



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108430332 A

(43)申请公布日 2018.08.21

(21)申请号 201680076390.8

(22)申请日 2016.09.29

(30)优先权数据

10-2016-0007149 2016.01.20 KR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.06.26

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/KR2016/010876 2016.09.29

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/126772 EN 2017.07.27

(71)申请人 三星电子株式会社

地址 韩国京畿道水原市

(72)发明人 崔基桓 韩锡旻 俞相旭 李钟贤

(74)专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限公司 11286

代理人 曾世骁 郭鸿禧

(51)Int.Cl.

A61B 6/00(2006.01)

A61B 6/03(2006.01)

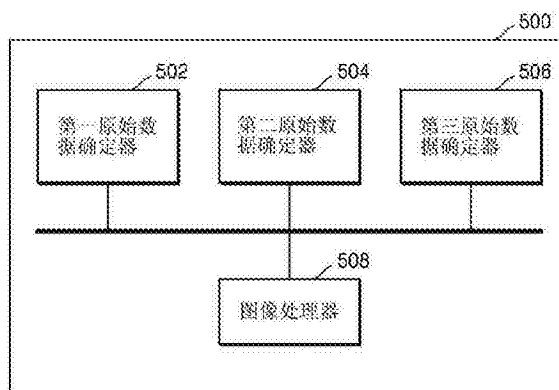
权利要求书2页 说明书20页 附图10页

(54)发明名称

断层扫描设备及其用于重建断层扫描图像的方法

(57)摘要

一种用于产生计算机断层扫描(CT)图像的断层扫描方法,包括:基于与包括获取的光子的接收的X射线相应的第一原始数据产生第一断层扫描图像;通过产生与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像并对第二断层扫描图像执行正向投影来确定第二原始数据;基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据;并且基于第三原始数据产生第三断层扫描图像,其中,第三原始数据的确定可基于关于所述获取的光子的分布的信息,所述信息包括在第一原始数据和第二原始数据中的至少一个中。



1. 一种用于产生计算机断层扫描CT图像的断层扫描方法,所述断层扫描方法包括:
基于与接收的X射线相应的第一原始数据产生第一断层扫描图像,其中,所述接收的X射线包括获取的光子;
通过产生与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像并对第二断层扫描图像执行正向投影,确定第二原始数据;
基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据;并且
基于第三原始数据产生第三断层扫描图像,
其中,第三原始数据的确定基于关于所述获取的光子的分布的信息,所述信息包括在第一原始数据和第二原始数据中的至少一个中。
2. 如权利要求1所述的断层扫描方法,其中,
第三原始数据与第一原始数据具有相同的数据量;以及
所述数据量基于所述获取的光子的数量。
3. 如权利要求1所述的断层扫描方法,其中,确定第三原始数据的步骤包括:使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵,以及
第三原始数据的确定基于第三原始数据和第二原始数据之间的差。
4. 如权利要求1所述的断层扫描方法,其中:
确定第三原始数据的步骤包括:通过使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵;
第三原始数据的确定基于第三原始数据和第二原始数据之间的差;
第三原始数据与第一原始数据具有相同的数据量;以及
第一矩阵和第三矩阵具有不同的大小。
5. 如权利要求1所述的断层扫描方法,还包括:
通过对第三原始数据执行反向投影来获取第四断层扫描图像;并且
通过对第四断层扫描图像执行正向投影来确定改善的第二原始数据。
6. 如权利要求1所述的断层扫描方法,其中,确定第三原始数据的步骤包括:
确定表示第三原始数据的期望值的第二参数;
通过使用第一原始数据和第二参数确定第三原始数据;
产生改变后的第二参数;并且
使用改变后的第二参数确定新的第三原始数据,
其中,改变后的第二参数使所述新的第三原始数据与第一原始数据之间的相似度最大化。
7. 如权利要求1所述的断层扫描方法,其中,
第二断层扫描图像在检测X射线的检测器单元的排列方向上与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率。
8. 如权利要求1所述的断层扫描方法,其中,
所述接收的X射线是通过使用多个视点对象执行断层扫描而获取的;
第二断层扫描图像在所述多个视点中的至少一个视点的视点方向上与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率。

9. 一种用于产生断层扫描图像的断层扫描设备,所述断层扫描设备包括:
接收器,被配置为接收与接收的X射线相应的第一原始数据,其中,所述接收的X射线包括获取的光子;以及
处理器,被配置为:基于第一原始数据产生第一断层扫描图像,通过产生与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像并对第二断层扫描图像执行正向投影来确定第二原始数据,基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据,并且基于第三原始数据产生第三断层扫描图像,
其中,处理器还被配置为:基于关于所述获取的光子的分布的信息确定第三原始数据,所述信息包括在第一原始数据和第二原始数据中的至少一个中。
10. 如权利要求9所述的断层扫描设备,其中,
第三原始数据与第一原始数据具有相同的数据量;以及
所述数据量基于所述获取的光子的数量。
11. 如权利要求9所述的断层扫描设备,其中,
处理器还被配置为:使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵;
处理器还被配置为:基于第三原始数据和第二原始数据之间的差确定第三原始数据;
第一矩阵和第三矩阵具有不同的大小。
12. 如权利要求9所述的断层扫描设备,其中,
处理器还被配置为:使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵;
处理器还被配置为:基于第三原始数据和第二原始数据之间的差确定第三原始数据;
第三原始数据与第一原始数据具有相同的数据量;以及
第一矩阵和第三矩阵具有不同的大小。
13. 如权利要求9所述的断层扫描设备,其中,处理器还被配置为:通过对第三原始数据执行反向投影来获取第四断层扫描图像,并通过对第四断层扫描图像执行正向投影来确定改善的第二原始数据。
14. 如权利要求9所述的断层扫描设备,其中,处理器还被配置为:确定表示第三原始数据的期望值的第二参数,通过使用第一原始数据和第二参数确定第三原始数据,产生改变后的第二参数,并且使用改变后的第二参数确定新的第三原始数据,
其中,改变后的第二参数使所述新的第三原始数据和第一原始数据之间的相似度最大化。
15. 一种计算机可读记录介质,被配置为在所述计算机可读记录介质上存储指令,所述指令包括程序,其中,所述程序当由处理器执行时,促使处理执行如权利要求1所述的断层扫描方法。

断层扫描设备及其用于重建断层扫描图像的方法

技术领域

[0001] 本公开涉及一种断层扫描设备及其用于重建断层扫描图像的方法,更具体地,涉及一种可通过使用由检测器检测到的X射线信息的分布来重建高分辨率断层扫描图像的断层扫描设备及其用于重建断层扫描图像的方法。

背景技术

[0002] 医学成像设备是用于获取对象的内部结构作为图像的设备。

[0003] 例如,作为一种无创检查设备,医学图像处理设备对体内的流体流动、内部组织和结构细节进行成像和处理,并向用户显示成像和处理的结果。诸如医生的用户可通过使用从医学图像处理设备输出的医学图像来诊断患者的疾病和健康状况。

[0004] 断层扫描设备是通过向患者照射X射线来对对象进行成像的设备的典型事例。具体地,计算机断层扫描(CT)设备可以是断层扫描设备的示例。作为医学图像处理设备,CT设备可提供对象的截面图像。与通用的X射线设备相比,由于CT设备可以以不重叠的方式表现对象(例如,诸如肾脏或肺的器官)的内部结构,所以它被广泛用于精确地诊断疾病。在下文中,由断层扫描设备获取的医学图像将被称为断层扫描图像。具体地,由CT设备获取的医学图像将被称为CT图像。

[0005] 为了获取断层扫描图像,断层扫描设备通过对对象执行断层扫描来获取原始数据。然后,断层扫描设备通过使用获取的原始数据重建断层扫描图像。这里,原始数据可包括通过向对象照射X射线而获取的投影数据、或作为投影数据集的正弦图。

[0006] 例如,为了获取CT图像,CT设备应通过使用通过CT成像获取的原始数据来执行图像重建操作。

发明内容

[0007] 技术问题

[0008] 在X射线的情况下,由于X射线从发射器被发射而穿过对象到达接收器,所以在其中可发生物理衰减。由于这样的衰减和散射现象,当通过使用由接收器获取的X射线产生断层扫描图像时,断层扫描图像的分辨率可能降低,并且当用户使用产生的断层扫描图像时,可能难以对对象进行清楚的诊断。

[0009] 解决方案

[0010] 根据示范性实施例的第一方面,一种用于产生计算机断层扫描(CT)图像的断层扫描方法包括:基于与接收的X射线相应的第一原始数据产生第一断层扫描图像,其中,所述接收的X射线包括获取的光子;通过产生与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像并对第二断层扫描图像执行正向投影,确定第二原始数据;基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据;并且基于第三原始数据产生第三断层扫描图像,其中,第三原始数据的确定可基于关于所述获取的光子的分布的信息,所述信息包括在第一原始数据和第二原始数据中的至少一个中。

[0011] 根据示例性实施例的另一方面,一种用于产生断层扫描图像的断层扫描设备包括:接收器,被配置为接收与接收的X射线相应的第一原始数据,其中,所述接收的X射线包括获取的光子;以及处理器,被配置为:基于第一原始数据产生第一断层扫描图像,通过产生与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像并对第二断层扫描图像执行正向投影来确定第二原始数据,基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据,并且基于第三原始数据产生第三断层扫描图像,其中,处理器还可被配置为:基于关于所述获取的光子的分布的信息确定第三原始数据,所述信息包括在第一原始数据和第二原始数据中的至少一个中。

[0012] 根据示例性实施例的另一方面,一种计算机可读记录介质可被配置为在所述计算机可读记录介质上存储指令,所述指令包括程序,其中,所述程序当由处理器执行时,促使处理器执行这里描述的方法。

[0013] 根据示例性实施例的另一方面,一种产生断层扫描图像的方法包括:接收X射线;基于接收的X射线产生第一断层扫描图像,其中,第一断层扫描图像具有第一分辨率;从第一断层扫描图像产生第一原始数据;从第一断层扫描图像产生第二断层扫描图像,其中,第二断层扫描图像具有比第一分辨率更高的第二分辨率;通过对第二断层扫描图像执行正向投影产生第二原始数据;使用参数、第一原始数据和第二原始数据产生第三原始数据;基于第三原始数据产生第三断层扫描图像;其中,所述参数可基于与第一原始数据和第二原始数据中的至少一个相关联的统计特征被确定。

附图说明

[0014] 从以下结合附图对示例性实施例的描述,这些和/或其他方便将变得明显且更易于理解,其中:

[0015] 图1是普通的计算机断层扫描(CT)系统100的示意图;

[0016] 图2是示出根据示例性实施例的CT系统100的结构示意图;

[0017] 图3是示出通信器的配置的示意图;

[0018] 图4是根据示例性实施例的断层扫描设备的框图;

[0019] 图5是示出根据示例性实施例的由断层扫描设备执行的断层扫描方法的流程图;

[0020] 图6示出根据示例性实施例的由断层扫描设备接收已经穿过对象的X射线的处理;

[0021] 图7示出根据示例性实施例的当对对象进行断层扫描时通过虚拟地划分获取X射线的检测器来获取由断层扫描设备进行断层扫描所必需的X射线信息的处理;

[0022] 图8是示出根据示例性实施例的由断层扫描设备通过使用基于第一原始数据确定的第三原始数据更新第二原始数据的处理的流程图;

[0023] 图9示出根据示例性实施例的通过使用作为由断层扫描设备执行的断层扫描方法的基于统计学习的射线分离处理来产生图像质量提高的断层扫描图像的处理;

[0024] 图10A和图10B是示出断层扫描图像和断层扫描图像的重建操作的示意图;

[0025] 图11示出根据示例性实施例的由断层扫描设备通过使用关于通过以特定角度执行断层扫描获取的X射线的信息来执行基于统计学习的射线分离的另一处理;

[0026] 图12示出根据示例性实施例的由断层扫描设备通过基于统计学习的射线分离获取关于在视点方向上具有增大的分辨率的正弦图的原始数据的处理;

[0027] 图13A、图13B和图13C示出根据示例性实施例的由断层扫描设备通过使用包括由关于X射线的信息表示的值的矩阵来执行基于统计学习的射线分离的处理。

[0028] 最佳实施方式

[0029] 提供断层扫描设备及其用于重建断层扫描图图像的方法,其中,所述断层扫描设备和所述方法可重建高分辨率断层扫描图像。

[0030] 将在下面的描述中部分阐述附加方面,并且从描述中将部分地变得明显,或可通过实践呈现的示例性实施例被了解。

[0031] 根据示例性实施例的第一方面,一种用于产生计算机断层扫描(CT)图像的断层扫描方法包括:基于与接收的X射线相应的第一原始数据产生第一断层扫描图像,其中,接收的X射线包括获取的光子;通过产生与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像并对第二断层扫描图像执行正向投影来确定第二原始数据;基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据;并且基于第三原始数据产生第三断层扫描图像,其中,第三原始数据的确定可基于关于所述获取的光子的分布的信息,所述信息包括在第一原始数据和第二原始数据中的至少一个中。

[0032] 第三原始数据可与第一原始数据具有相同的数据量;以及所述数据量可基于所述获取的光子的数量。

[0033] 确定第三原始数据的步骤可包括使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵,并且第三原始数据的确定可基于第三原始数据和第二原始数据之间的差。

