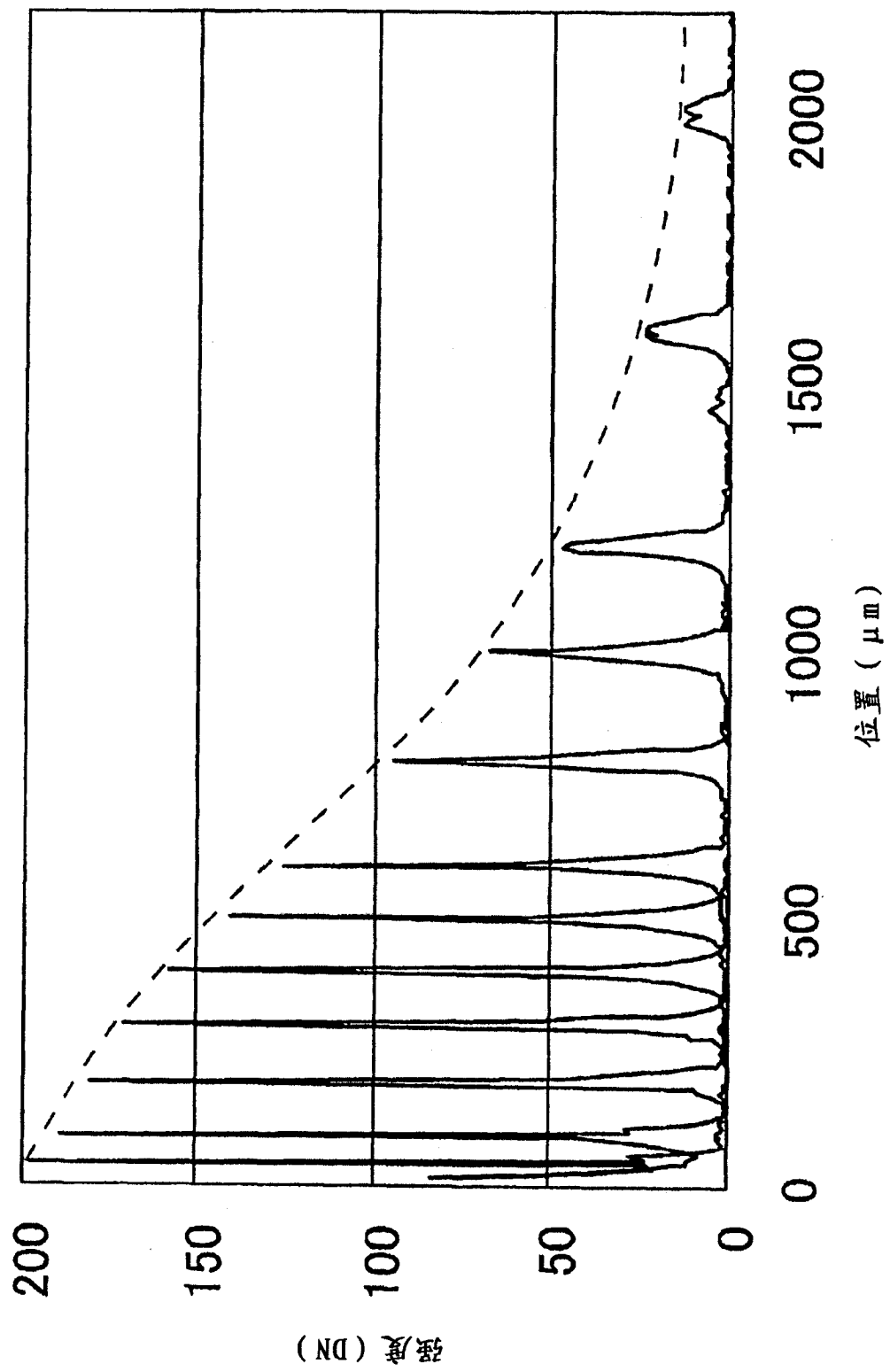


图 7