



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102655810 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 02

(21) 申请号 201080057105. 0

(22) 申请日 2010. 12. 10

(30) 优先权数据

09179186. 3 2009. 12. 15 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 06. 15

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2010/055712 2010. 12. 10

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/073863 EN 2011. 06. 23

(73) 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 T·克勒 R·普罗克绍 E·勒斯尔

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 王英 刘炳胜

(51) Int. Cl.

A61B 6/03(2006. 01)

G01N 23/04(2006. 01)

G06T 11/00(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2004-321587 A, 2004. 11. 18,

CN 1705455 A, 2005. 12. 07,

JP 特开 2003-339693 A, 2003. 12. 02,

CN 1942141 A, 2007. 04. 04,

JP 特开 2004-321587 A, 2004. 11. 18,

审查员 宋光

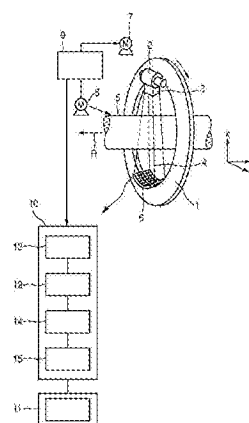
权利要求书3页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

计算机断层摄影装置

(57) 摘要

本发明涉及用于对对象进行成像的计算机断层摄影装置。该计算机断层摄影装置包括用于生成贯穿对象的经调制辐射(4)的辐射源(2)以及用于在辐射源(2)与对象相对于彼此运动时生成取决于已贯穿对象后的辐射(4)的探测值的探测器(6)。权重提供单元(14)根据辐射(4)的调制提供用于对探测值进行加权的调制权重,并且重建单元(15)重建对象的图像,其中基于所提供的调制权重对探测值加权并且从经加权的探测值重建对象的图像。这能够允许通过相应地调制辐射来优化对对象的剂量施加,其中重建图像仍然具有高质量。



1. 一种用于对对象进行成像的计算机断层摄影装置,所述计算机断层摄影装置包括:
 - 成像区域 (5),用于接收将被成像的所述对象;
 - 辐射源 (2),用于生成贯穿所述成像区域 (5) 中的所述对象的经调制辐射 (4);
 - 探测器 (6),用于生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射 (4) 的探测值;
 - 运动单元 (1, 7, 8),用于在生成所述探测值的同时使所述辐射源 (2) 与所述对象相对于彼此运动,以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射 (4) 的探测值;
 - 权重提供单元 (14),用于根据所述辐射 (4) 的调制提供用于对所述探测值进行加权的调制权重,其中,所述权重提供单元 (14) 还适于确定探测值的噪声方差并且根据逆噪声方差为所述探测值提供所述调制权重;
 - 重建单元 (15),用于重建所述对象的图像,其中,所述重建单元 (15) 适于基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权并且从经加权的探测值重建所述对象的所述图像。
2. 如权利要求 1 所述的计算机断层摄影装置,其中,所述计算机断层摄影装置包括所述对象要位于其上的对象台,其中,所述运动单元 (1, 7, 8) 适于围绕所述对象台旋转所述辐射源 (2),且其中,所述辐射源 (2) 适于使得所述辐射 (4) 的强度在所述对象台上方比在所述对象台下方低。
3. 如权利要求 1 所述的计算机断层摄影装置,其中,所述辐射源 (2) 适于调制所生成的辐射的强度,其中,所述权重提供单元 (14) 适于根据所生成的辐射的经调制的强度确定探测值的调制权重。
4. 如权利要求 1 所述的计算机断层摄影装置,其中,所述辐射源 (2) 适于生成所述经调制辐射 (4) 以使得所述经调制辐射 (4) 是锥形的,且其中,所述权重提供单元 (14) 还适于根据相应探测值所取决于的所述辐射 (4) 的锥角提供用于对所述探测值进行加权的锥权重。
5. 如权利要求 1 所述的计算机断层摄影装置,其中,所述辐射源 (2) 适于生成所述经调制辐射 (4) 以使得所述经调制辐射是发散的,其中,所述计算机断层摄影装置还包括重分组单元 (12),用于对根据所述发散的辐射 (4) 生成的所述探测值重分组,由此形成重分组投影,其中,所述权重提供单元 (14) 适于:
 - 为重分组投影的探测值中的至少一部分确定中间调制权重,其中,所述中间调制权重取决于所述辐射 (4) 的调制,
 - 为所述重分组投影确定平均调制权重,该平均调制权重是所述重分组投影的重分组探测值中的所述至少一部分的中间调制权重的平均值,其中,所述平均调制权重是为所述重分组投影的探测值提供的调制权重。
6. 如权利要求 5 所述的计算机断层摄影装置,其中,所述运动单元 (1, 7, 8) 适于在生成所述探测值的同时使所述辐射源 (2) 与所述成像区域 (5) 相对于彼此围绕旋转轴旋转,其中,所述重分组投影的重分组探测值中的所述至少一部分是沿着垂直于所述旋转轴的直线布置的重分组探测值。
7. 如权利要求 5 所述的计算机断层摄影装置,其中,所述计算机断层摄影装置还包括用于选择将被重建的感兴趣区域的感兴趣区域选择单元 (13),其中,所述重分组探测值中的所述至少一部分是已根据已贯穿所选择的感兴趣区域的辐射生成的所述重分组探测值中的一部分。

8. 如权利要求 7 所述的计算机断层摄影装置, 其中, 所述权重提供单元 (14) 还适于通过加权平均所述重分组探测值中的所述至少一部分的中间调制权重来确定所述平均调制权重, 其中, 所述中间调制权重在求平均过程中被加权, 从而使得取决于已更中心地贯穿所述感兴趣区域的辐射的重分组探测值的中间调制权重比取决于已更外围地贯穿所述感兴趣区域的辐射的重分组探测值的中间调制权重接收更大的权重。

9. 如权利要求 7 所述的计算机断层摄影装置, 其中, 所述权重提供单元 (14) 还适于通过加权平均所述重分组探测值中的所述至少一部分的中间调制权重来确定所述平均调制权重, 其中, 所述中间调制权重在求平均过程中根据所述感兴趣区域与相应重分组探测值所取决于的辐射的交叉区域的大小而被加权。

10. 一种用于生成对象的图像的成像装置, 所述成像装置适于处理由采集单元生成的探测值, 该采集单元包括:

- 成像区域 (5), 用于接收将被成像的所述对象,
- 辐射源 (2), 用于生成贯穿所述成像区域 (5) 中的所述对象的经调制辐射 (4),
- 探测器 (6), 用于生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射 (4) 的探测值,
- 运动单元 (1, 7, 8), 用于在生成所述探测值的同时使所述辐射源 (2) 与所述对象相对于彼此运动, 以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射 (4) 的探测值,

其中, 所述成像装置 (10) 包括:

- 权重提供单元 (14), 用于根据所述辐射 (4) 的调制提供用于对所述探测值进行加权的调制权重, 其中, 所述权重提供单元 (14) 还适于确定探测值的噪声方差并且根据逆噪声方差为所述探测值提供所述调制权重,

- 重建单元 (15), 用于重建所述对象的图像, 其中, 所述重建单元 (15) 适于基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权并且从经加权的探测值重建所述对象的所述图像。

11. 一种用于对对象进行成像的计算机断层摄影方法, 所述计算机断层摄影方法包括以下步骤:

- 由辐射源 (2) 生成贯穿成像区域 (5) 中的对象的经调制辐射 (4),
- 由探测器 (6) 生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射 (4) 的探测值,
- 由运动单元 (1, 7, 8) 在生成所述探测值的同时使所述辐射源 (2) 与所述对象相对于彼此运动, 以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射 (4) 的探测值,
- 由权重提供单元 (14) 根据所述辐射 (4) 的调制为所述探测值提供权重, 其中, 还由所述权重提供单元 (14) 确定探测值的噪声方差并且根据逆噪声方差为所述探测值提供所述调制权重,

- 由重建单元 (15) 基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权,
- 由所述重建单元 (15) 从经加权的探测值重建所述对象的图像。

12. 一种用于生成对象的图像的成像方法, 所述成像方法适于处理由采集单元生成的探测值, 该采集单元包括:

- 成像区域 (5), 用于接收将被成像的所述对象,
- 辐射源 (2), 用于生成贯穿所述成像区域 (5) 中的所述对象的经调制辐射 (4),
- 探测器 (6), 用于生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射 (4) 的探测值,
- 运动单元 (1, 7, 8), 用于在生成所述探测值的同时使所述辐射源 (2) 与所述对象相对

于彼此运动,以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射(4)的探测值,

其中,所述成像方法包括以下步骤:

- 由权重提供单元(14)根据所述辐射(4)的调制为所述探测值提供权重,其中,还由所述权重提供单元(14)确定探测值的噪声方差并且根据逆噪声方差为所述探测值提供所述调制权重,

- 由重建单元(15)基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权,

- 由所述重建单元(15)从经加权的探测值重建所述对象的所述图像。

13. 一种用于对对象进行成像的计算机断层摄影装置,所述计算机断层摄影装置包括:

- 用于由辐射源(2)生成贯穿成像区域(5)中的对象的经调制辐射(4)的模块,

- 用于由探测器(6)生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射(4)的探测值的模块,

- 用于由运动单元(1, 7, 8)在生成所述探测值的同时使所述辐射源(2)与所述对象相对于彼此运动,以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射(4)的探测值的模块,

- 用于由权重提供单元(14)根据所述辐射(4)的调制为所述探测值提供权重,并且还由所述权重提供单元(14)确定探测值的噪声方差并且根据逆噪声方差为所述探测值提供所述调制权重的模块,

- 用于由重建单元(15)基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权的模块,

- 用于由所述重建单元(15)从经加权的探测值重建所述对象的图像的模块。

14. 一种用于生成对象的图像的成像装置,所述成像装置适于处理由采集单元生成的探测值,所述采集单元包括:

- 成像区域(5),用于接收将被成像的所述对象,

- 辐射源(2),用于生成贯穿所述成像区域(5)中的所述对象的经调制辐射(4),

- 探测器(6),用于生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射(4)的探测值,

- 运动单元(1, 7, 8),用于在生成所述探测值的同时使所述辐射源(2)与所述对象相对于彼此运动,以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射(4)的探测值,

其中,所述成像装置包括:

- 用于由权重提供单元(14)根据所述辐射(4)的调制为所述探测值提供权重,并且还由所述权重提供单元(14)确定探测值的噪声方差并且根据逆噪声方差为所述探测值提供所述调制权重的模块,

- 用于由重建单元(15)基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权的模块,

- 用于由所述重建单元(15)从经加权的探测值重建所述对象的所述图像的模块。

计算机断层摄影装置

技术领域

[0001] 本发明涉及用于对对象进行成像的计算机断层摄影装置、计算机断层摄影方法和计算机断层摄影计算机程序。本发明还涉及用于生成对象的图像的成像装置、成像方法和成像计算机程序。

背景技术

[0002] US 2009/0252286A1 公开了一种计算机断层摄影装置,其包括X射线管和X射线探测器,X射线管和X射线探测器可围绕人旋转以便在不同轴向位置——即在沿着人的纵轴的不同位置处生成断层摄影图像。管电流——即用于生成各个断层摄影图像的X射线强度可能在断层摄影图像之间变化,其中该计算机断层摄影装置适于提供示出取决于轴向位置的管电流的图表。

[0003] US 2004/0076265A1 公开了一种用于重建锥形或楔形射束投影数据的计算机断层摄影装置。该计算机断层摄影装置包括用于基于锥形或楔形投影数据在探测器孔中的位置和角取向中的至少一个对锥形或楔形投影数据加权的加权模块以及用于重建经加权的投影数据以形成体积图像表示的重建模块。

[0004] US 2007/0147579A1 公开了一种计算机断层摄影装置,其包括用于生成贯穿成像区域的X射线的X射线源。该计算机断层摄影装置还包括用于生成取决于已贯穿成像区域后的X射线的探测值的探测器。该X射线源围绕成像区域旋转以便允许X射线在不同方向贯穿成像区域。根据时间调制X射线的强度,使得以提供具有期望噪声方差的图像所需的最小剂量照射敏感器官,诸如人的眼睛。这减少了施加到人的整体剂量,特别是施加到敏感器官的剂量。

[0005] 然而,X射线的根据时间的变化的强度导致图像伪影,由此降低了重建图像的质量。

发明内容

[0006] 本发明的一个目标是提供用于对对象进行成像的计算机断层摄影装置、计算机断层摄影方法和计算机断层摄影计算机程序,其允许改善从已根据经调制辐射生成的探测值重建的重建图像的质量。本发明的另一目标是提供用于生成对象的图像的对应的成像装置、成像方法和成像计算机程序。

[0007] 在本发明的第一方面,提出了一种用于对对象进行成像的计算机断层摄影装置,其中,所述计算机断层摄影装置包括:

- [0008] - 成像区域,用于接收将被成像的所述对象;
- [0009] - 辐射源,用于生成贯穿所述成像区域中的所述对象的经调制辐射;
- [0010] - 探测器,用于生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射的探测值;
- [0011] - 运动单元,用于在生成所述探测值的同时使所述辐射源与所述对象相对于彼此运动,以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射的探测值;

[0012] - 权重提供单元,用于根据所述辐射的调制提供用于对所述探测值进行加权的调制权重,

[0013] - 重建单元,用于重建所述对象的图像,其中,所述重建单元适于基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权并且从经加权的探测值重建所述对象的所述图像。

[0014] 由于权重提供单元根据辐射的调制为探测值提供调制权重并且由于重建单元基于所提供的调制权重对探测值进行加权,所以能够以简单的方式根据辐射的调制处理探测值。调制权重可以适于使得从经加权的探测值重建的图像中的图像伪影被减少。例如,通过解析方式或通过校准测量,可以确定取决于经调制辐射的哪个调制权重导致图像伪影的减少,其中相应地,经加权的探测值可以被用于重建具有减少的图像伪影的图像。特别地,成像区域、辐射源和运动单元可以适于调制辐射以使得施加到对象的更辐射敏感区域的剂量与施加到对象的较不辐射敏感区域的剂量相比被减少。在现有技术中,这种剂量调制导致图像伪影。但是,权重提供单元和重建单元可以说明经调制辐射从而使得图像伪影被减少。该计算机断层摄影装置因此可以允许通过相应地调制辐射来优化对对象的剂量施加并且同时通过根据辐射的调制为探测值提供权重来改善重建图像的质量。

[0015] 辐射源优选是 X 射线源。但是,辐射源还可以适于生成另一种辐射,如在另一波长范围内的电磁辐射、超声辐射、核辐射辐射等。

[0016] 对象优选是人,即要被成像的对象例如是整个人或人的部分,如人的器官。对象也可以是动物或动物的一部分或技术对象。

[0017] 运动单元优选适于围绕成像区域旋转辐射源,同时生成探测值。与此同时,对象放置于其上的对象台可以沿着辐射源相对于成像区域的旋转运动的旋转轴线性运动,以便使辐射源与对象相对于彼此沿着螺旋路径运动。如果对象台不运动,辐射源与对象相对于彼此沿着圆形路径运动。也有可能的是辐射源不运动,而是仅对象运动。

[0018] 权重提供单元可以适于根据辐射的调制确定特别是计算调制权重,或者权重提供单元可以包括存储单元,用于以表格或函数形式存储调制权重与辐射强度之间的分配,其中这些分配可以被用于提供调制权重。

[0019] 重建单元优选适于基于所提供的调制权重对探测值进行加权并且通过使用反向投影技术从经加权的探测值重建成像区域的图像,即位于成像区域内的对象的图像。但是,重建单元也可以适于使用另一重建技术——例如基于 Radon 逆变换的重建技术重建成像区域的图像。

[0020] 还优选的是该计算机断层摄影装置包括对象要位于其上的对象台,其中运动单元适于围绕对象台旋转辐射源,且其中辐射源适于使得辐射的强度在对象台上方比在对象台下方低。因此如果辐射源直接照射对象则辐射强度被减小,且如果通过对象台间接照射对象则辐射强度被增大。这也可以导致施加到对象的减少的剂量。