[0034] 确定第三原始数据的步骤可包括通过使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵;第三原始数据的确定可基于第三原始数据和第二原始数据之间的差;第三原始数据可与第一原始数据具有相同的数据量;以及第一矩阵和第三矩阵可具有不同的大小。

[0035] 断层扫描还可包括:通过对第三原始数据执行反向投影来获取第四断层扫描图像;并且通过对第四断层扫描图像执行正向投影来确定改善的第二原始数据。

[0036] 确定第三原始数据的步骤可包括:确定表示第三原始数据的期望值的第二参数;并且通过使用第一原始数据和第二参数确定第三原始数据。

[0037] 所述断层扫描方法还可包括:产生改变后的第二参数;并且使用改变后的第二参数确定新的第三原始数据,其中,改变后的第二参数使所述新的第三原始数据和第一原始数据之间的相似度最大化。

[0038] 第二断层扫描图像可在检测X射线的检测器单元的排列方向上与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率。

[0039] 所述接收的X射线可通过使用多个视点对对象执行断层扫描来获取;第二断层扫描图像可在所述多个视点中的至少一个视点的视点方向上与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率。

[0040] 第二断层扫描图像可在视点方向和检测X射线的检测器单元的排列方向上与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率。

[0041] 根据示例性实施例的另一方面,一种用于产生断层扫描图像的断层扫描设备包括:接收器,被配置为接收与接收的X射线相应的第一原始数据,其中,所述接收的X射线包

括获取的光子;以及处理器,被配置为:基于第一原始数据产生第一断层扫描图像,通过产生与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像并对第二断层扫描图像执行正向投影来确定第二原始数据,基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据,并且基于第三原始数据产生第三断层扫描图像,其中,处理器还可被配置为:基于关于所述获取的光子的分布的信息确定第三原始数据,所述信息包括在第一原始数据和第二原始数据中的至少一个中。

[0042] 第三原始数据可与第一原始数据具有相同的数据量;以及所述数据量可基于所述获取的光子的数量。

[0043] 处理器还可被配置为:使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵;处理器还可被配置为:基于第三原始数据和第二原始数据之间的差确定第三原始数据;以及第一矩阵和第三矩阵可具有不同的大小。

[0044] 处理器还可被配置为:使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵;处理器还可被配置为:基于第三原始数据和第二原始数据之间的差确定第三原始数据;第三原始数据可与第一原始数据具有相同的数据量;以及第一矩阵和第三矩阵可具有不同的大小。

[0045] 处理器还可被配置为:通过对第三原始数据执行反向投影来获取第四断层扫描图像,并通过对第四断层扫描图像执行正向投影来确定改善的第二原始数据。

[0046] 处理器还可被配置为:确定表示第三原始数据的期望值的第二参数,并且通过使用第一原始数据和第二参数确定第三原始数据。

[0047] 处理器还可被配置为:产生改变后的第二参数;并且

[0048] 通过使用改变后的第二参数确定新的第三原始数据;其中,改变后的第二参数使所述新的第三原始数据和第一原始数据之间的相似度最大化。

[0049] 第二断层扫描图像可在检测X射线的检测器单元的排列方向上与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率。

[0050] 所述接收的X射线可通过使用多个视点对对象执行断层扫描来获取;第二断层扫描图像可在所述多个视点中的至少一个视点的视点方向上与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率。

[0051] 根据示例性实施例的另一方面,一种计算机可读记录介质可被配置为在所述计算机可读记录介质上存储指令,所述指令包括程序,所述程序当由处理器执行时,促使处理器执行这里描述的方法。

[0052] 根据示例性实施例的另一方面,一种产生断层扫描图像的方法包括:接收X射线;基于接收的X射线产生第一断层扫描图像,其中,第一断层扫描图像具有第一分辨率;从第一断层扫描图像产生第一原始数据;从第一断层扫描图像产生第二断层扫描图像,其中,第二断层扫描图像具有比第一分辨率更高的第二分辨率;通过对第二断层扫描图像执行正向投影产生第二原始数据;使用参数、第一原始数据和第二原始数据产生第三原始数据;基于第三原始数据产生第三断层扫描图像;其中,所述参数可基于与第一原始数据和第二原始数据中的至少一个相关联的统计特征被确定。

[0053] 所述统计特征可与在接收X射线期间收集的光子的数量相关。

[0054] 产生第二断层扫描图像的步骤可包括:对第一断层扫描图像执行插值。

具体实施方式

[0055] 现在将详细参考附图中示出了其示例的示例性实施例,其中,相同的标号始终指示相同的元件。在这点上,示例性实施例可具有不同的形式,并且不应被解释为限于本文阐述的描述。因此,以下仅通过参考附图来描述示例性实施例以解释各方面。如这里使用的,术语“和/或”包括相关联的列出项中的一个或多个的任意组合或所有组合。诸如“…中的至少一个”的表述当在一列元素之后时修饰整列元素,而不是修饰该列的单个元素。

[0056] 参考用于示出示例性实施例的附图以获得对示例性实施例、其优点和通过示例性实施例的实现完成的目标的充分理解。然而,示例性实施例可以以许多不同的形式被实现,并不应被解释为限于本文阐述的示例性实施例;更确切地说,提供这些示例性实施例使得本公开将是彻底且完整的,并将向本领域的普通技术人员充分地传达示例性实施例。贯穿本说明书,相同的标号指示相同的元件。

[0057] 将简要地描述说明书中使用的术语,然后,将详细地描述示例性实施例。

[0058] 说明书中使用的术语是考虑到关于示例性实施例的功能而在本领域中广泛使用的术语,但术语可根据本领域的普通技术人员的意图、先例或本领域的新技术而改变。此外,可由申请人选择特定的术语,在这种情况下,将在详细描述中描述特定的术语的详细含义。因此,说明书中使用的术语不应仅被理解为简单的名称,而是应基于术语的含义和整体描述来理解。

[0059] 当某物“包括”或“包含”组件时,除非另有说明,否则还可包括另一组件。此外,这里使用的术语“单元”表示软件组件或诸如现场可编程门阵列(FPGA)或专用集成电路(ASIC)的硬件组件,并可执行一些功能。然而,术语“单元”不限于软件或硬件。“单元”可被形成为处于可寻址存储介质中,或可形成为操作一个或多个处理器。因此,例如,“单元”可包括诸如软件组件、面向对象软件组件、分类组件和任务组件的组件,并可包括处理、功能、属性、程序、子程序、程序代码段、驱动器、固件、微代码、电路、数据、数据库、数据结构、表、阵列和变量。由组件和“单元”提供的功能可与更小数量的组件和“单元”相关联,或可被划分为附加的组件和“单元”。

[0060] 现在将参照示例性实施例进行详细描述,示例性实施例的示例在附图中被示出。在这点上,示例性实施例可具有不同的形式,并不应被解释为限于本文阐述的描述。在描述一个或多个示例性实施例时,为了简洁,省略关于与所述一个或多个示例性实施例无关的附图的描述。

[0061] 贯穿说明书,“图像”可表示由分立图像元件(例如,二维(2D)图像中的像素和三维(3D)图像中的体素)形成的多维数据。例如,图像可包括由计算机断层扫描(CT)成像设备获取的对象的医学图像。

[0062] 贯穿说明书,“CT图像”可表示通过合成通过在CT成像设备相对于对象围绕至少一个轴旋转时对对象进行成像而获取的多个X射线图像而产生的图像。

[0063] 贯穿说明书,“对象”可包括人、动物或人或动物的一部分或全部。例如,对象可包括血管和器官(诸如,肝脏、心脏、子宫、大脑、胸部或腹部)中的至少一个。此外,对象可包括体模。体模可指具有非常接近于生物体的密度和有效原子数的体积的材料,并可包括具有与肉体相似的特征的球形体模。

[0064] 贯穿说明书,“用户”可包括但不限于诸如医生、护士、医学实验室技术专家或医学图像专家的医学专家、或者维修医学设备的技术员。

[0065] 由于CT系统能够提供对象的截面图像,所以与普通X射线成像设备相比,CT系统可表现对象的内部结构(例如,诸如肾脏或肺的器官)而在它们之间没有重叠。

[0066] 例如,CT系统可每秒几十次到几百次地获取具有厚度不超过2mm的图像数据,并对获取的图像数据进行处理以提供对象的相对精确的截面图像。根据现有技术,可仅获取对象的水平截面图像,但由于各种图像重建方法,已经克服了这个问题。3D图像重建方法的示例包括如下。

[0067] 阴影表面显示(SSD)方法:SSD方法是仅显示具有预定亨氏单位(HU)值的体素的初始3D成像方法。

[0068] 最大强度投影(MIP)/最小强度投影(MinIP)方法:MIP/MinIP方法是仅显示构成图像的体素之中的具有最大或最小HU值的体素的3D成像方法。

[0069] 容积再现(VR)方法:VR方法是能够根据感兴趣区域调整构成图像的体素的颜色和透明度的成像方法。

[0070] 虚拟内窥镜方法:该方法允许在通过VR方法或SSD方法重建的3D图像中进行内窥镜观察。

[0071] 多平面重组(MPR)方法:MPR方法用于将图像重建为不同的截面图像。用户可在每个期望的方向上重建图像。

[0072] 编辑方法:该方法涉及编辑邻近的体素以便允许用户在容积再现(VR)中容易地观察感兴趣区域。

[0073] 感兴趣体素(VOI)方法:VOI方法仅显示在容积再现(VR)中选择的区域。

[0074] 将参照图1和图2对根据示例性实施例的CT系统100进行描述。CT系统100可包括各种类型的装置。

[0075] 图1是CT系统100的示意图。参照图1,CT系统100可包括机架102、台体105、X射线产生器106和X射线检测器108。

[0076] 机架102可包括X射线产生器106和X射线检测器108。

[0077] 对象10可位于台体105上。

[0078] 台体105可在CT成像处理期间沿预定方向(例如,上方向、下方向、右方向和左方向中的至少一个)移动。此外,台体105可沿预定方向倾斜或旋转预定角度。

[0079] 机架102也可沿预定方向倾斜预定角度。

[0080] 图2是示出根据示例性实施例的CT系统100的结构示意图。

[0081] 参照图2,CT系统100可包括机架102、台体105、控制器118、存储器124、图像处理器126、输入接口128、显示器130和通信器132。

[0082] 如上所述,对象10可位于台体105上。根据示例性实施例,台体105可沿预定方向(例如,上方向、下方向、右方向和左方向中的至少一个)移动,并且台体105的移动可由控制器118控制。

[0083] 根据示例性实施例,机架102可包括旋转框架104、X射线产生器106、X射线检测器108、旋转驱动器110、数据获取系统(DAS)116和数据发送器120。

[0084] 根据示例性实施例,机架102可包括具有能够相对于预定旋转轴RA旋转的环形形

状的旋转框架104。此外,旋转框架104可具有盘形形状。

[0085] 旋转框架104可包括面向彼此的X射线产生器106和X射线检测器108以具有预定视场FOV。此外,旋转框架104可包括防散射栅格114。防散射栅格114可位于X射线产生器106和X射线检测器108之间。

[0086] 在医学成像系统中,到达检测器(或感光膜)的X射线辐射不仅包括形成有用图像的衰减后的主要辐射,还包括降低图像质量的散射辐射。为了发射主要辐射并使散射辐射衰减,防散射栅格114可位于患者和检测器(或感光膜)之间。

[0087] 例如,防散射栅格114可由交替堆叠的铅箔条和间隙材料(诸如固体聚合物材料、固体聚合物或纤维复合材料)形成。然而,防散射栅格114的形成不限于此。

[0088] 旋转框架104可从旋转驱动器110接收驱动信号并可以以预定旋转速度旋转X射线产生器106和X射线检测器108。旋转框架104可在旋转框架104通过滑动环(slip ring)(未示出)接触旋转驱动器110时从旋转驱动器110接收驱动信号和电力。此外,旋转框架104可通过无线通信从旋转驱动器110接收驱动信号和电力。

[0089] X射线产生器106可通过滑动环(未示出)从电力分布单元(PDU)(未示出)接收电压和电流,然后高压产生器(未示出)产生并发射X射线。当高压产生器将预定电压(在下文中称为管电压)施加于X射线产生器106时,X射线产生器106可产生具有与管电压相应的多个能量谱的X射线。

[0090] 由X射线产生器106产生的X射线可由准直器112以预定的形式发射。

[0091] X射线检测器108可被放置为面向X射线产生器106。X射线检测器108可包括多个X射线检测装置。多个X射线检测装置中的每一个可建立一个通道,但示例性实施例不限于此。

[0092] X射线检测器108可检测由X射线产生器106产生并随后发射穿过对象10的X射线,并可产生与检测到的X射线的强度相应的电信号。

[0093] X射线检测器108可包括间接型X射线检测器和直接型X射线检测器,其中,间接型X射线检测器用于在将辐射转换为光之后检测辐射,直接型X射线检测器用于在直接将辐射转换为电荷之后检测辐射。间接型X射线检测器可使用闪烁计数器。此外,直接型X射线检测器可使用光子计数检测器。DAS 116可连接到X射线检测器108。由X射线检测器108产生的电信号可由DAS 116收集。由X射线检测器108产生的电信号可由DAS 116有线地或无线地收集。此外,由X射线检测器108产生的电信号可通过放大器被提供到模数转换器。