[0021] 辐射源优选是 X 射线管且辐射源的强度优选通过调制 X 射线管的管电流而被调制。

[0022] 还优选的是权重提供单元适于确定探测值的噪声方差并且根据逆噪声方差(inverse noise variance)为探测值提供调制权重。因此,在针对全部或部分探测值的实施例,确定噪声方差并根据所确定的相应逆噪声方差提供探测值的调制权重。根据噪声方差利用这些调制权重对探测值进行的这种加权能够改善重建图像的噪声特性。特别地,

可以通过利用逆噪声方差对探测值进行加权来使重建图像内的噪声更均匀地分布或使其减少。探测值的噪声方差优选是探测值的估计方差,其中该估计优选基于 Poisson 模型。

[0023] 还优选的是辐射源适于调制所生成辐射的强度,其中权重提供单元适于根据所生成的辐射的经调制的强度来确定探测值的调制权重。这也能够改善重建图像的噪声特性,特别是使噪声更均匀地分布和 / 或减少重建图像的噪声。优选地,权重提供单元适于提供与所生成的辐射的经调制的强度成比例的调制权重。

[0024] 还优选的是辐射源、探测器和运动单元适于探测相对于成像区域的同一区来说冗余的冗余探测值,其中为了重建成像区域的同一区,重建单元适于:

[0025] - 归一化为冗余探测值提供的调制权重,

[0026] - 用归一化的调制权重对冗余探测值进行加权,

[0027] - 从经加权的冗余探测值重建成像区域的同一区。在优选实施例中,重建单元适于归一化为相对于对象的同一区来说冗余的冗余探测值提供的调制权重,以使得这些调制权重的和为 1。通过使用冗余探测值可以改善重建图像的信噪比,其中相应调制权重的归一化可以确保冗余度不生成图像伪影。对象的区是例如成像区域中的对象的体素或一组体素。

[0028] 冗余探测值是在相应探测值所取决于的辐射已在可能不同的方向沿着相同或类似路径行进通过对象的同时已在不同时间生成的探测值。

[0029] 还优选的是辐射源适于生成经调制辐射以使得经调制辐射是锥形的,其中权重提供单元还适于根据相应探测值所取决于的辐射的锥角提供用于对探测值进行加权的锥权重。优选地,属于较大锥角的探测值比属于较小锥角的探测值接收较小的锥权重。由于属于较大锥角的探测值通常比属于较小锥角的探测值导致更显著的锥束伪影,通过为具有较小锥角的探测值比具有较大锥角的探测值提供更大的锥权重,可以减少锥束伪影。

[0030] 相应探测值所取决于的辐射束的锥角是由辐射束与垂直于计算机断层摄影装置的旋转轴的平面之间的角度定义的。锥角也可以被视为孔径。

[0031] 相对于对象的同一区来说冗余的冗余探测值的锥权重也优选如上参考调制权重所述地被归一化。

[0032] 还优选的是权重提供单元根据锥角为探测值提供锥权重以使得探测值的锥权重随着增大的锥角连续且单调地接近零。这能够避免作为时间的函数的锥权重的非连续性,由此抑制运动伪影。例如,特别地,如果探测值是冗余探测值并且如果对应的锥权重被归一化,则这一锥加权函数确保投影对重建结果的贡献随着投影体素位置接近探测器板的边界而连续地淡出。如果一体素的所有冗余探测值的锥权重的和被强制为 1,则这种连续淡出对应于冗余探测值的连续渐入。这样就确保了探测值的加权也是时间的连续函数,因为投影体素位置连续取决于投影角度并因此取决于时间。通过避免作为时间的函数的锥权重的非连续性,运动伪影被抑制。

[0033] 单调地接近零意味着锥权重是恒定的或随着锥角增大而减小,但是它们不随着锥角增大而增大。

[0034] 图像的体素优选是图像的三维图像元素,其中图像包括多个体素。

[0035] 投影优选被定义为一组探测值,该组探测值已在辐射源被布置在同一位置的同时被在同一时间采集。

[0036] 还优选的是辐射源适于生成经调制辐射以使得经调制辐射是发散的,其中计算机

断层摄影装置还包括重分组单元,用于对根据发散的辐射生成的探测值重分组,由此形成重分组投影,其中权重提供单元适于:

[0037] - 为重分组投影的探测值中的至少一部分确定中间调制权重,其中所述中间调制权重取决于辐射的调制,

[0038] - 为重分组投影确定平均调制权重,该平均调制权重是重分组投影的重分组探测值中的所述至少一部分的中间调制权重的平均值,其中平均调制权重是为重分组投影的探测值提供的调制权重。发散的辐射优选是锥形辐射。平均调制权重可以是重分组投影的所有重分组探测值或重分组投影的仅一部分重分组探测值的中间调制权重的平均值。该重分组减少了进一步处理探测值——例如从探测值重建对象的图像的计算成本。

[0039] 在重分组过程中,所采集的探测值被重新分类,或者换言之被重新成组。探测值的自然成组与探测系统相一致,即利用二维探测器在同一时间采集的所有探测值被一起成组。这一组通常被称为投影。然而,为了重建,更方便的是形成不同的探测值组。特别地,方便的是 a) 将投影中平行的所有探测值置于垂直于计算机断层摄影装置的旋转轴的 xy 平面上,并且 b) 将彼此分开不大于与扫描架旋转相当的一个扇角的所有探测值置于一个组中。这一组被称为楔或重分组投影。

[0040] 还优选的是运动单元适于在生成探测值的同时使辐射源与成像区域相对于彼此围绕旋转轴旋转,其中重分组投影的重分组探测值中的至少一部分是沿着垂直于旋转轴的直线布置的重分组探测值。由于仅有沿着垂直于旋转轴的直线布置的重分组探测值的调制权重被用于确定平均调制权重并且由于不是重分组投影的所有重分组探测值的中间调制权重被用于生成平均调制权重,生成平均调制权重的计算成本被降低。

[0041] 在优选实施例中,重分组投影的重分组探测值可以被视为是由具有探测器元件的探测器列和探测器行的虚拟重分组探测器探测的。优选地,为沿着单一探测器行布置的重分组探测值确定平均调制权重,其优选被分配给相应重分组投影的每个重分组探测值作为调制权重。探测器行的重分组探测值优选沿着垂直于旋转轴的直线布置。

[0042] 在重分组探测器中,使用两个坐标来识别探测值。这些坐标对应于重分组探测器的列和行。探测器列的坐标轴优选平行于计算机断层摄影装置的旋转轴。每个探测器列的原点位于与零度锥角相关的位置处。探测器行的坐标轴垂直于其他轴并且在旋转轴被投影到的地方具有其原点。

[0043] 还优选的是计算机断层摄影装置还包括用于选择将要重建的感兴趣区域的感兴趣区域选择单元,其中重分组探测值中的至少一部分是已根据已贯穿所选择的感兴趣区域的辐射生成的重分组探测值中的一部分。这确保了针对通过求平均进行的调制权重计算,仅考虑重建所选择的感兴趣区域的期望图像实际需要的探测值,由此进一步降低计算成本。

[0044] 优选地,通过对重分组探测器的重分组探测值的中间调制权重求平均来确定平均调制权重,其仅由已贯穿所选择的感兴趣区域的辐射生成。

[0045] 优选地,权重提供单元还适于通过加权平均重分组探测值中的至少一部分的中间调制权重来确定平均调制权重,其中中间调制权重在求平均过程中被加权,从而使得取决于已更中心地贯穿感兴趣区域的辐射的重分组探测值的中间调制权重比取决于已更外围地贯穿感兴趣区域的辐射的重分组探测值的中间调制权重接收更大的权重。这说明了以下

事实,即在图像重建过程中更中心的射线比外围射线被使用得更频繁。这进一步改善了重建图像的质量。

[0046] 还优选的是权重提供单元适于通过加权平均重分组探测值中的至少一部分的中间调制权重来确定平均调制权重,其中中间调制权重在求平均过程中根据感兴趣区域与相应重分组探测值所取决于的辐射的交叉区域的大小而被加权。用于后续重建的射线的重要性与交叉区域的大小相关。因此,通过根据交叉区域的大小对中间调制权重进行加权,可以考虑感兴趣区域内的相应射线的重要性,即相应探测值的重要性。将一个平均调制权重分配给重分组投影简化了重建单元中权重的使用。然而,潜在的剂量节省可能被降低,因为利用平均权重而非独立优化的权重来对每个探测值进行加权。优选的经加权的平均权重的计算考虑到:为了重建感兴趣区域,一些探测值——即最中心的探测值比其他探测值使用得更频繁。在这一意义上,这些探测值更重要。利用更高的权重对更重要探测值的中间调制权重进行加权意味着由于使用平均调制权重而导致的降低的剂量节省被最小化。