[0094] 根据切片厚度或切片数量,仅从X射线检测器108收集的数据中的一些数据被提供到图像处理器126,或者图像处理器126可仅选择从X射线检测器108收集的数据中的一些数据。

[0095] 数字信号可通过数据发送器120被提供到图像处理器126。数字信号可通过数字发送器120被有线地或无线地发送到图像处理器126。

[0096] 根据示例性实施例,控制器118可控制CT系统100中的每个模块的操作。例如,控制器118可控制台体105、旋转驱动器110、准直器112、DAS 116、存储器124、图像处理器126、输入接口128、显示器130和/或通信器132的操作。

[0097] 图像处理器126可通过数据发送器120接收从DAS 116获取的数据(例如,在处理操作之前的纯数据)并对其执行预处理。

[0098] 例如,预处理可包括校正通道之间的灵敏度不规则的处理和校正由于信号强度的迅速下降或由于X射线吸收器(诸如金属)引起的信号损耗的处理。

[0099] 从图像处理器126输出的数据可被称为原始数据或投影数据。例如,投影数据和数据获取期间的成像条件(例如,管电压和成像角度)可被一起存储在存储器124中。

[0100] 投影数据可以是与穿过对象10的X射线的强度相应的一组数据值。为了方便描述,以相同的成像角度从所有的通道同时获取的一组投影数据将被称为投影数据集。

[0101] 存储器124可包括例如闪存型存储介质、硬盘型存储介质、多媒体卡微型存储介质、卡型存储器(例如,安全数字(SD)存储器或极限数字(XD)存储器)、随机存取存储器(RAM)、静态RAM(SRAM)、只读存储器(ROM)、电可擦除可编程ROM(EEPROM)、可编程ROM(PROM)、磁存储器、磁盘和光盘之中的至少一个存储介质。

[0102] 此外,图像处理器126可通过使用投影数据集重建对象的截面图像。截面图像可以是3D图像。换句话说,例如,图像处理器126可通过使用锥束重建方法来基于投影数据集重建对象10的3D图像。

[0103] 例如,输入接口128可接收关于X射线断层扫描条件或图像处理条件的外部输入。例如,X射线断层扫描条件可包括多个管电压、关于多个X射线的能量值设置、成像协议的选择、图像重建方法的选择、FOV区域的设置、切片数量、切片厚度或关于图像后处理的参数设置。此外,例如,图像处理条件可包括图像的分辨率、关于图像的衰减系数设置和/或图像组合比例的设置。

[0104] 输入接口128可包括例如用于从外部源接收预定输入的装置。例如,输入接口128可包括麦克风、键盘、鼠标、操纵杆、触摸板、触摸笔、语音识别装置或手势识别装置。

[0105] 显示器130可显示由图像处理器126重建的X射线断层扫描图像。

[0106] 例如,可通过使用有线通信、无线通信和光通信中的至少一个来执行上述元件之间数据或电力的交换。

[0107] 例如,通信器132可通过服务器134与外部装置或外部医学设备执行通信。以下将参照图3描述通信的示例性实施例。

[0108] 图3是示出通信器132的配置的示意图。

[0109] 通信器132可有线地或无线地连接到网络301以与外部服务器134、医学设备136或便携式装置138执行通信。通信器132可与医院服务器或医院中的通过图片存档与通信系统(PACS)连接的其他医学设备交换数据。

[0110] 此外,例如,通信器132可根据医学数字成像和通信(DICOM)标准与便携式装置138执行数据通信。

[0111] 通信器132可通过网络301发送和接收与对对象10进行诊断相关的数据。此外,例如,通信器132可发送和接收从医学设备136(诸如,磁共振成像(MRI)设备或X射线设备)获取的医学图像。

[0112] 此外,例如,通信器132可从服务器134接收关于患者的诊断历史或医疗方案,并可在针对患者的临床诊断中使用诊断历史或医疗方案。此外,例如,通信器132可不仅与医院中的服务器134或医学设备136执行数据通信,而且可与用户或患者的便携式装置138执行数据通信。

[0113] 此外,例如,通信器132可通过网络301向系统管理器或服务管理器发送关于装置

错误的信息或关于质量控制状态的信息,并可接收与信息相应的反馈。

[0114] 图4是根据示例性实施例的断层扫描设备500的框图。

[0115] 具体地,根据示例性实施例,断层扫描设备500可包括第一原始数据确定器502、第二原始数据确定器504、第三原始数据确定器506和图像处理器508。根据示例性实施例,图像处理器508可基于由第一原始数据确定器502、第二原始数据确定器504和第三原始数据确定器506确定的原始数据产生高分辨率断层扫描图像。将在下面参照具体的示例性实施例对由断层扫描设备500执行的断层扫描方法进行描述。根据示例性实施例,断层扫描设备500可包括从数据获取系统116接收与接收的X射线相关的第一原始数据的接收器。

[0116] 图5是示出根据示例性实施例的由断层扫描设备500执行的断层扫描方法的流程图。

[0117] 在操作S500,根据示例性实施例,断层扫描设备500的第一原始数据确定器502可基于关于接收的X射线的第一原始数据产生第一断层扫描图像。根据示例性实施例,可通过使用关于由检测器实际检测到的X射线信息的第一原始数据产生第一断层扫描图像。也就是说,断层扫描设备500可通过使用检测器使用关于已经穿过对象的X射线的信息确定第一原始数据,图像处理器508可通过使用确定的第一原始数据产生第一断层扫描图像。例如,图像处理器508可通过对基于获取的X射线信息确定的第一原始数据执行反向投影或滤波后反向投影来产生第一断层扫描图像。这里,断层扫描设备500的检测器可与包括图2的X射线检测器108的能够检测X射线的任何装置相应。此外,第一原始数据确定器502、第二原始数据确定器504、第三原始数据确定器506和图像处理器508的操作可由单独的硬件执行或可由单个硬件(例如,处理器或CPU)执行。根据示例性实施例,断层扫描设备500可包括可执行第一原始数据确定器502、第二原始数据确定器504、第三原始数据确定器506和图像处理器508的操作的处理器。

[0118] 图6示出根据示例性实施例的由断层扫描设备500接收已经穿过对象的X射线的处理。

[0119] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过检测器602接收在从X射线产生器600被发射之后已经穿过对象601的X射线。关于由检测器602检测到的X射线的信息可包括关于由检测器602中包括的至少一个检测器单元中的每个检测器单元检测到的光子的分布的信息。例如,参照图6,作为关于X射线的信息,断层扫描设备500可通过检测器602获取关于以特定分布接收的光子603的信息。断层扫描设备500的检测器602可包括有限数量的检测器单元,并且断层扫描设备500可基于通过使用检测器单元获取的X射线信息确定原始数据。然而,当通过直接使用获取的X射线信息确定原始数据时,通过仅使用确定的原始数据产生的断层扫描图像可根据检测器602的性能具有有限的分辨率。例如,为了通过提高断层扫描图像的分辨率来产生高分辨率断层扫描图像,现有技术使用锐化滤波器或使用增大X射线采样率的方法。然而,现有技术方法存在诸如噪声增加、振铃效应增加或SNR降低的问题。在下文中,将详细描述执行断层扫描方法的处理,作为用于通过使用通过检测器602直接获取的X射线分布特征来产生高分辨率断层扫描图像的示例性实施例。

[0120] 在操作S502,根据示例性实施例,断层扫描设备500的第二原始数据确定器504可通过对第一断层扫描图像执行正向投影来确定第二原始数据。

[0121] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第二原始数据确定器504可确定通过使用

在操作S500中产生的第一断层扫描图像模拟的第二原始数据。如操作S500中使用的第二原始数据,被确定为正向投影的结果的第二原始数据可包括关于表示特定分布的光子的信息。然而,在这种情况下,由于第二原始数据不是通过针对对象直接照射并检测X射线而产生的原始数据,并与基于产生的断层扫描图像模拟的原始数据相应,所以可通过与第一原始数据不同的处理确定第二原始数据。

[0122] 根据示例性实施例,第二原始数据确定器504可增大第一断层扫描图像的分辨率并随后对与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像执行正向投影。例如,第二原始数据确定器504可通过对第一断层扫描图像执行插值来产生与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像,并通过对产生的第二断层扫描图像执行正向投影来产生第二原始数据。

[0123] 在操作S504,根据示例性实施例,断层扫描设备500可基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据。

[0124] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可基于第一参数、由第一原始数据确定器502确定的第一原始数据和由第二原始数据确定器504确定的第二原始数据确定关于与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的断层扫描图像的第三原始数据。

[0125] 根据示例性实施例,为了确定第三原始数据,断层扫描设备500可使用由第一原始数据和第二原始数据表示的关于获取的光子的分布的信息。具体地,作为可根据第一原始数据和第二原始数据获取的关于光子的分布的信息,断层扫描设备500可使用通过由检测器602中包括的至少一个检测器单元获取的光子的分布表示的统计特征。为了通过使用统计特征获取第三原始数据,断层扫描设备500可使用在假设在期望最大化(EM)算法中使用的至少一个参数具有预定值的情况下寻找最大后验(MAP)作为第三原始数据的方法。EM算法中使用的至少一个参数可包括关于由断层扫描设备500实际检测到的光子的数量的信息。可使用贝叶斯定理作为寻找最大MAP的方法。

[0126] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过使用关于第一原始数据和第二原始数据中的至少一个的统计特征来确定第三原始数据。

[0127] 根据示例性实施例,可由断层扫描设备500的第三原始数据确定器506使用的第一参数可表示第一原始数据和第三原始数据之间的关系。例如,包括关于接收到的X射线的信息的第一原始数据可以以矩阵的形式表示,并且第三原始数据也可以以矩阵的形式表示。可基于第一参数确定包括第一原始数据的第一矩阵与包括第三原始数据的第三矩阵之间的关系。这里,包括原始数据的矩阵可包括关于光子数量的信息,其中,光子数量被检测作为关于由每个检测器单元接收到的X射线的信息。

[0128] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可通过使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵来确定包括第三原始数据的第三矩阵,并且第一矩阵和第三矩阵可具有不同的大小。例如,包括第一原始数据的第一矩阵、表示第一参数的第二矩阵和包括第三原始数据的第三矩阵可由下面的等式1表示。

[0129] 数学式图1

[0130] [数学式1]

[0131] $I = Wz$

[0132] 这里,“I”可与包括第一原始数据的第一矩阵相应,“W”可与表示第一参数的第二矩阵相应,“z”可与包括第三原始数据的第三矩阵相应,并且可在第二矩阵和第三矩阵之间执行矩阵乘法运算。根据示例性实施例,通过使用第一参数,断层扫描设备500可将由第一原始数据表示的关于由检测器702中包括的每个检测器单元检测到的X射线的信息处理为关于由虚拟检测器704中包括的每个检测器单元检测到的X射线的信息。可在以下假设下执行示例性实施例:即使在使用虚拟检测器704时,关于由检测器702获取的X射线的信息的总量(例如,光子数量)也不改变。根据第一参数,在假设关于X射线的信息的总量是恒定的情况下,关于由检测器702的每个检测器单元检测到的X射线的信息可以以预定比率被划分为关于由虚拟检测器704中包括的各个检测器单元检测到的X射线的信息。预定比率可根据对象和断层扫描设备500的成像环境变化,或可被预先确定为预定常数的比率。例如,参照图7,通过使用第一参数,断层扫描设备500可以以1:2:1的比率将关于由检测器702的每个检测器单元检测到的X射线的信息划分为关于由虚拟检测器704中包括的各个检测器单元检测到的X射线的信息。由于虚拟检测器704的检测器单元的大小可比检测器702的检测器单元更小,所以关于与检测器702的检测器单元740的位置相应(或位于与其完全重叠的位置)的检测器单元720(作为虚拟检测器704的检测器单元)的X射线的信息可包括关于由检测器702的检测器单元检测到的X射线的信息量的1/2。不同于此,关于不与检测器702的每个检测器单元的位置相应(或位于不完全与其重叠的位置)的检测器单元710或730的X射线的信息可包括关于由检测器702的检测器单元检测到的X射线的信息量的1/4。因此,关于被确定为由虚拟检测器704的检测器单元710、720和730检测的X射线的信息的总量可等于关于由检测器702的检测器单元740实际检测到的X射线的信息的总量。

[0133] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第一原始数据确定器502可确定与通过检测器获取的X射线相关的第一原始数据,并且通过对第一断层扫描图像进行正向投影而确定的第二原始数据或通过对与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像进行正向投影而确定的第二原始数据可被使用以便产生与基于确定的第一原始数据产生的第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第三断层扫描图像。根据示例性实施例,与第二原始数据相关的第二矩阵的大小可等于与第三原始数据相关的第三矩阵的大小。

[0134] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可将第三原始数据确定为与第二原始数据具有最小差的原始数据。例如,断层扫描设备500可通过对第一断层扫描图像进行正向投影来确定第二原始数据,并且第三原始数据确定器506可通过对具有相同大小的包括第二原始数据的第二矩阵和包括第三原始数据的第三矩阵进行比较,基于第二矩阵和第三矩阵是否彼此相等来确定第三原始数据。例如,在确定第三原始数据的处理中,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可确定具有基于包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定的大小的第三矩阵,并可将第三矩阵确定为与第二矩阵具有最小差的矩阵。在这种情况下,第三原始数据确定器506可在确定第三原始数据之前考虑第一原始数据的量。例如,第三原始数据确定器506可确定具有基于第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定的大小的第三矩阵,并可将数据量等于第一原始数据的量的第三原始数据确定为与第二原始数据具有最小差的矩阵。这里,第一原始数据的量可以是与和由检测器检测到的X射线相关的光子的数量相应的信息,因此,第三原始数据确定器506