[0047] 如果辐射被视为一维射线,则交叉区域是表示感兴趣区域内的该射线的直线,且交叉区域的大小是该直线的长度。

[0048] 在本发明的另一方面,提出了一种用于生成对象的图像的成像装置,其中所述成像装置适于处理由采集单元生成的探测值,该采集单元包括:

[0049] - 成像区域,用于接收将被成像的所述对象,

[0050] - 辐射源,用于生成贯穿所述成像区域中的所述对象的经调制辐射,

[0051] - 探测器,用于生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射的探测值,

[0052] - 运动单元,用于在生成所述探测值的同时使所述辐射源与所述对象相对于彼此运动,以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射的探测值,

[0053] 其中,所述成像装置包括:

[0054] - 权重提供单元,用于根据所述辐射的调制提供用于对所述探测值进行加权的调制权重,

[0055] - 重建单元,用于重建所述对象的图像,其中,所述重建单元适于基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权并且从经加权的探测值重建所述对象的所述图像。

[0056] 在本发明的另一方面,提出了一种用于对对象进行成像的计算机断层摄影方法,其中所述计算机断层摄影方法包括以下步骤:

[0057] - 由辐射源生成贯穿成像区域中的对象的经调制辐射,

[0058] - 由探测器生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射的探测值,

[0059] - 由运动单元在生成所述探测值的同时使所述辐射源与所述对象相对于彼此运动,以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射的探测值,

[0060] - 由权重提供单元根据所述辐射的调制为所述探测值提供权重,

[0061] - 由重建单元基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权,

[0062] - 由所述重建单元从经加权的探测值重建所述对象的图像。

[0063] 在本发明的另一方面,提出了一种用于生成对象的图像的成像方法,其中所述成像方法适于处理由采集单元生成的探测值,该采集单元包括:

[0064] - 成像区域,用于接收将被成像的所述对象,

[0065] - 辐射源,用于生成贯穿所述成像区域中的所述对象的经调制辐射,

- [0066] - 探测器,用于生成取决于已贯穿所述对象后的所述辐射的探测值,
- [0067] - 运动单元,用于在生成所述探测值的同时使所述辐射源与所述对象相对于彼此运动,以便生成取决于在不同方向已贯穿所述对象的辐射的探测值,
- [0068] 其中,所述成像方法包括以下步骤:
- [0069] - 由权重提供单元根据所述辐射的调制为所述探测值提供权重,
- [0070] - 由重建单元基于所提供的调制权重对所述探测值进行加权,
- [0071] - 由所述重建单元从经加权的探测值重建所述对象的所述图像。
- [0072] 在本发明的另一方面,一种计算机断层摄影计算机程序包括程序代码段,所述程序代码段用于当所述计算机断层摄影计算机程序在控制如权利要求 1 所述的计算机断层摄影装置的计算机上运行时使所述计算机断层摄影装置执行如权利要求 12 所述的计算机断层摄影方法的步骤。
- [0073] 在本发明的另一方面,一种成像计算机程序包括程序代码段,所述程序代码段用于当所述成像计算机程序在控制如权利要求 11 所述的成像装置的计算机上运行时使所述成像装置执行如权利要求 13 所述的成像方法的步骤。
- [0074] 应该理解如权利要求 1 所述的计算机断层摄影装置、如权利要求 11 所述的成像装置、如权利要求 12 所述的计算机断层摄影方法、如权利要求 13 所述的成像方法、如权利要求 14 所述的计算机断层摄影计算机程序和如权利要求 15 所述的成像计算机程序具有类似和 / 或相同的如从属权利要求所限定的优选实施例。
- [0075] 应该理解本发明的优选实施例也可以是从属权利要求与相应独立权利要求的任何组合。
- [0076] 通过参考下面描述的实施例,本发明的这些及其他方面将变得明显且得以阐明。

附图说明

- [0077] 在以下附图中:
- [0078] 图 1 示意性且示例性示出计算机断层摄影装置;
- [0079] 图 2 至图 5 示意性且示例性示出在所采集的探测值已被重分组后的扩展虚拟辐射源和对应的虚拟探测器;并且
- [0080] 图 6 示出示例性图示说明计算机断层摄影方法的流程图。

具体实施方式

[0081] 图 1 示意性且示例性示出了一种计算机断层摄影装置,其包括能够围绕平行于 z 轴延伸的旋转轴 R 旋转的扫描架 1。在该实施例中为 X 射线管的辐射源 2 被安装在扫描架 1 上。辐射源 2 设有准直器 3,其从由辐射源 2 生成的辐射形成锥形辐射束 4。该辐射贯穿在成像区域 5 中的诸如患者的对象(未示出),在该实施例中该成像区域是圆柱形的。在已贯穿成像区域 5 后,锥形辐射束 4 入射在包括二维探测表面的探测器 6 上。探测器 6 被安装在扫描架 1 上。

[0082] 该计算机断层摄影装置包括两个马达 7、8。扫描架 1 被马达 7 以优选恒定但可调的角速度驱动。马达 8 被提供用于移置对象,例如患者,将该对象平行于旋转轴 R 或 z 轴布置在成像区域 5 中的对象台上。这些马达 7、8 由控制单元 9 控制,例如使得辐射源 2 与对

象相对于彼此沿着螺旋轨迹运动。但是,也可能对象不运动而仅辐射源 2 旋转,即辐射源 2 相对于对象沿着圆形轨迹运动。

[0083] 扫描架 1 和马达 7、8 可以被视为用于使辐射源 2 与对象相对于彼此沿一轨迹——特别是圆形或螺旋形轨迹运动的运动单元。

[0084] 在辐射源 2 与成像区域 5 或对象的相对运动过程中,探测器 6 生成取决于入射在探测器 6 的探测表面上的辐射的探测值。移动辐射源 2 和探测器 6 以使得冗余的探测值被探测,例如移动它们以使得由沿着特定路径贯穿对象的锥形辐射束的射线的辐射生成第一探测值并且由沿着相同特定路径贯穿对象的锥形辐射束的射线生成第二探测值。对应于贯穿对象的相同或类似路径且已在不同时间采集的探测值被视为冗余探测值。

[0085] 该辐射源适于生成贯穿成像区域的经调制辐射。在该实施例中,运动单元适于围绕对象台旋转辐射源,并且辐射源适于通过相应地调制优选作为辐射源的 X 射线源的管电流使得对象台下方的辐射强度大于对象台上方的辐射强度。额外地或可替换地,可以提供对象的不同部分的图表,其中对象的不同部分具有对辐射剂量的不同敏感度,并且其中辐射的调制取决于对象的实际照射部分的辐射敏感度。例如,辐射可以被调制为使得具有较大辐射敏感度的部分接收的辐射剂量小于由对象的较不辐射敏感的另一部分接收的辐射剂量。例如,如果对象是人或动物,对辐射剂量的敏感度是非常器官特异性的。高度剂量敏感的重要器官是眼睛、甲状腺和女性乳房。这些器官位于身体表面处或附近并且因此在计算机断层摄影扫描过程中接收相对高的辐射剂量。辐射优选被调制为使得对表面器官——如眼睛的辐射剂量可以被减少,特别是通过管电流调制,即通过在辐射源直接照射该器官时降低管电流。

[0086] 在该实施例中,辐射源生成锥形辐射束,并且探测器和运动单元适于探测相对于成像区域的同一区来说冗余的冗余探测值。成像区域的区优选是成像区域中对象的体素或成像区域中对象的一组体素。在其他实施例中,辐射源可以生成具有另一射束形状——例如具有扇形的辐射。此外,探测器和运动单元可以适于仅探测非冗余探测值。

[0087] 在该实施侧中,作为投影数据的探测值被提供给成像装置 10 以从探测值生成对象的图像。成像装置 10 包括用于重分组探测值以由此形成重分组投影的重分组单元 12、用于选择将要重建的感兴趣区域的感兴趣区域选择单元 13 以及用于根据辐射的调制为探测值提供调制权重的权重提供单元 14。成像装置 10 还包括用于重建对象的图像的重建单元 15,其中重建单元 15 适于基于所提供的调制权重对探测值进行加权并且从经加权的探测值重建对象的图像。