可在假设由检测器实际检测到的光子的总量是恒定的情况下确定第三原始数据。

[0135] 图7示出根据示例性实施例的当对对象进行断层扫描时通过虚拟地划分获取X射线的检测器来获取由断层扫描设备500进行断层扫描所必需的X射线信息的处理。

[0136] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过检测器702获取在从X射线产生器700发射出X射线之后X射线穿过对象701时接收到的X射线信息。由检测器702中包括的每个检测器单元获取的X射线信息可包括关于以特定分布接收到的光子703的信息。也就是说,在检测器702中包括的每个检测器单元中,从X射线产生器700发射出的X射线没有以恒定值被接收,但具有特定分布(诸如高斯分布或泊松分布)的光子在检测器单元中被接收。通过对检测到的光子的分布进行分析,断层扫描设备500可产生与基于由检测器702中包括的有限数量的检测器单元获取的光子的分布的断层扫描图像相比具有增大的分辨率的断层扫描图像。例如,通过对由检测器702检测到的光子的分布进行分析,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可推导出与通过使用比检测器702包括更多检测器单元的虚拟检测器704检测X射线信息相同的结果。也就是说,当使用根据由检测器702检测X射线的结果确定的第一原始数据而不是使用根据由虚拟检测器704检测X射线的结果确定的第三原始数据时,可产生具有相对高分辨率的断层扫描图像。

[0137] 参照图7,检测器702的检测器单元的大小可与可基于光子的分布确定的虚拟检测器704的检测器单元的大小的两倍相应,并且通过使用虚拟检测器704的检测器单元产生的第三原始数据可与增大用于断层扫描的采样率的结果相应。此外,根据示例性实施例,由于与第一原始数据具有相同数据量的第三原始数据可被确定,因此可通过提高采样率而不管X射线量的改变如何来获取与断层扫描的结果相应的断层扫描图像。

[0138] 根据示例性实施例,当通过使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定包括第三原始数据的第三矩阵时,断层扫描设备500可将第三原始数据确定为与第二原始数据具有最小差的原始数据。此外,由于第一矩阵和第三矩阵可具有不同的大小,所以可基于矩阵之间的关系中的第二矩阵和第三矩阵的大小来确定第一矩阵的大小。由于矩阵的大小之间的关系可与上面的实施例的描述相应,所以为了简洁,将省略上面的实施例的详细描述。为了基于第一矩阵、第二矩阵、第三矩阵和与第二原始数据具有最小差的原始数据确定第三原始数据,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可使用下面的等式2。

[0139] 数学式图2

[0140] [数学式2]

$$[0141] \quad z := \arg \min_{I=Iz} (z - \theta)^2$$

[0142] 这里,“I”可与包括第一原始数据的第一矩阵相应,“W”可与表示第一参数的第二矩阵相应,“z”可与包括第三原始数据的第三矩阵相应,并且可在第二矩阵和第三矩阵之间执行矩阵乘法运算。此外,作为第二参数,“ θ ”可与表示第三原始数据的期望值的矩阵相应。也就是说,在通过使用虚拟检测器确定用于产生高分辨率断层扫描图像的第三原始数据的处理中,断层扫描设备500可使用“ θ ”,其中,“ θ ”包括由虚拟检测器中包括的每个检测器单元检测到的光子的数量的期望值。

[0143] 根据示例性实施例,为了确定“ θ ”的初始值,断层扫描设备500可将通过对通过使

用由检测器702获取的X射线信息产生的第一原始数据进行正向投影而获取的第二原始数据作为“0”的初始值。也就是说,基于第一原始数据确定的第二原始数据可被用于确定第二参数的初始值。

[0144] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过使用第二参数的初始值确定第二原始数据,并可基于确定的第二原始数据更新第二参数。根据示例性实施例,通过与EM(期望最大化)算法中的期望步骤(E步骤)相应的处理,断层扫描设备500可通过使用第二参数的初始值确定第三原始数据。此外,通过与最大化步骤(M步骤)相应的处理,断层扫描设备500可通过确定使在期望步骤中确定的第三原始数据最大化的第二参数值来更新第二参数值。也就是说,通过确定最大似然的方法,断层扫描设备500可更新第二参数,其中,第二参数是由虚拟检测器中包括的至少一个检测器单元获取的光子的数量的期望值。通过上述处理,断层扫描设备500可通过使用具有初始值的第二参数来确定第三原始数据,并可改变第二参数使得第三原始数据具有最大值。因此,通过经由使用改变后的第二参数来确定第三原始数据,断层扫描设备500可重新确定第三原始数据,其中,该第三原始数据与通过使用在改变之前的第二参数确定的第三原始数据相比,与关于实际获取的光子的第一原始数据更相似。

[0145] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过对第一断层扫描图像进行正向投影来获取被确定为第二参数的初始值的第二原始数据,并可通过使用基于第一原始数据和第二参数的初始值确定的第三原始数据改变第二原始数据。这将在下面参照各种示例性实施例进行详细描述。

[0146] 在操作S506,断层扫描设备500可基于在操作S504中确定的第三原始数据产生第三断层扫描图像。

[0147] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的图像处理器508可通过使用第三原始数据产生第三断层扫描图像,并且与可通过直接使用由检测器702获取的X射线信息产生的第一断层扫描图像相比,产生的第三断层扫描图像可具有增大的分辨率。

[0148] 图8是示出根据示例性实施例的由断层扫描设备500通过使用基于第一原始数据确定的第三原始数据更新第二原始数据的处理的流程图。

[0149] 在操作S800,根据示例性实施例,断层扫描设备500可基于关于接收到的X射线的第一原始数据产生第一断层扫描图像。这与图5的操作S500的描述相应,因此,为了简洁,将省略对其的详细描述。

[0150] 在操作S802,根据示例性实施例,断层扫描设备500的第二原始数据确定器504可通过对第一断层扫描图像执行正向投影来确定第二原始数据。由于在操作S802中确定的第二原始数据是通过使用在操作S800中的包括关于由断层扫描设备500通过检测器702实际获取的光子的信息的第一原始数据被获取的,所以它与下面针对操作S806描述的基于第四断层扫描图像而改变的第二原始数据具有不同的来源。这可与图5的操作S502的描述相应,因此,为了简洁,将省略对其的详细描述。

[0151] 在操作S804,根据示例性实施例,断层扫描设备500可基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据。这可与图5的操作S504的描述相应,因此,为了简洁,将省略对其的详细描述。

[0152] 在操作S805,根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过对在操作S804中确定的

第三原始数据执行反向投影来获取第四断层扫描图像。

[0153] 具体地,当第四断层扫描图像是通过通过对通过仅使用通过检测器702实际获取的第一原始数据获取的第三原始数据进行反向投影而获取的时,与通过提高与第一原始数据相关的第一断层扫描图像的分辨率(例如,通过执行插值)而获取的第二断层扫描图像相比,获取的第四断层扫描图像可更详细地且更精确地表现对象。然而,此外,为了基于第三原始数据更新在操作S802中确定的第二原始数据,断层扫描设备500的图像处理器508可使用通过对第三原始数据进行反向投影而获取的第四断层扫描图像。

[0154] 在操作S806,根据示例性实施例,断层扫描设备500可对在操作S805中确定的第四断层扫描图像执行正向投影,并可基于正向投影的结果改变在操作S802中确定的第二原始数据。

[0155] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的图像处理器508可通过对第四断层扫描图像进行正向投影来获取关于第四断层扫描图像的原始数据。断层扫描设备500可将获取的关于第四断层扫描图像的原始数据改变为在操作S802中确定的第二原始数据。也就是说,可根据在操作S806中对第四断层扫描图像进行正向投影的结果来改变通过对第一断层扫描图像执行正向投影在操作S802中获取的第二原始数据。因此,当基于在操作S806中改变的第二原始数据递归地确定第三原始数据时,可基于第三原始数据获取能够更详细地表现对象的断层扫描图像。

[0156] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可基于第一参数、第一原始数据和第二原始数据确定第三原始数据。然而,这里,由断层扫描设备500使用的第二原始数据可包括通过使用在操作S806中通过对第四断层扫描图像执行正向投影而获取的原始数据而改变的第二原始数据。也就是说,断层扫描设备500的图像处理器可通过使用通过对第四断层扫描图像进行正向投影而获取的结果来改变第二原始数据,并且第三原始数据确定器506可通过使用改变后的第二原始数据、第一原始数据和第一参数将当前的第三原始数据确定为新的第三原始数据来更新第三原始数据。因此,通过使用通过使用改变后的第二原始数据确定的第三原始数据,与使用基于改变之前的第二原始数据确定的第三原始数据的情况相比,断层扫描设备500的图像处理器508可更详细且清楚地表现对象。

[0157] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过使用第一参数、第一原始数据和和在操作S806中改变的第二原始数据来确定新的第三原始数据,并可对确定的新的第三原始数据重复执行操作S805和S806。也就是说,断层扫描设备500可递归地执行操作S805和S806以产生高质量断层扫描图像,并可基于通过执行操作S805和S806的结果确定的新的第三原始数据确定可由虚拟检测器704中包括的至少一个检测器单元中的每一个获取的光子的数量。

[0158] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可基于对第四断层扫描图像进行正向投影的结果改变第二原始数据,并可基于改变后的第二原始数据改变表示第三原始数据的期望值的第二参数。断层扫描设备500的图像处理器508可基于改变后的第二原始数据改变表示第三原始数据的期望值的第二参数,并且第三原始数据确定器506可通过使用改变后的第二参数重新确定第三原始数据。具体地,断层扫描设备500的图像处理器508可基于改变后的第二参数改变第三原始数据的期望值,并且第三原始数据确定器506可通过使用第三原始数据的改变后的期望值来更新当前的第三原始数据。

[0159] 根据示例性实施例,通过使用第三原始数据的期望值,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可产生与使用更新之前的第三原始数据的期望值的情况相比具有提高的图像质量的断层扫描图像。也就是说,断层扫描设备500可通过使用对第四断层扫描图像进行反向投影的结果来改变操作S804中使用的第二参数,其中,第四断层扫描图像是通过对在操作S804中确定的第三原始数据进行反向投影的结果而产生的。因此,断层扫描设备500可通过使用由改变后的第二参数表示的新的第三原始数据的期望值来产生具有提高的图像质量的断层扫描图像。由断层扫描设备500通过基于通过使用获取的X射线信息获取的原始数据执行操作S805和S806来更新在操作S804中使用的用于产生原始数据的参数的处理可被认为是可由断层扫描设备500使用的基于统计学习的原始数据产生方法。也就是说,由断层扫描设备500通过使用在操作S804中确定的第三原始数据执行操作S805和S806来重新执行操作S804的递归断层扫描方法可被认为是基于统计学习技术的。

[0160] 图9示出根据示例性实施例的通过使用作为由断层扫描设备500执行的断层扫描方法的基于统计学习的射线分离处理来产生图像质量提高的断层扫描图像的处理。

[0161] 在操作S900,根据示例性实施例,断层扫描设备500可获取关于通过检测器702检测到的X射线的信息。获取的关于X射线的信息可包括关于由检测器702检测到的光子的数量或数目的信息。

[0162] 在操作S902,断层扫描设备500可执行基于统计学习的射线分离处理。基于统计学习的射线分离处理可以是通过使用包括比用于X射线检测的检测器702中包括的至少一个检测器单元的数量更多的检测器单元的虚拟检测器704来产生原始数据而不是由断层扫描设备500通过直接使用关于通过检测器702实际检测到的X射线的信息来产生原始数据的处理。也就是说,在操作S902中执行的处理可与图8的操作S804相应,其中,操作S804使用第一参数、第一原始数据和第二原始数据以便确定与通过直接使用在操作S900中获取的关于X射线的信息经由反向投影处理而获取的原始数据相比具有增大的分辨率的第三原始数据。

[0163] 也就是说,为了基于统计学习的射线分离,作为可根据第一原始数据和第二原始数据获取的关于光子的分布的信息,断层扫描设备500可使用通过由检测器702中包括的至少一个检测器单元获取的光子的分布表示的统计特征。也就是说,由断层扫描设备500执行的基于统计学习的射线分离处理可包括通过使用在期望最大化(EM)算法(EM方法)中使用的至少一个参数(例如,关于通过检测器702实际检测到的X射线的信息或实际获取到的光子的数量)的预定值来寻找最大后验(MAP)的处理。

[0164] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可通过使用包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵来确定包括第三原始数据的第三矩阵,并且第一矩阵和第三矩阵可具有不同的大小。例如,包括第一原始数据的第一矩阵、表示第一参数的第二矩阵和包括第三原始数据的第三矩阵可被表示为以上的等式1。

[0165] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第一原始数据确定器502可确定与通过检测器702获取的X射线相关的第一原始数据,并且通过对第一断层扫描图像进行正向投影确定的第二原始数据或与第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第二断层扫描图像可被使用以便产生与可基于确定的第一原始数据产生的第一断层扫描图像相比具有增大的分辨率的第三断层扫描图像。根据示例性实施例,与第二原始数据相关的第二矩阵的大小可等于与第三原始数据相关的第三矩阵的大小。