[0088] 由重建单元 15 重建的图像被提供给显示单元 11 以便显示重建图像。

[0089] 成像装置 10 也优选由控制单元 9 控制。

[0090] 在探测值已被重分组单元 12 重分组后,由生成虚拟楔的虚拟扩展辐射源 20 形成重分组投影,该虚拟楔包括在图 2 中由参考数字 18 指示的角范围内的辐射。图 2 示意性且示例性示出在 z 轴方向上观察的感兴趣区域 16、成像区域 5 和轨迹 17。辐射源相对于对象移动所沿着的轨迹 17 优选是圆形轨迹或螺旋形轨迹。

[0091] 感兴趣区域选择单元 13 优选包括用户接口,该用户接口允许用户选择包括将要重建的对象的期望感兴趣区域,其例如为人的一部分,如人的器官。感兴趣区域选择单元 13 可以包括图形用户界面以及输入单元,如计算机鼠标或键盘,其允许用户选择期望感兴趣

区域。

[0092] 权重提供单元 14 可以适于确定探测值的噪声方差并根据逆噪声方差为探测值提供调制权重。噪声方差优选是可以通过使用 Poisson 模型估计的探测值的方差。

[0093] 令 I_0 表示朝向探测器像素发射的光子的平均数量。由于对象对射束的衰减, 平均仅 I 个光子达到探测器像素。光子的数量仍然遵循 Poisson 统计。因此, 所探测的信号 的方差是 I 。为了重建, 通过使用以下公式来估计在总衰减系数上的所谓线积分:

$$[0094] \quad m = -\log(I/I_0) \quad (1)$$

[0095] 根据方程(1)估计的线积分 m 可以被视为探测值。

[0096] 为了下面的讨论, 通过 Gaussian 误差传播来估计导出量 m 的方差:

$$[0097] \quad \delta m = \frac{\partial}{\partial I} m(I) \delta I = \frac{1}{I} \delta I \quad (2)$$

[0098] 从而得到

$$[0099] \quad \text{var}(m) = (\delta m)^2 = \left(\frac{1}{I}\right)^2 (\delta I)^2 = \left(\frac{1}{I}\right)^2 \text{var}(I) = \frac{1}{I} = \frac{1}{\text{var}(I)} \quad (3)$$

[0100] 朝向探测器像素发射的光子的平均数量是贯穿成像区域 5 之前的锥形辐射束 4 的相应部分的强度, 探测像素的相应探测值取决于锥形辐射束 4 的相应部分的强度。这一强度或光子平均数量可以通过空气扫描来确定。空气扫描是成像区域 5 中不存在对象时的探测值采集。

[0101] 权重提供单元 14 可以适于提供与逆方差成比例的调制权重 w :

$$[0102] \quad w \propto \frac{1}{\text{var}(m)} = \text{var}(I) \quad (4)$$

[0103] 强度的方差 $\text{var}(I)$ 等于强度 I 。此外, 可以假定辐射束的探测强度与该辐射束的发射调制强度 I_0 成比例且比例常数为 f 。换句话说, 可以写出:

$$[0104] \quad w \propto \text{var}(I) = I = f I_0 \quad (5)$$

[0105] 权重提供单元 14 因此可以适于根据所生成的辐射的调制强度 I_0 计算探测值的调制权重。

[0106] 在优选实施例中, 为重分组投影确定单一调制权重, 这将在下面描述。

[0107] 权重确定单元 14 优选适于为重分组投影确定平均调制权重作为重分组投影的单一调制权重, 其中该平均调制权重是重分组投影的至少一部分重分组探测值的中间调制权重的平均值。取决于已贯穿所选择的感兴趣区域的辐射的重分组投影的重分组探测值被分配给重分组探测器 19 的不同探测器行和探测器列, 并且为重分组投影的分配给重分组探测器 19 的单一探测器行的重分组探测值确定平均调制权重。

[0108] 各探测器列——即沿着同一探测器行的重分组探测值由与源角 α 通过下式相关的 u 坐标参数化:

$$[0109] \quad u = T \sin(\alpha - \alpha_0) \quad (6)$$

[0110] 其中 T 是辐射源的轨迹的半径且 α 是 X 射线源的角度。如上所述, 重分组投影内的所有探测值与到 xy 平面的投影中彼此平行的直线相关。因此, 重分组投影可以与投影角相关联, 投影角是到 xy 平面的投影线与 x 轴的角度。下面用 α_0 来表示该角度。这提供了一种关系, 其可以被用于分配适当的中间调制权重给探测器列的重分组探测值, 即同一探

测器行中的重分组探测值,其中同一探测器行中的重分组探测值由 u 坐标参数化:

[0111] $w(u) \propto I_0(\alpha_0 + \arcsin(u/T))$ (7) 其中 I_0 与管电流成比例,其中源角为自变量。重分组探测器的投影角是 α_0 。

[0112] 图 3 中示意性且示例性示出源角 α 与 u 坐标系之间的关系。

[0113] 如果所选择的感兴趣区域需要沿着从 $u_{\min}$ 到 $u_{\max}$ 的探测器行的重分组探测值,则可以通过对沿着根据以下方程由投影角 α_0 定义的重分组投影的重分组探测器的单一探测器行布置的重分组探测值的中间调制权重求平均来确定平均调制权重:

$$[0114] \quad \bar{w}(\alpha_0) \propto \frac{1}{u_{\max} - u_{\min}} \int_{u_{\min}}^{u_{\max}} w(u) du \quad (8)$$

[0115] 图 4 示意性且示例性示出重分组射线的一一即对应的重分组探测值的部分 22,其被用于重建感兴趣区域 16 的图像。

[0116] 然而,优选的是在求平均的过程中对中间权重进行加权以使得取决于已更中心地贯穿感兴趣区域的辐射的重分组探测值的中间权重比取决于已更外围地贯穿感兴趣区域的辐射的重分组探测值的中间权重更大。这优选通过在求平均的过程中根据感兴趣区域与相应重分组探测值所取决于的辐射的交叉区域的大小对中间权重进行加权来实现。如果重分组探测值所取决于的辐射被假定为是一维射线,则交叉区域是表示感兴趣区域内的该射线的直线,且交叉区域的大小是该直线的长度。这种直线的长度和取决于射线长度的加权的求平均在图 5 中图示并且用下面的方程(9)和(10)图示。

[0117] 在图 5 中示出某一射线 21,一重分组探测值取决于该射线。在优选实施例中,感兴趣区域 16 是圆形的并且以半径 r 围绕旋转轴 z 中心定位。然后可以通过以下方程描述射线 21 的长度:

$$[0118] \quad l(u) = 2\sqrt{r^2 - u^2} \quad (9)$$

[0119] 然后优选根据以下方程确定平均调制权重:

$$[0120] \quad \bar{w}(\alpha_0) \propto \frac{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} l(u) w(u) du}{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} l(u) du} \quad (10)$$

[0121] 优选地,对重分组投影的每个重分组探测值,赋予已为该重分组投影确定的平均调制权重。

[0122] 权重确定单元优选还适于根据相应探测值所取决于的辐射锥角为探测值提供锥权重。因此,优选根据辐射的调制来提供调制权重,并且根据锥角来提供锥权重。权重提供单元还可以适于提供进一步的权重,其可以例如取决于指示对象的运动的运动信号。运动信号例如是心脏成像中人的心脏的心电图。

[0123] 锥权重优选随着增大的锥角连续且单调地接近零。锥角被定义为射线与包含源位置且进一步平行于 xy 平面的平面之间的角度。由于锥权重取决于也可以被视为孔径的锥角,权重提供单元 14 和重建单元 15 优选适于执行锥束加权的或孔径加权的楔方法。锥权重优选被提供为使得它们遵循一加权函数,该加权函数针对零锥角具有其最大值,并在锥角增大并且接近对应于探测器板的边界的值时单调且连续地减小到零。实际上,梯形可以

被用于定义锥权重的加权函数。

[0124] 重建单元优选适于基于重分组探测值和所提供的调制权重及锥权重来重建感兴趣区域的所有区,特别是感兴趣区域的所有体素。为了重建感兴趣区域的区,相对于将要重建的感兴趣区域的同一区来说冗余的冗余重分组探测值的调制权重和锥权重被归一化,并且重分组探测值与相应归一化调制权重和归一化锥权重相乘。重建单元 15 通过基于已由归一化调制权重和归一化锥权重加权的重分组探测值重建感兴趣区域的各区来重建对象的图像。该重建优选通过使用反向投影技术来执行。

[0125] 下面将参考图 6 所示的流程图示例性描述一种计算机断层摄影方法。

[0126] 在步骤 101 中,辐射源 2 围绕旋转轴 R 旋转,并且沿着旋转轴 R 的方向移动带有对象的对象台,以使辐射源 2 与对象相对于彼此沿螺旋轨迹运动。辐射源 2 发射辐射,该辐射被准直器 3 准直为锥形辐射束且贯穿计算机断层摄影装置的成像区域 5。由生成取决于锥形辐射束的探测值的探测器 6 探测已贯穿对象和成像区域 5 的辐射。辐射源 2 优选调制锥形辐射束的强度,以使得如果辐射源位于对象台上方则强度较小且如果辐射源位于对象台下方则强度较大。辐射源 2 还可以围绕对象和成像区域 5 旋转,而不沿着旋转轴 R 的方向移动带有对象的对象台,以便使辐射源 2 与对象相对于彼此沿圆形轨迹运动。

[0127] 在步骤 102 中,由重分组单元 12 重分组探测值,且在步骤 103 中,由感兴趣区域选择单元 13 提供感兴趣区域。感兴趣区域选择单元 13 可以提供预定义的感兴趣区域或者可以允许用户定义的感兴趣区域。可以提供规划图像,如扫描图,其中感兴趣区域选择单元 13 可以适于允许用户选择规划图像中的感兴趣区域。规划图像优选在步骤 101 之前生成。在步骤 104 中,由权重提供单元 14 提供取决于辐射的调制的调制权重和取决于锥角的锥权重,且在步骤 105 中,重建单元 15 重建对象的图像,其中,探测值被利用调制权重和锥权重加权,特别是乘以归一化调制权重和归一化锥权重,并且其中,从经加权的探测值重建对象的图像。在步骤 106 中将重建图像示出在显示器 11 上。

[0128] 步骤 102 至 106 可以被视为用于基于已采集的探测值生成对象的图像的成像方法。

[0129] 重分组步骤 102 可以省略。此外,提供感兴趣区域的步骤(步骤 103)也可以省略,其中例如整个成像区域被视为感兴趣区域。在步骤 105 中,针对冗余探测值的调制权重和锥权重可以被归一化,其中利用归一化的调制权重和归一化的锥权重对冗余探测值进行加权,且从经加权的探测值重建对象的图像。

[0130] 虽然在上述实施例中提到了解析重建,特别是锥角加权或孔径加权的楔重建,该计算机断层摄影装置还可以适于执行另一种重建,例如执行迭代重建。如果执行迭代重建,优选使用锥角加权或孔径加权以便抑制运动伪影并实现良好的收敛行为。可以被重建单元使用的优选重建方法是例如最大似然性迭代重建方法,例如文献“Correction of Iterative Reconstruction Artifacts in Helical Cone-Beam CT”,Zeng, K. 等人, 10th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, 242-245 页中所公开的。也可以使用“Weighted FBP—a simple approximate 3D FBP algorithm for multislice spiral CT with good dose usage for arbitrary pitch”,Stierstorfer K. 等人,Phys. Med. Biol., volume 49, 2209-2218 页, 2004 中公开的孔径加权楔形重建方法。此外,例

如“Extended parallel back projection for standard three-dimensional and phase-correlated four-dimensional axial and spiral cone-beam CT with arbitrary pitch, arbitrary cone-angle, and 100% dose usage”, Kachelriess, M. 等人, Med. Phys., volume 31, 1623-1641 页, 2004 中公开的角度加权平行射束反向投影、“A new weighting scheme for cone-beam helical CT to reduce the image noise”, Taguchi, K. 等人, Phys. Med. Biol., volume 49, 2351-2364 页, 2004 中公开的加权锥束计算机断层摄影重建方法或例如“Advanced single-slice rebinning in cone-beam spiral CT”, Kachelriess, M. 等人, Med. Phys., volume 27, 754-772 页, 2000 中公开的 ASSR 方法的基于二维近似的重建方法可以被用于重建检查区域的图像。

[0131] 如果已采集了冗余探测值和非冗余探测值, 为了重建成像区域内的对象区, 重建单元使相对于将要重建的成像区域内对象的同一区来说冗余的冗余探测值的调制权重和锥权重归一化, 其中利用归一化的调制权重和锥权重对这些冗余探测值进行加权。此外, 利用非归一化调制权重和非归一化锥权重对相对于成像区域内对象的该同一区来说不冗余的探测值进行加权, 并且从经加权的冗余探测值和经加权的非冗余探测值来重建对象的图像。

[0132] 调制权重优选在算法上被用作例如门控心脏重建中的心脏权重以实现改善的图像质量。然而, 当然与心脏门控重建相对照, 调制权重优选从不变为零, 但是如果辐射源是 X 射线管, 则调制权重的调制深度优选与管电流的调制深度相同。

[0133] 上述锥束加权或孔径加权优选在取决于辐射的调制的加权之上, 以便相对于患者运动是稳健的并且降低锥束伪影。计算机断层摄影装置优选被用于儿科扫描。

[0134] 虽然在上述实施例中辐射优选被调制为使得如果辐射源位于对象台上方则辐射的强度较小且如果辐射源位于对象台下方则辐射的强度较大, 但在其他实施例中, 可以提供辐射的另一种调制。例如, 可以在采集探测值的过程中使用 z 剂量调制 (zDOM), 特别是在使用大的探测器的情况下。zDOM 中实现的理念是例如针对肩部比针对颈部使用更高的管电流。然而, 对于具有大锥角的系统, 肩部和颈部一起在锥角内经过相当长的时间段, 并且从针对肩部的高管电流到针对颈部的低管电流的过渡对应地较长。因此, 过渡范围内的体素是根据利用不同管电流采集的投影重建的, 并且利用实际管电流对投影进行的建议的调制加权将降低图像中的噪声水平。

[0135] 通过研究附图、公开内容和随附的权利要求, 本领域技术人员在实践要求保护的发明时可以理解并实现所公开实施例的其他变型。

[0136] 在权利要求中, 词语“包括”并不排除其他元件或步骤, 且不定冠词“一”或“一个”并不排除多个。

[0137] 单一单元或设备可以满足权利要求中记载的若干项的功能。在相互不同的从属权利要求中记载某些措施的事实并不表示这些措施的组合不能被用于实现有益效果。

[0138] 由一个或几个单元或设备执行的计算可以由任何其他数量的单元或设备执行。例如, 由权重提供单元和重建单元执行的为探测值提供权重、利用权重对探测值进行加权以及基于经加权的探测值进行重建可以由单一单元或由任何其他数量的不同单元来执行。根据计算机断层摄影方法对计算机断层摄影装置的控制和 / 或根据成像方法对成像装置的控制可以被实现为计算机程序的程序代码段和 / 或专用硬件。

[0139] 计算机程序可以被存储 / 分布在适当介质上, 例如与其他硬件一起提供或作为其他硬件的一部分的光学存储介质或固态介质, 但是也可以以其他形式分布, 例如经由互联网或其他有线或无线电信系统。

[0140] 权利要求中的任何参考标记不应被解读为限制其范围。

[0141] 本发明涉及用于对对象进行成像的计算机断层摄影装置。该计算机断层摄影装置包括用于生成贯穿对象的经调制辐射的辐射源以及用于在辐射源与对象相对于彼此运动时生成取决于已贯穿对象后的辐射的探测值的探测器。权重提供单元根据辐射的调制提供用于对探测值进行加权的调制权重, 并且重建单元重建对象的图像, 其中基于所提供的调制权重对探测值加权并且从经加权的探测值重建对象的图像。这能够允许通过相应地调制辐射来优化对对象的剂量施加, 其中重建图像仍然具有高质量。