[0166] 根据示例性实施例,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可将第三原始数据确定为与第二原始数据具有最小差的原始数据。例如,断层扫描设备500可通过对第一断层扫描图像进行正向投影来确定第二原始数据,并且第三原始数据确定器506可通过比较具有相同大小的包括第二原始数据的第二矩阵和包括第三原始数据的第三矩阵,基于第二矩阵和第三矩阵是否彼此相等来确定第三原始数据。例如,在确定第三原始数据的处理中,断层扫描设备500的第三原始数据确定器506可确定具有基于包括第一原始数据的第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定的大小的第三矩阵,并可将其第三矩阵确定为与第二矩阵具有最小差的矩阵。在这种情况下,第三原始数据确定器506可在确定第三原始数据之前考虑第一原始数据的量。例如,第三原始数据确定器506可确定具有基于第一矩阵和表示第一参数的第二矩阵确定的大小的第三矩阵,并可将其数据量等于第一原始数据的量的第三原始数据确定为与第二原始数据具有最小差的矩阵。这里,第一原始数据的量可以是与由探测器702检测到的X射线相关的光子的数量相应的信息,因此,第三原始数据确定器506可在假设由探测器702实际检测到的光子的总量是恒定的情况下确定第三原始数据。

[0167] 图7示出根据示例性实施例的当对对象进行断层扫描时通过虚拟地划分获取X射线的探测器来获取断层扫描设备500进行断层扫描所必需的X射线信息的处理。

[0168] 由于以上已经参照图7和图8的操作S804详细描述了由断层扫描设备500执行基于统计学习的射线分离处理的方法,因此,为了简洁,将省略对其的详细描述。

[0169] 图10A和图10B是示出断层扫描图像和断层扫描图像的重建操作的示图。

[0170] 具体地,图10A是示出断层扫描设备500在围绕对象1000旋转的同时执行断层扫描并获取与其相应的原始数据的断层扫描操作的示图。此外,图10B是示出通过断层扫描获取的重建的断层扫描图像和正弦图的示图。

[0171] 断层扫描设备500可向对象照射X射线,感测已经穿过对象的X射线,并产生与X射线相应的原始数据。

[0172] 具体地,如上所讨论的,断层扫描设备500还可包括机架102,机架102可包括X射线产生器106和X射线探测器108。图10A中的X射线产生器1002可与图2的X射线产生器106相应。断层扫描设备500的X射线产生器1002向对象1000照射X射线。当断层扫描设备500执行断层扫描时,X射线产生器1002围绕对象旋转,并获取与旋转角度相应的多个原始数据。具体地,由于X射线探测器108检测关于通过旋转机架102以各种角度从X射线产生器106发射的X射线的信息,所以断层扫描设备500可以以各种角度或视点执行断层扫描并产生关于对象的原始数据。因此,断层扫描设备500可通过感测分别从位置P1、P2和P3施加于对象的X射线来获取原始数据1012、1014和1016。这里,分别从位置P1、P2和P3获取的原始数据1012、1014和1016可以通过从一个视点向对象1000照射X射线而获取的投影数据。因此,为了产生一个截面断层扫描图像,断层扫描设备500应在将X射线产生器1002旋转至少180度的情况下执行断层扫描。

[0173] 参照图10B,可通过将在如图10A中所示以每个预定角度间隔移动X射线产生器1002时获取的多个投影数据组合来获取正弦图1020。可通过在旋转X射线产生器1002一个周期时执行断层扫描获取正弦图1020,与一个周期相应的正弦图1020可被用于产生一个截面断层扫描图像。根据断层扫描系统的规格,一个周期的旋转可以是大约半圈或多于半圈、或者大约一圈或多于一圈。此外,正弦图1020可被滤波并随后被反向投影(滤波后反向投

影)以重建断层扫描图像1022。

[0174] 然而,如图10A所示,当机架102被旋转以使断层扫描设备500的X射线产生器1002从各个位置(诸如P1、P2和P3)施加X射线,并且断层扫描以各种角度被执行若干次时,完成对象的断层扫描所花费的时间可变得相对长。即,随着与对象的断层扫描图像相关的断层扫描角度变得不同,断层扫描所花费的时间可变得相对长。为了解决这个问题并在短时间内获取高质量断层扫描图像,根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过使用关于通过以特定角度进行断层扫描获取的X射线的信息来产生与以多个角度(以及以特定角度)进行断层扫描的结果相应的原始数据。

[0175] 图11示出根据示例性实施例的由断层扫描设备500通过使用关于通过以特定角度执行断层扫描获取的X射线的信息来执行基于统计学习的射线分离的另一处理。

[0176] 根据示例性实施例,为了获取高质量断层扫描图像,断层扫描设备500可执行作为断层扫描方法之一的基于统计学习的射线分离,并可产生与通过经由发送/接收X射线以其他角度以及以特定角度执行断层扫描而获取的信息相应的原始数据,其中,断层扫描实际以所述特定角度执行。也就是说,根据示例性实施例,如图8所示,断层扫描设备500可通过基于统计学习的射线分离处理对通过以特定角度执行断层扫描由检测器702检测到的第一原始数据进行处理来确定与通过经由使用虚拟检测器704捕获断层扫描图像而获取的原始数据相应的第三原始数据。与通过虚拟检测器704获取的原始数据相应的第三原始数据可与通过比在操作S800中使用的第一原始数据使用更多的检测器单元而获取的原始数据相应。正弦图(例如,基于第三原始数据获取的正弦图)可比基于第一原始数据获取的正弦图在检测器单元的布置上包括更多数据。

[0177] 如上所述,断层扫描设备500可在旋转机架102时在各种视点对对象执行断层扫描,因此可获取与各个视点相应的原始数据。即,由于在各种视点执行断层扫描,因此基于原始数据的正弦图可在与布置检测器单元的x轴方向1030垂直的y轴方向1040上包括更多数据。因此,随着断层扫描设备500使用更多的检测器单元,正弦图1020的x轴方向分辨率可增大,并且随着在更多的视点执行断层扫描,正弦图1020的y轴方向分辨率可增大。然而,根据示例性实施例,断层扫描设备500可基于在特定视点进行断层扫描的结果获取与通过在另一视点进行断层扫描获取的信息相应的原始数据。因此,在各种视点执行断层扫描所花费的时间可被减少,并且正弦图1020的y轴方向分辨率可被增大。

[0178] 参照图11,当断层扫描设备500中包括的X射线产生器1102施加X射线时,X射线检测器1104上的检测器单元1105可检测已经穿过对象的X射线。根据示例性实施例,检测器单元1105可位于由X射线产生器1102施加的X射线的轴上。断层扫描设备500可基于关于由检测器单元1105检测到的X射线的信息执行基于统计学习的射线分离处理,因此可增大正弦图1020的y轴方向分辨率。也就是说,在断层扫描设备500中,X射线检测器1104的检测器单元1105可检测由X射线产生器1102在第一视点施加的X射线,随后X射线检测器1108的检测器单元1109可检测由X射线产生器1106在第二视点施加的X射线。根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过使用关于检测到的X射线的信息产生对象的正弦图,并可通过使用关于检测到的X射线的信息执行基于统计学习的射线分离。断层扫描设备500可通过基于统计学习的射线分离来处理关于在第一视点和第二视点下检测到的X射线的信息(例如,光子的量)并可使用处理后的信息产生高分辨率断层扫描图像。

[0179] 图12示出根据示例性实施例的由断层扫描设备500通过基于统计学习的射线分离获取关于在视点方向上具有增大的分辨率的正弦图的原始数据的处理。

[0180] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可获取关于第一视点的原始数据1202、关于第二视点的原始数据1204和关于第三视点的原始数据1206。获取的原始数据1202、1204和1206可包括关于在不同的视点下获取的X射线的信息,当一维数据矩阵被转换为正弦图时,其可沿正弦图的视点方向被排列以被表示为2D正弦图。也就是说,在各个视点下获取的各个原始数据1202、1204和1206可沿第二轴1212被表示(其中,该第二轴1212表示与相应于检测器单元的排列方向的第一轴1210相应的原始数据的值),并且在各个视点下获取的元数据1202、1204和1206可在与视点方向相关的第三轴1214上被排列。当关于由各个检测器单元检测到的X射线的信息沿与检测器单元的排列方向相应的第一轴1210和与视点方向相关的第三轴1214排列时,它可被表示为正弦图,并且正弦图可被图解为表示由关于X射线的信息表示的值的的数据矩阵1250。与正弦图相应的数据矩阵1250可包括沿检测器单元排列方向1240和视点方向1230排列的数据,其中,检测器单元排列方向1240可以是与第一轴1210相应的方向,并且视点方向1230可以是与第三轴1214相应的方向。因此,在视点方向1230上排列的数据行1232、1234和1236可与由在各个视点下获取的原始数据1202、1204和1206表示的关于X射线的信息(例如,由各个检测器单元检测到的光子的数量)相应。

[0181] 图13A、图13B和图13C示出根据示例性实施例的由断层扫描设备500通过使用包括由关于X射线的信息表示的值的的数据矩阵1300来执行基于统计学习的射线分离的处理。

[0182] 参照图13A,可基于由断层扫描设备500获取的关于X射线的信息获取包括由关于X射线的信息表示的值的的数据矩阵1300,并且断层扫描设备500可基于获取的数据矩阵表示正弦图。具体地,可针对机架检测器单元排列方向1310和与可根据机架102的旋转而变化的成像角度相应的视点方向1320获取数据矩阵1300。也就是说,在构成数据矩阵的数据之中,位于同一列的数据1322、1324和1326可与关于通过在同一视点进行断层扫描而获取的X射线的的数据相应;位于同一行的数据1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317和1318可与关于由同一检测器单元获取的X射线的的数据相应。可通过作为可根据示例性实施例执行的断层扫描方法的基于统计学习的射线分离来处理数据矩阵1300中包括的数据,并且处理后的数据可用于产生高分辨率断层扫描图像。

[0183] 根据示例性实施例,断层扫描设备500通过使用数据矩阵1300针对检测器单元排列方向1310执行基于统计学习的射线分离。参照图13B,根据示例性实施例,可根据基于统计学习的射线分离的执行来处理关于由检测器702中包括的各个检测器单元检测到的X射线的的数据1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317和1318,并且处理后的数据可用于确定关于在每个视点下由虚拟检测器704中包括的检测器单元获取的X射线的信息。在图13B,在每个视点下的关于X射线的的数据1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317和1318可与上述示例性实施例中的第一原始数据或第二原始数据相应。即,当关于X射线的的数据1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317和1318与第一原始数据相应时,它可通过操作S502的第二原始数据确定处理被处理为第二原始数据;当在视点下的关于X射线的的数据1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317和1318与第二原始数据相应时,它可在操作S504中被直接用于确定第三原始数据。

[0184] 参照图13B,当执行射线分离时,关于由虚拟检测器704中包括的检测器单元获取

的X射线的的数据1331、1332、1333、1334、1335、1336和1337还可被包括在关于由检测器单元获取的X射线的的数据1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317和1318之间。为了产生高分辨率断层扫描图像,断层扫描设备可使用第三原始数据,其中,第三原始数据包括与第二原始数据相应的关于X射线的的数据1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317和1318以及通过射线分离处理产生的数据1331、1332、1333、1334、1335、1336和1337。然而,由于图13B中示出的特定数据值仅是用于描述各个示例性实施例的示例,所以示例性实施例不限于特定数据值。此外,由在通过射线分离处理被处理后的与第二原始数据相应的关于X射线的的数据1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317和1318表示的值可与在执行射线分离之前的数据表示相同的值,但它们可根据处理结果被改变为不同的值。由于以上已经参照与图5到图9相应的各个示例性实施例对针对检测器单元排列方向1310执行的基于统计学习的射线分离进行了描述,所以,为了简洁,将省略对其的详细描述。根据图13B中的射线分离,断层扫描设备500可产生与通过使用关于X射线的信息获取的断层扫描图像相应的第三断层扫描图像,其中,所述关于X射线的信息是通过比第一断层扫描图像使用包括更多的检测器单元的虚拟检测器704获取的。即,通过针对检测器单元排列方向执行射线分离,即使在没有物理地使用更多的检测器单元的情况下,断层扫描设备500也可产生比通过简单的提高处理(例如,插值)获取的第二断层扫描图像具有更高分辨率的第三断层扫描图像。因此,当图13B的射线分离被执行时,在检测器单元排列方向上具有相对较高的分辨率的正弦图可被表示,并且断层扫描设备500可通过使用高分辨率正弦图产生第三断层扫描图像。

[0185] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过使用数据矩阵1300在视点方向1320上执行基于统计学习的射线分离。

[0186] 参照图3C,根据示例性实施例,关于在每个视点下检测到的X射线的的数据1322、1324和1326可根据基于统计学习的射线分离的执行被处理,并且处理后数据可用于确定关于通过在除了捕获断层扫描图像的各个视点之外的其他视点下执行虚拟图像捕获而获取的X射线的信息。在图13C中,在每个视点的关于X射线的的数据1322、1324和1326可与上述示例性实施例中的第一原始数据或第二原始数据相应。也就是说,当关于X射线的的数据1322、1324和1326与第一原始数据相应时,它可通过操作S502的第二原始数据确定处理被处理为第二原始数据;当在视点的关于X射线的的数据1322、1324和1326与第二原始数据相应时,它可在操作S504中被直接用于确定第三原始数据。