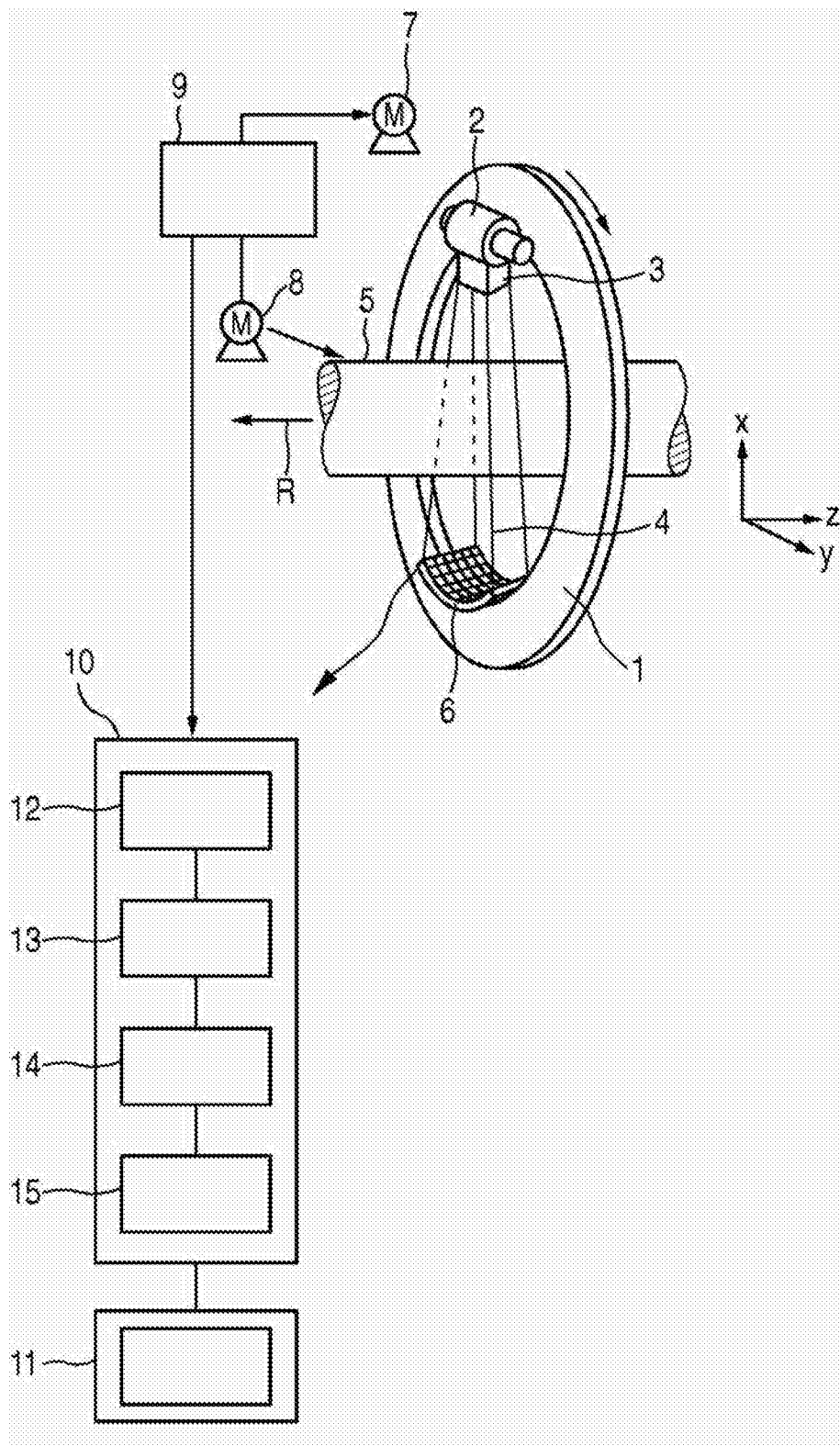


图 1

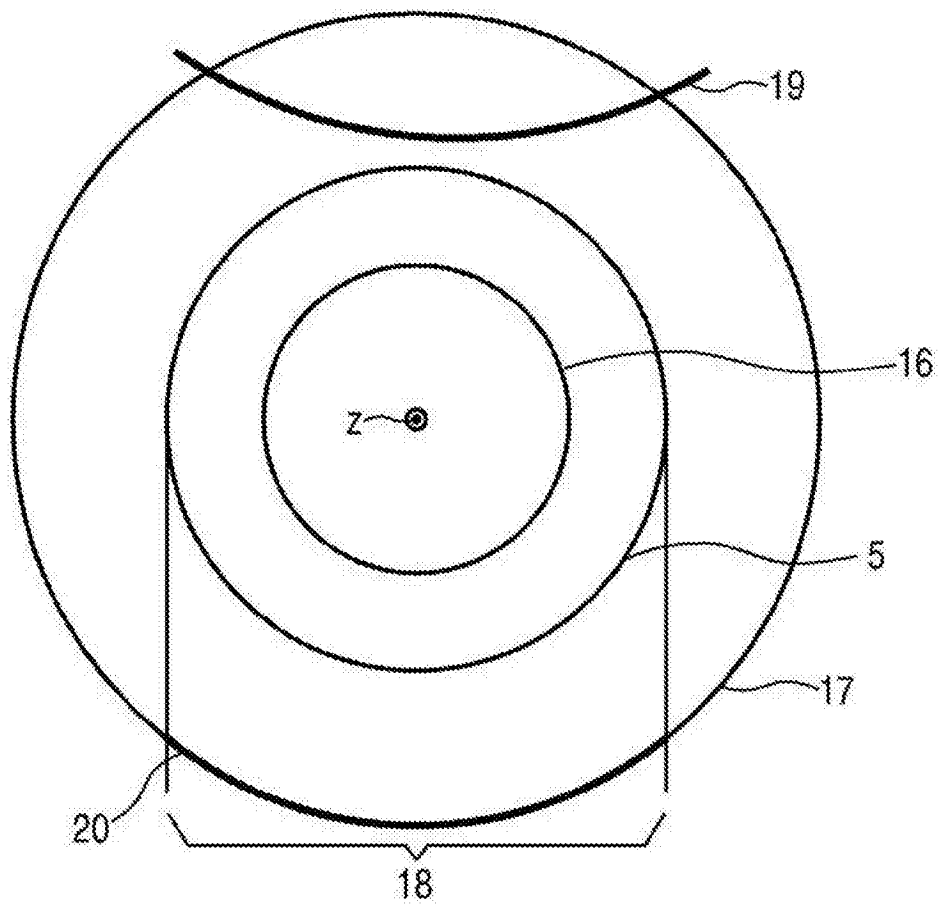


图 2

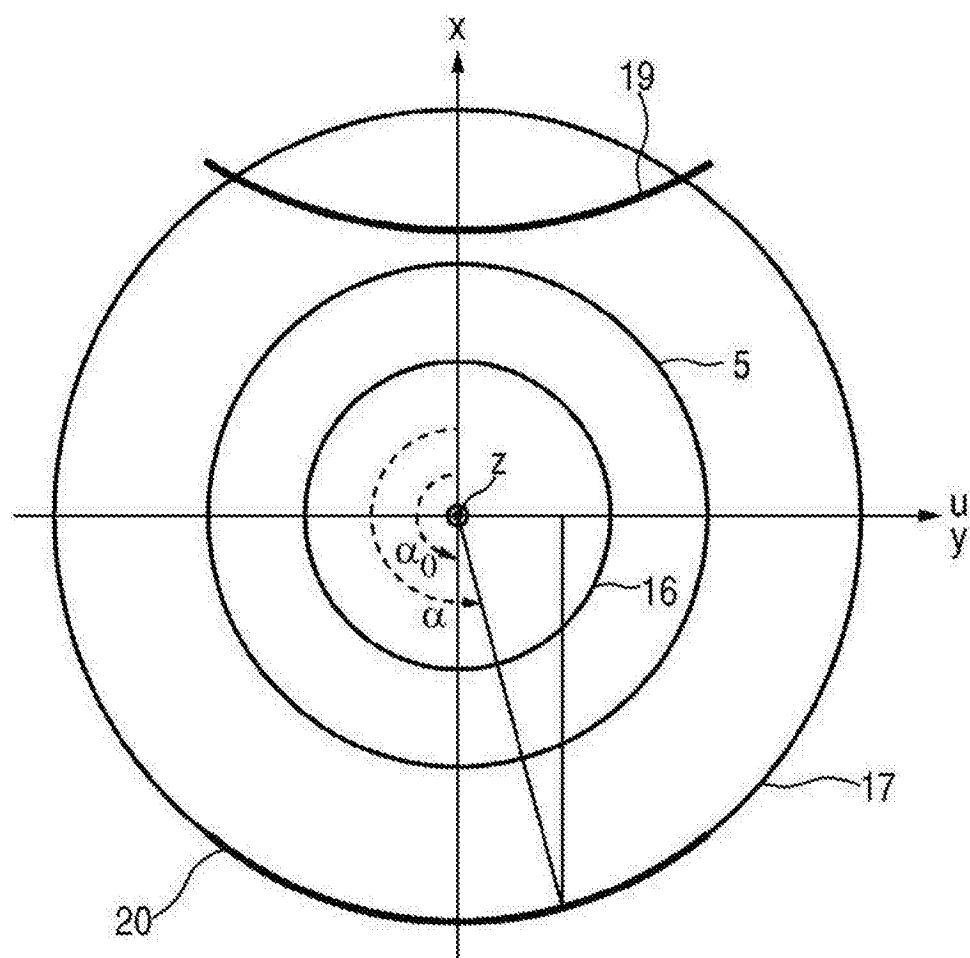


图 3