[0187] 参照图13C,当执行射线分离时,在其他视点获取的关于X射线的的数据1342和1344也可包括在在每个视点中获取的关于X射线的的数据1322、1324和1326之间。为了产生高分辨率断层扫描图像,断层扫描设备可使用包括与第二原始数据相应的关于X射线的的数据1322、1324和1326和通过射线分离处理产生的数据1331、1342、1344的第三原始数据。然而,由于图13C中示出的特定数据值仅是用于描述各个示例性实施例的示例,所以示例性实施例不限于特定数据值。此外,由在通过射线分离处理被处理后的与第二原始数据相应的关于X射线的的数据1322、1324和1326表示的值可与在执行射线分离之前的数据表示相同的值,但它们可根据处理结果被改变为不同的值。由于以上已经参照与图10到图12相应的各个示例性实施例对针对视点方向1320执行的基于统计学习的射线分离进行了描述,所以,为了简洁,将省略对其的详细描述。根据图13C中的射线分离,断层扫描设备500可产生比第一断层扫描图像在视点方向上包括更多数据的断层扫描图像。也就是说,通过以各个角度执行断层

扫描,即使在无需消耗时间的情况下,也可通过射线分离来产生与比第一断层扫描图像以相对更多的角度执行断层扫描的结果相应的第三断层扫描图像。因此,当执行图13C的射线分离时,在视点方向上具有相对较高分辨率的正弦图可被表示,并且断层扫描设备500可通过使用高分辨率正弦图产生第三断层扫描图像。

[0188] 根据示例性实施例,断层扫描设备500可通过使用数据矩阵1300针对检测器单元排列方向1310和视点方向1320执行基于统计学习的射线分离。也就是说,以上已经参照图13B和13C描述的针对不同的方向执行的基于统计学习的射线分离可全部被执行。通过在针对检测器单元排列方向1310执行射线分离的同时针对视点方向1320执行射线分离,断层扫描设备500可在检测器单元排列方向和视点方向上获取高分辨率正弦图,该高分辨率正弦图是与通过使用相对更多的检测器单元以相对更多的视点捕获断层扫描图像相应的断层扫描图像。断层扫描设备500可通过使用在检测器单元排列方向和视点方向上的高分辨率正弦图来产生第三断层扫描图像。断层扫描设备500可在检测器单元排列方向和视点方向上执行基于统计学习的射线分离,而不管它们的顺序如何。因此,可首先执行在检测器单元排列方向上的射线分离,可首先执行在视点方向上的射线分离,或者可同时执行在检测器单元排列方向上的射线分离和在视点方向上的射线分离。

[0189] 如上所述,根据以上示例性实施例中的一个或多个,可通过基于统计学习的原始数据产生方法来递归地产生关于高分辨率断层扫描图像的原始数据,并且产生的高分辨率断层扫描图像可在用于断层扫描的检测器单元排列方向和视点方向中的至少一个上具有相对增大的分辨率。

[0190] 示例性实施例可被编写为计算机程序并可在通过使用计算机可读记录介质执行程序程序的通用数字计算机中实现。

[0191] 计算机可读记录介质的示例包括磁存储介质(例如,ROM、软盘、硬盘等)、光记录介质(例如,CD-ROM、DVD等)和诸如互联网传输介质的传输介质。

[0192] 虽然已经参照附图对一个或多个示例性实施例进行了描述,但本领域的普通技术人员将容易理解,在不实质地脱离示例性实施例的构思和特征的情况下,可在示例性实施例中进行各种修改。因此,将理解的是,上述示例性实施例应仅被认为是描述性的意义,而不是为了限制的目的。

[0193] 应理解的是,本文描述的示例性实施例应仅被认为是描述性的意义而不是为了限制的目的。在每个实施例内的特征和方面的描述通常应被认为可用于其他示例性实施例中的其他类似特征或方面。

[0194] 虽然已经参照附图对一个或多个示例性实施例进行了描述,但本领域的普通技术人员将理解的是,在不脱离由所附权利要求限定的精神和范围的情况下,可在一个或多个示例性实施例中进行形式和细节上的各种改变。