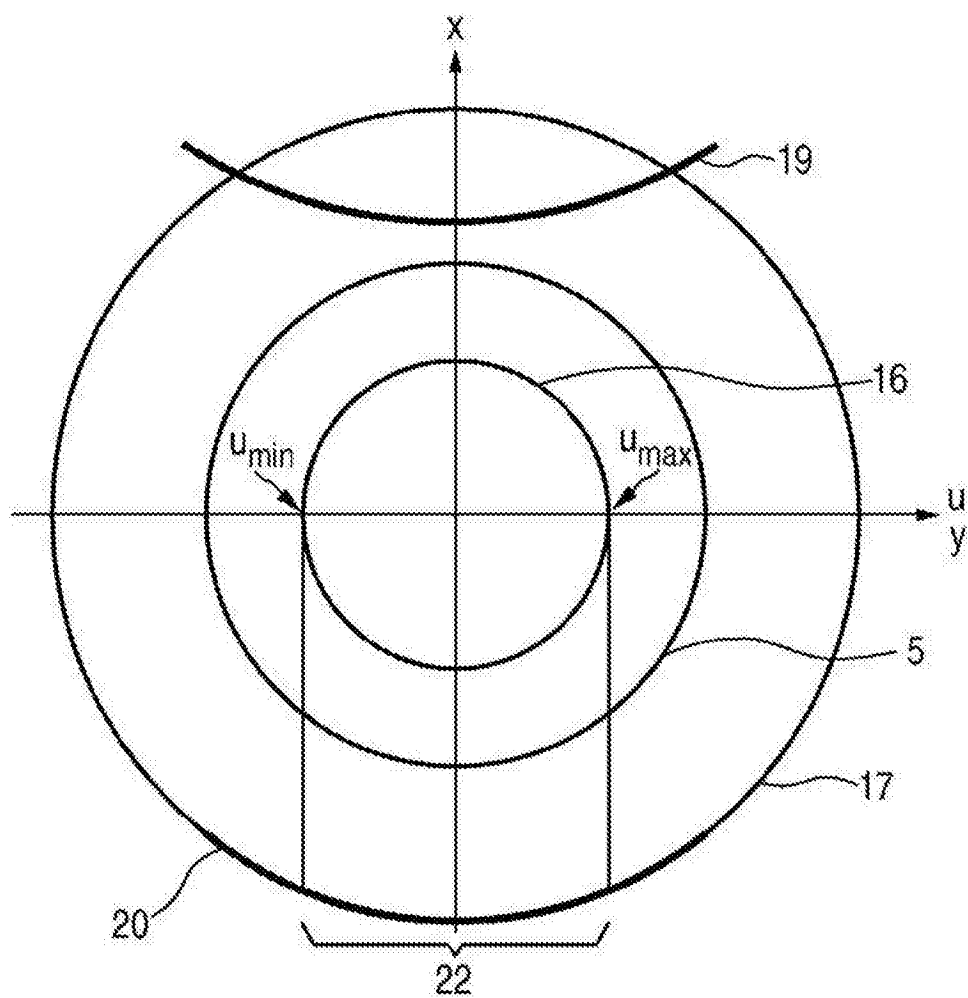


图 4

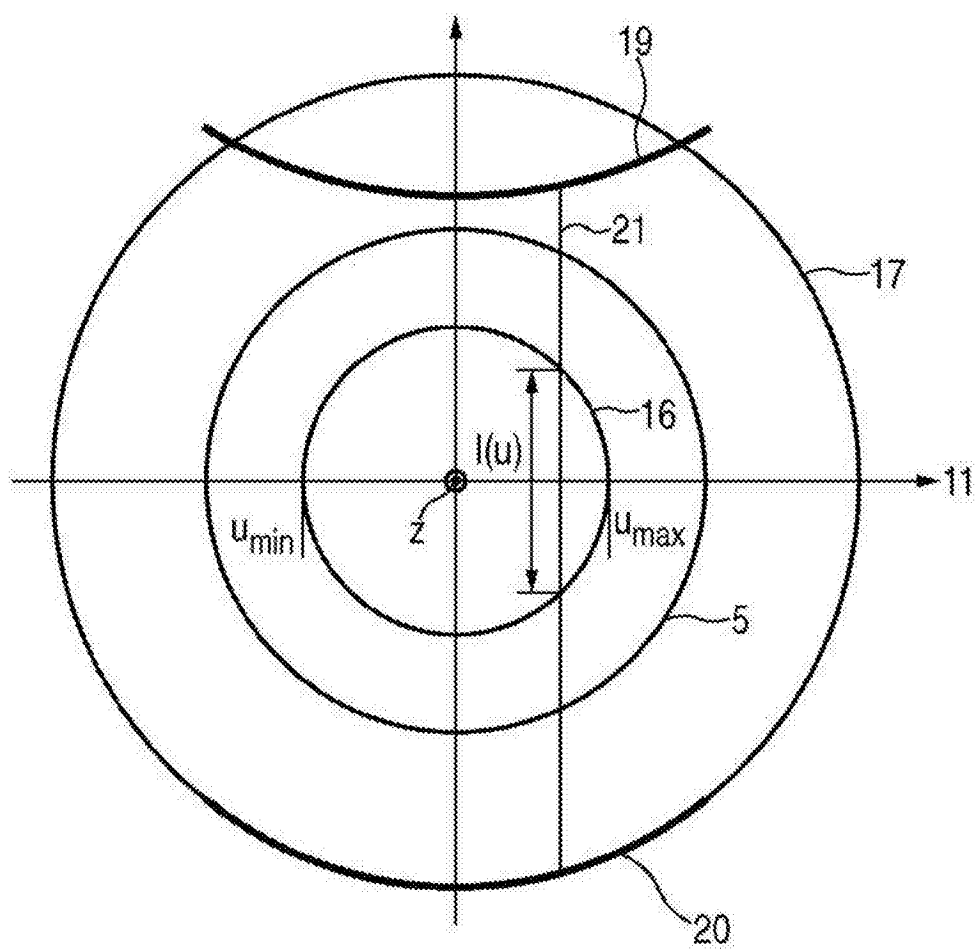


图 5

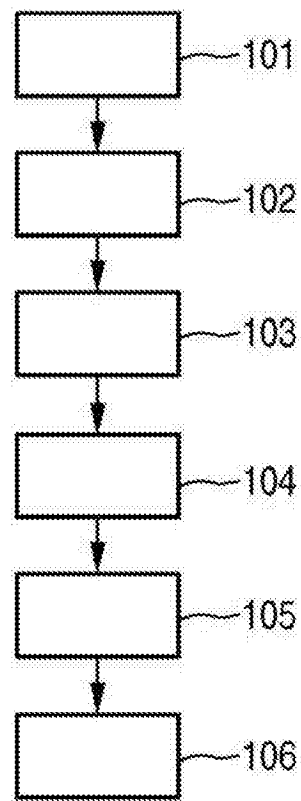


图 6