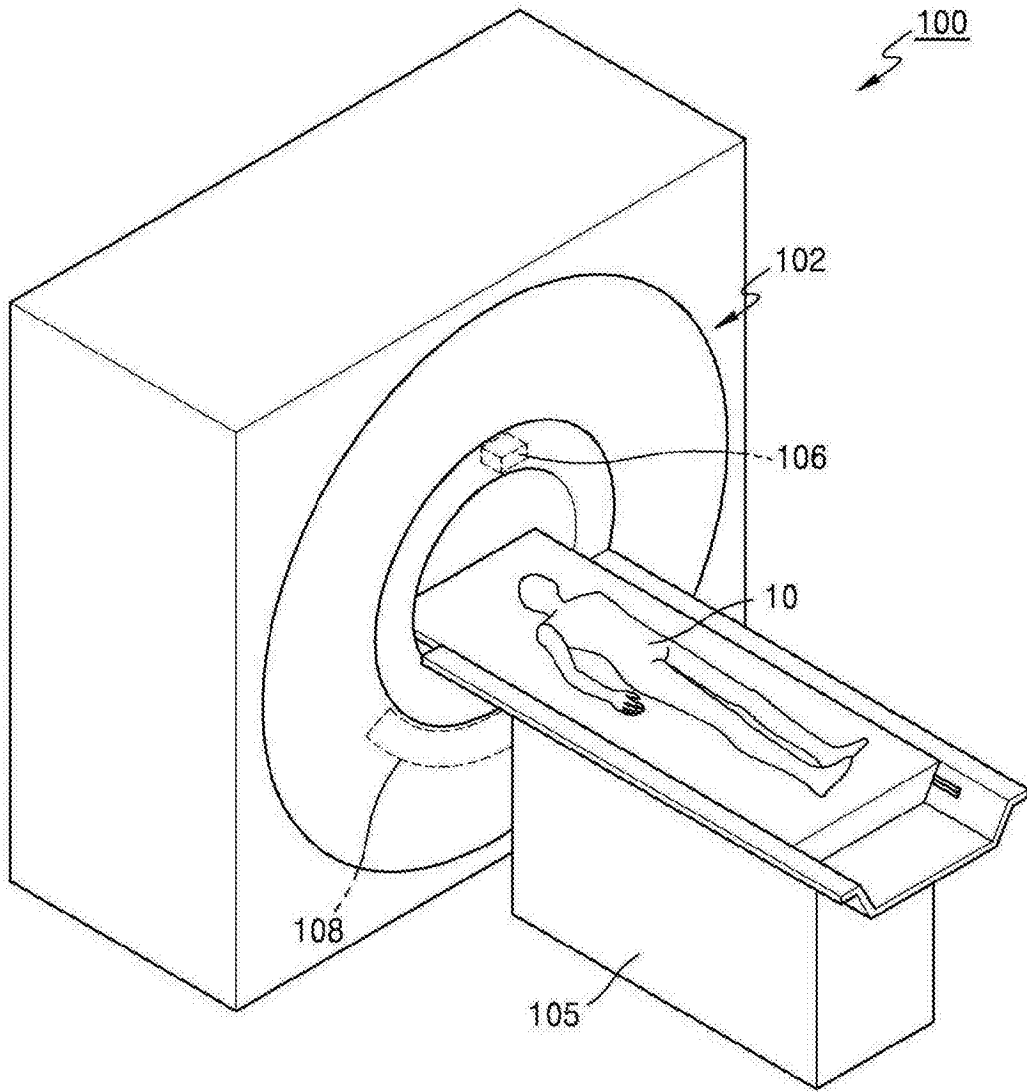


图1

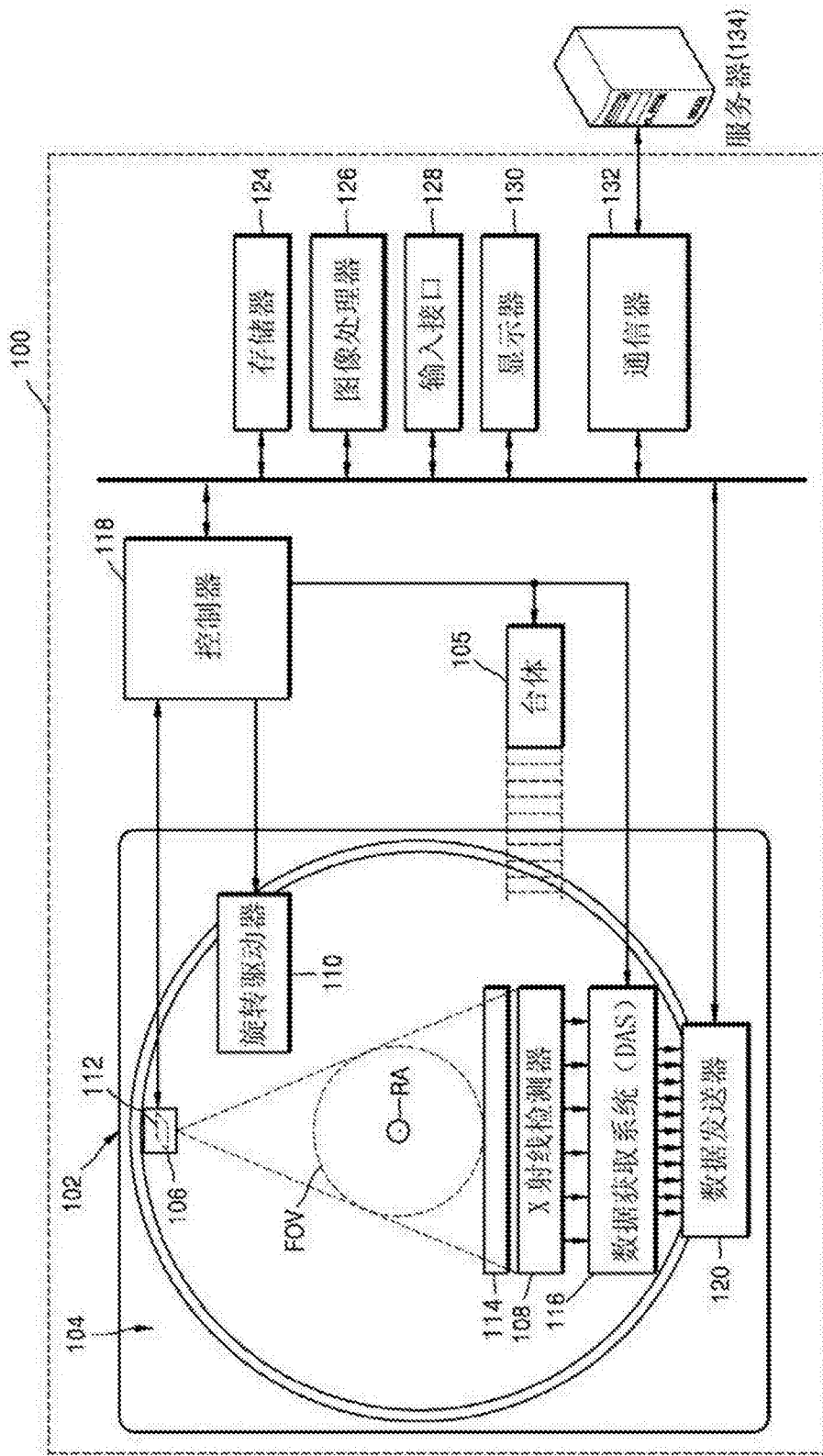


图2

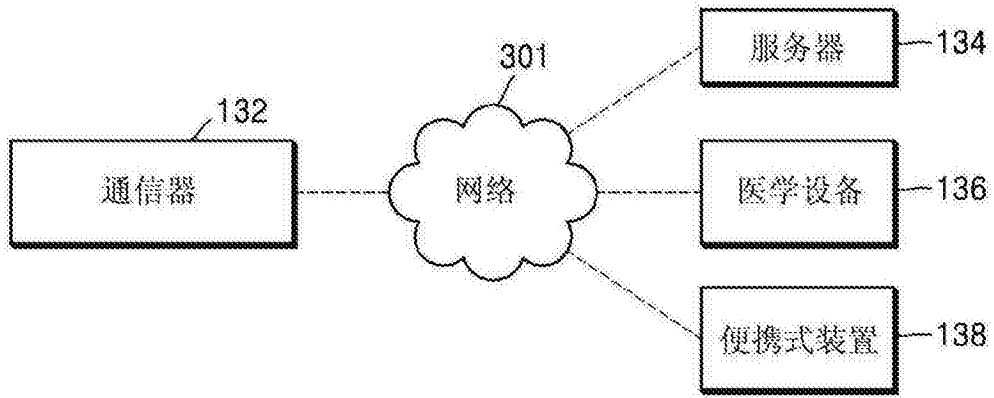


图3

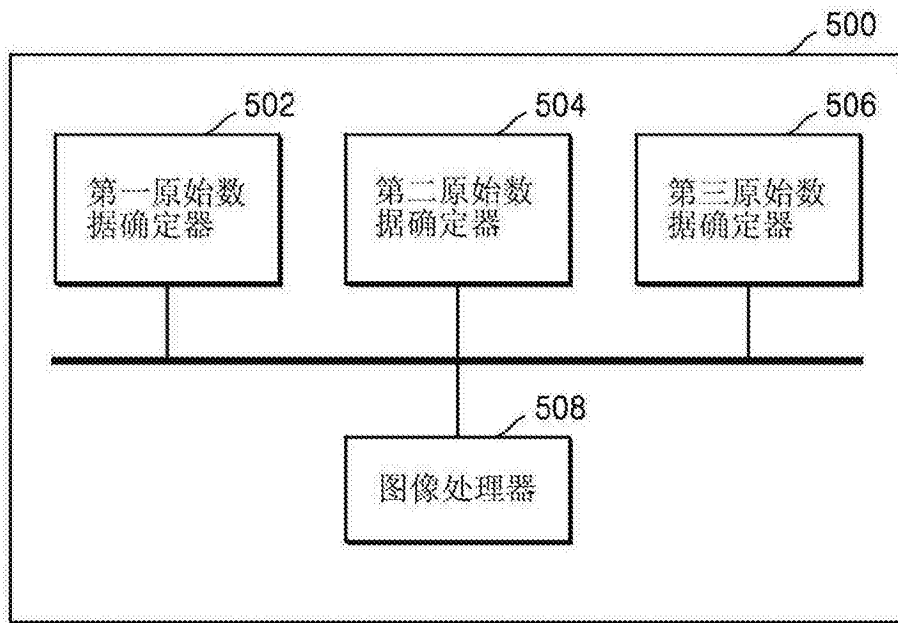


图4

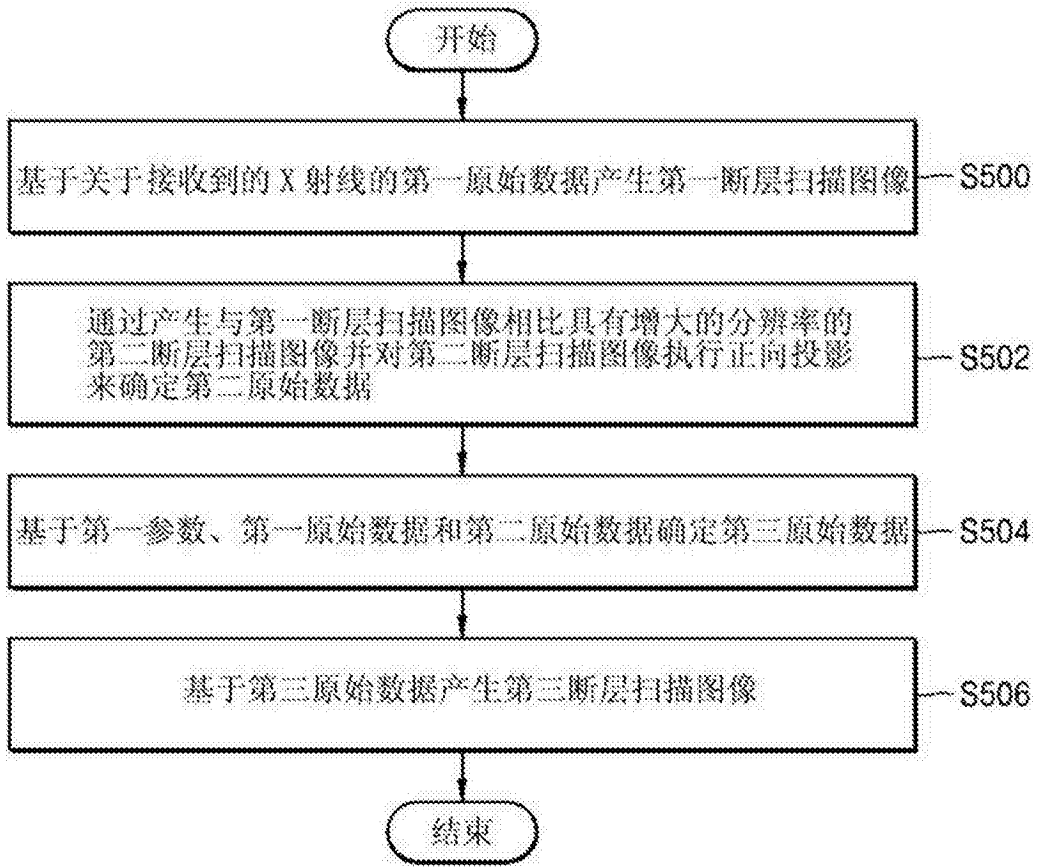


图5

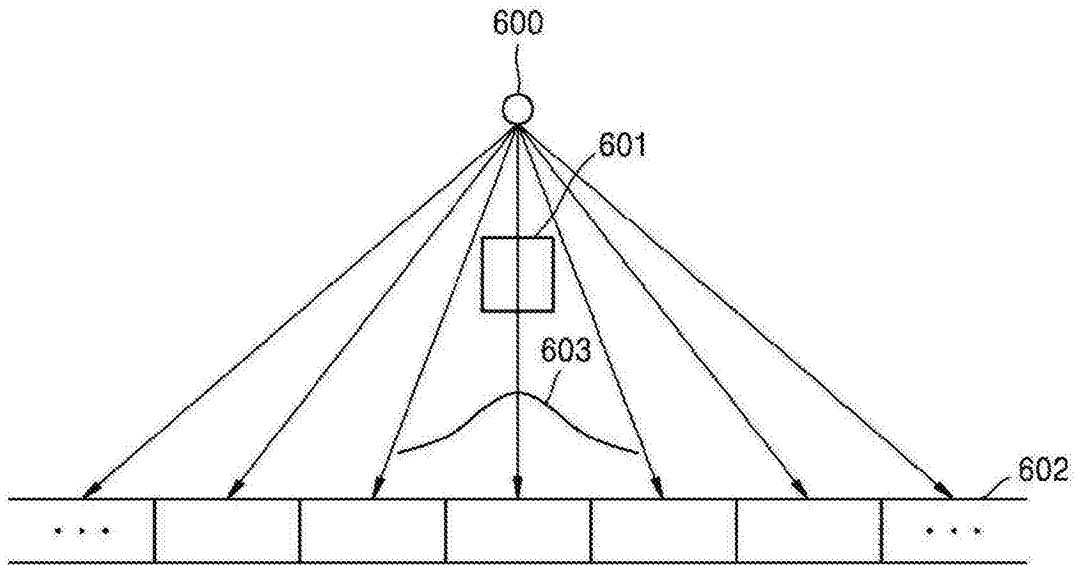


图6

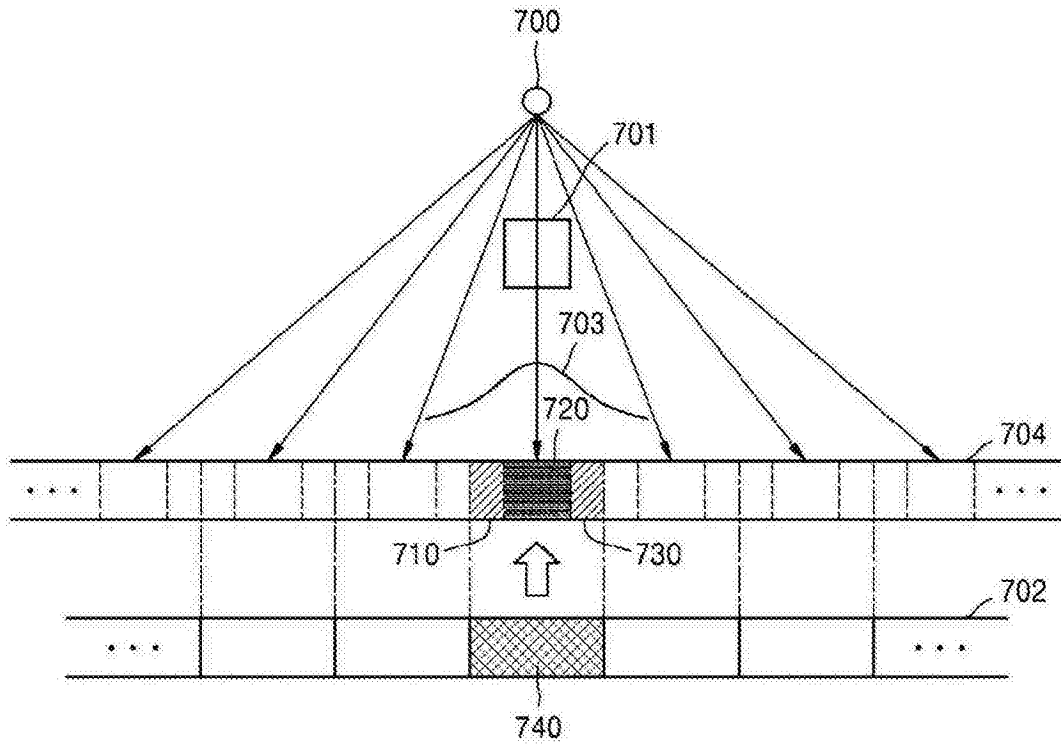


图7

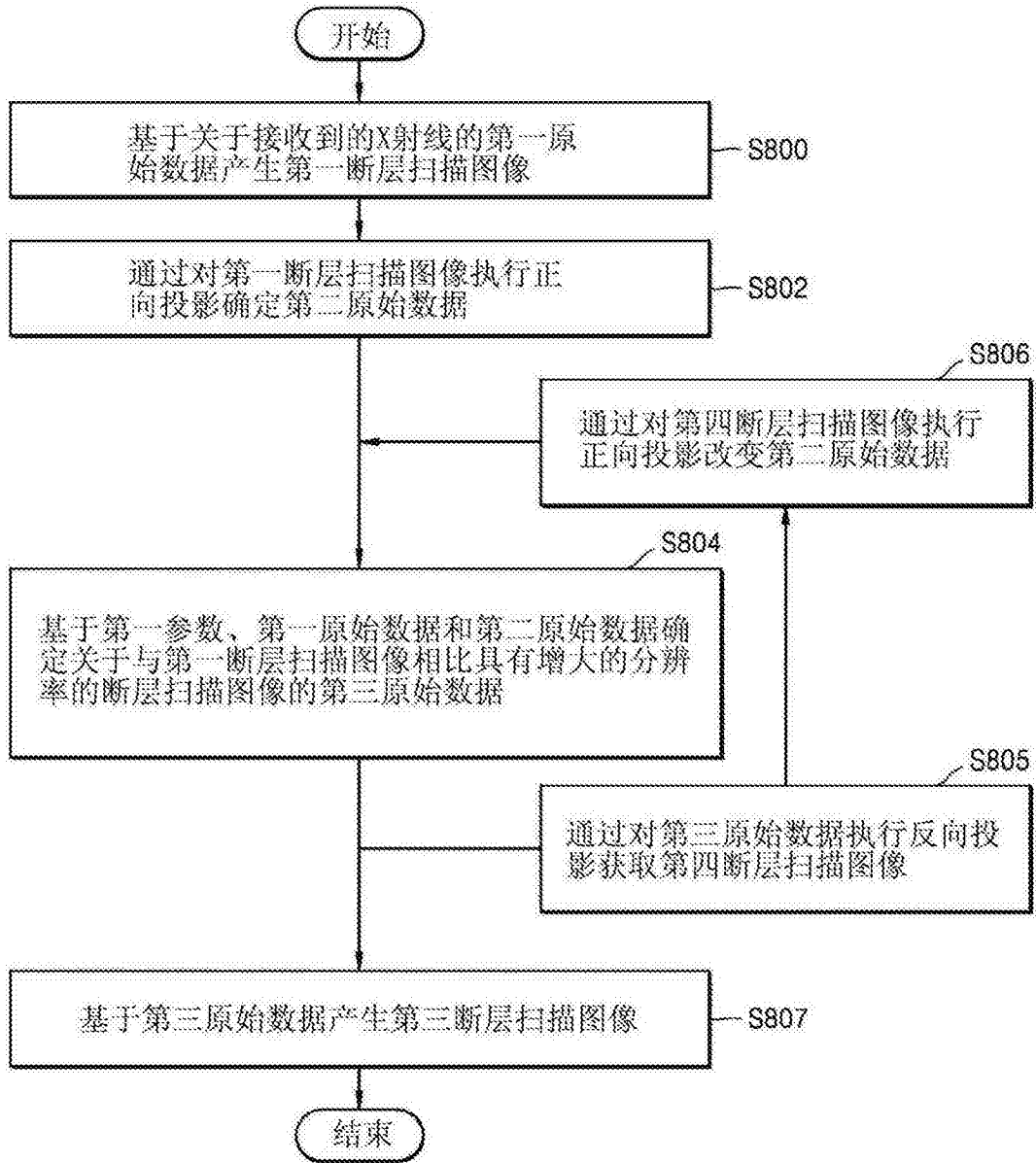


图8

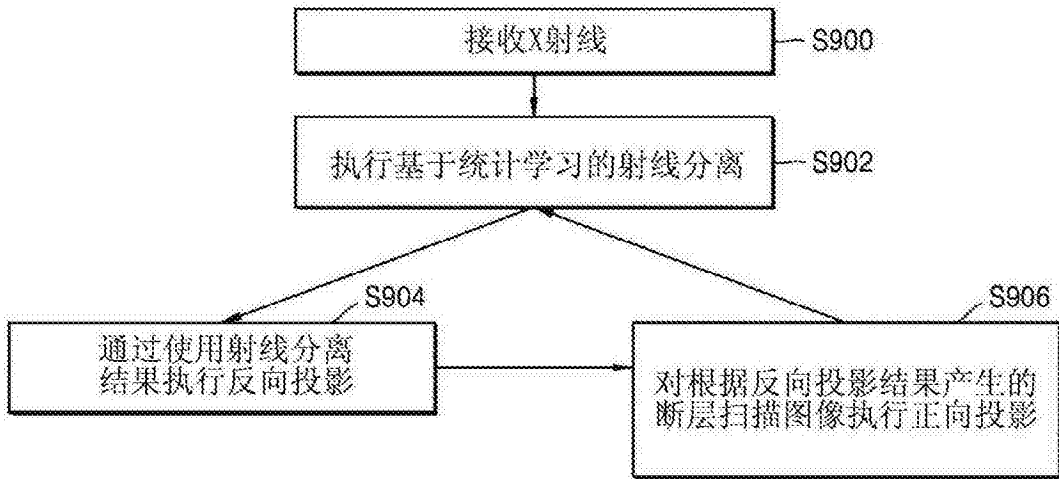


图9

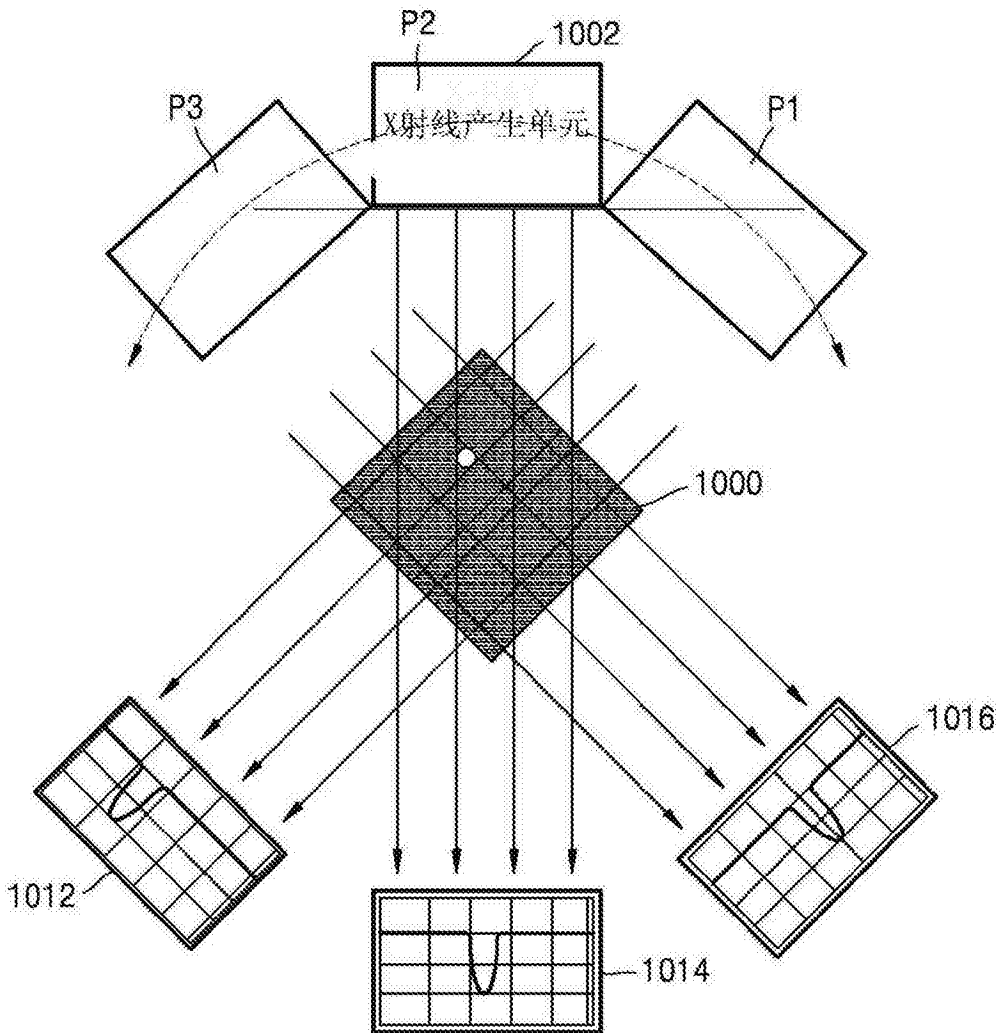


图10a

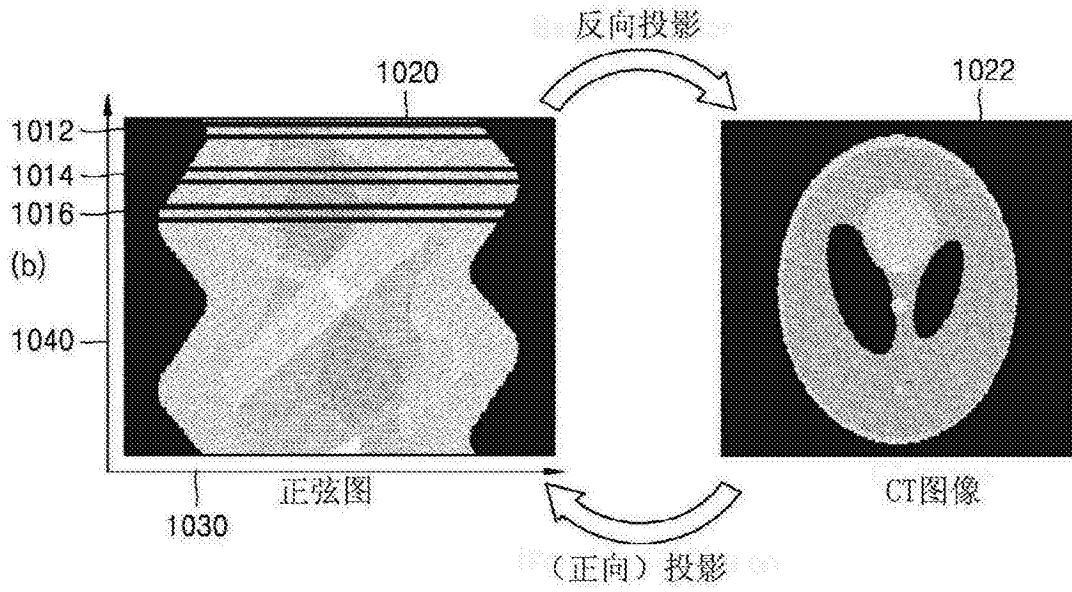


图10b

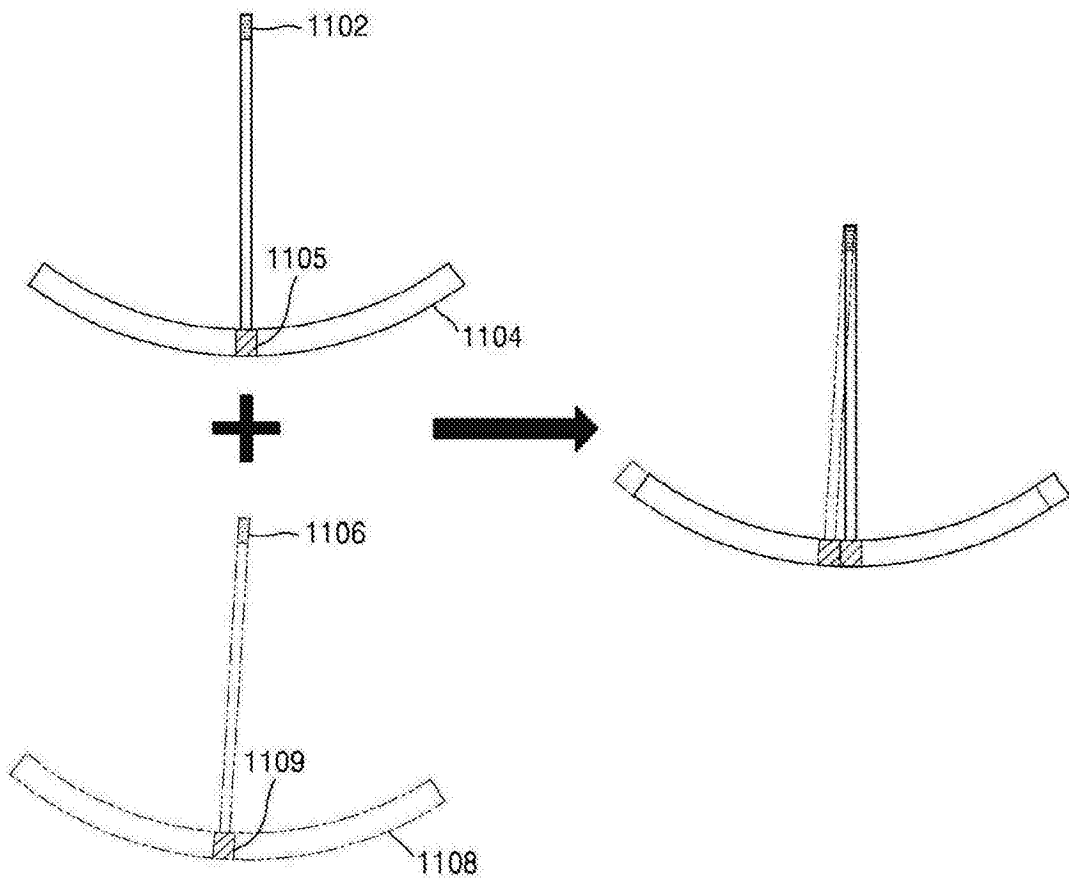


图11

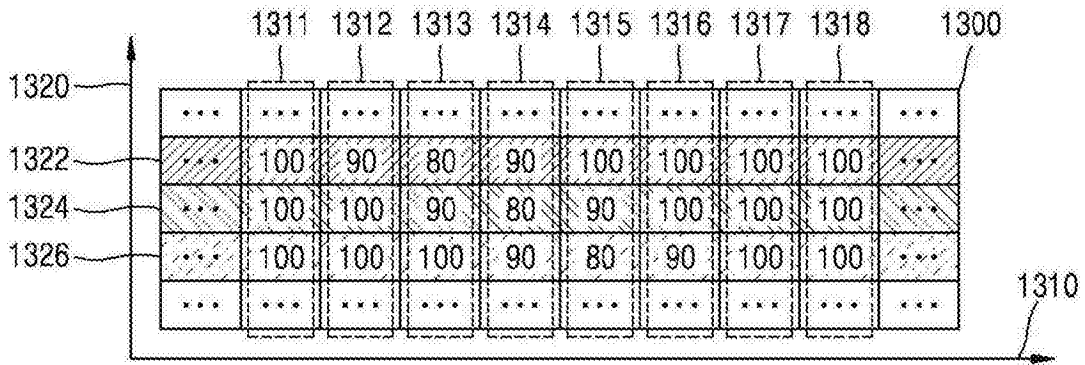


图13a

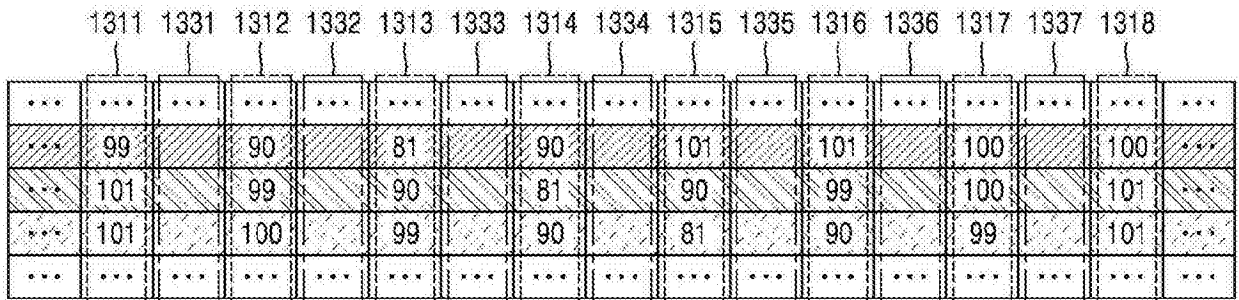


图13b

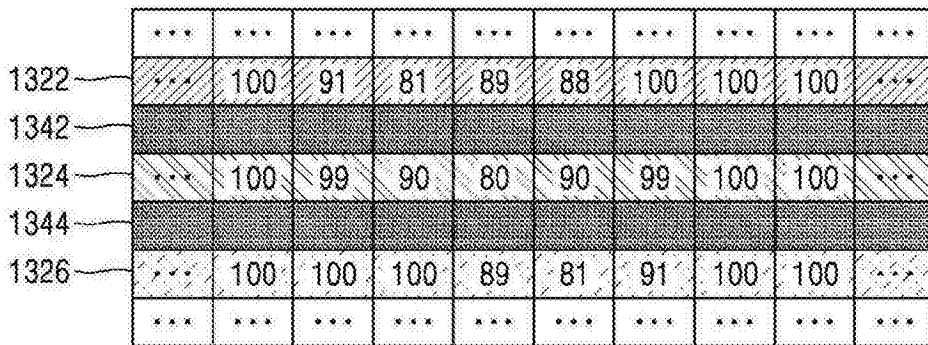


图13c