



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103969269 B

(45)授权公告日 2018.09.18

(21)申请号 201310037546.X

A61B 6/03(2006.01)

(22)申请日 2013.01.31

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103969269 A

US 2007122020 A1, 2007.05.31,

US 2010195804 A1, 2010.08.05,

CN 102901979 A, 2013.01.30,

US 6493416 B1, 2002.12.10,

CN 1689520 A, 2005.11.02,

(43)申请公布日 2014.08.06

(73)专利权人 GE医疗系统环球技术有限公司

地址 美国威斯康星州

审查员 吴少波

(72)发明人 李军 李硕 王斌 曹蹊渺

董加勤

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 杨美灵 朱海煜

(51) Int. Cl.

G01N 23/00(2006.01)

G01V 13/00(2006.01)

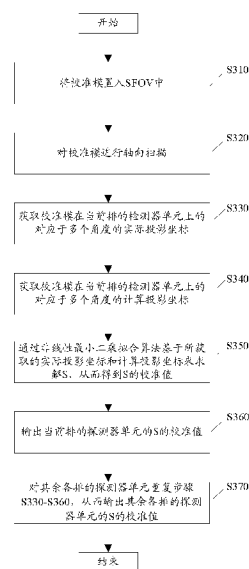
权利要求书3页 说明书11页 附图7页

(54)发明名称

用于几何校准CT扫描仪的方法和装置

(57)摘要

本申请涉及用于几何校准CT扫描仪的方法和装置。该方法包括对至少一排探测器单元中的每一排探测器单元执行以下步骤:建立CT扫描仪的完整几何描述,其中完整几何描述包括至少一个未知几何参数;利用完整几何描述来建立前向投影函数的描述;获取置入扫描视野SFOV中的校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标;利用前向投影函数的描述来获取校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的计算投影坐标;通过非线性最小二乘拟合算法基于所获取的实际投影坐标和计算投影坐标来求解至少一个未知几何参数,从而得到至少一个未知几何参数的校准值。



1. 一种用于几何校准具有至少一排探测器单元的CT扫描仪的方法,包括对所述至少一排探测器单元中的每一排探测器单元执行以下步骤:

几何描述建立步骤,用于建立所述CT扫描仪的完整几何描述,其中所述完整几何描述包括至少一个未知几何参数;

前向投影函数建立步骤,用于利用所述完整几何描述来建立前向投影函数的描述;

实际投影坐标获取步骤,用于获取置入扫描视野SFOV中的校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标;

计算投影坐标获取步骤,用于利用所述前向投影函数的描述来获取所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述多个角度的计算投影坐标;以及

校准值获取步骤,用于通过非线性最小二乘拟合算法基于所获取的实际投影坐标和计算投影坐标来求解所述至少一个未知几何参数,从而得到所述至少一个未知几何参数的校准值。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,所述当前排的探测器单元的结构是 $n \times q \times r$,其中, n 表示模块的数量, q 表示每个模块中子模块的数量, r 表示每个子模块中探测器单元的数量。

3. 如权利要求2所述的方法,其中,所述至少一个未知几何参数包括 $(n-1)$ 个相邻模块之间的空气间隙大小和1个ISO通道偏移。

4. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述前向投影函数的描述如下:

$$x_{p\beta} = P_{\beta}(x, y, S)$$

其中, $x_{p\beta}$ 是所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于前向投影角度 β 的计算投影坐标; x 和 y 是所述校准模的坐标; S 是包括所述至少一个未知几何参数的集合, P 是所述前向投影函数的描述。

5. 如权利要求4所述的方法,其中,所述校准值获取步骤包括目标函数最小化步骤,用于利用所述非线性最小二乘拟合算法求解所述至少一个未知几何参数,使得以下目标函数具有最小值:

$$F = \sum_{i=1}^m (x'_{p_i}(\beta_i) - P_{\beta_i}(x, y, S))^2$$

其中 F 表示所述目标函数, β_i 表示当前扫描角度; m 表示扫描角度的数量; $x'_{p_i}(\beta_i)$ 表示所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的实际投影坐标, $P_{\beta_i}(x, y, S)$ 表示所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的计算投影坐标。

6. 如权利要求5所述的方法,其中,所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的实际投影坐标是所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的投影数据的高斯中心。

7. 如权利要求1所述的方法,其中,所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述多个角度的实际投影坐标通过对所述校准模进行所述多个角度的轴向扫描来获取。

8. 如权利要求1所述的方法,其中,所述非线性最小二乘拟合算法包括Powell优化算法。

9. 如权利要求1所述的方法,其中,所述校准模是长度为100mm、直径为2mm的铁棒。

10. 如权利要求1所述的方法,其中,所述至少一个未知几何参数的校准值用于后续的图像重构。

11. 一种用于几何校准具有至少一排探测器单元的CT扫描仪的装置,包括:

几何描述建立部件,用于建立所述CT扫描仪的完整几何描述,其中所述完整几何描述包括至少一个未知几何参数;

前向投影函数建立部件,用于利用所述完整几何描述来建立前向投影函数的描述;

实际投影坐标获取部件,用于获取置入扫描视野SFOV中的校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标;

计算投影坐标获取部件,用于利用所述前向投影函数的描述来获取所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述多个角度的计算投影坐标;以及

校准值获取部件,用于通过非线性最小二乘拟合算法基于所获取的实际投影坐标和计算投影坐标来求解所述至少一个未知几何参数,从而得到所述至少一个未知几何参数的校准值。

12. 如权利要求11所述的装置,其中,所述当前排的探测器单元的结构是 $n \times q \times r$,其中, n 表示模块的数量, q 表示每个模块中子模块的数量, r 表示每个子模块中探测器单元的数量。

13. 如权利要求12所述的装置,其中,所述至少一个未知几何参数包括 $(n-1)$ 个相邻模块之间的空气间隙大小和1个ISO通道偏移。

14. 如权利要求11-13中任一项所述的装置,其中,所述前向投影函数的描述如下:

$$x_{p\beta} = P_{\beta}(x, y, S)$$

其中, $x_{p\beta}$ 是所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于前向投影角度 β 的计算投影坐标; x 和 y 是所述校准模的坐标; S 是包括所述至少一个未知几何参数的集合, P 是所述前向投影函数的描述。

15. 如权利要求14所述的装置,其中,所述校准值获取部件包括目标函数最小化部件,用于利用所述非线性最小二乘拟合算法求解所述至少一个未知几何参数,使得以下目标函数具有最小值:

$$F = \sum_{i=1}^m (x'_{p_i}(\beta_i) - P_{\beta_i}(x, y, S))^2$$

其中 F 表示所述目标函数, β_i 表示当前扫描角度; m 表示扫描角度的数量; $x'_{p_i}(\beta_i)$ 表示所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的实际投影坐标, $P_{\beta_i}(x, y, S)$ 表示所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的计算投影坐标。

16. 如权利要求15所述的装置,其中,所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的实际投影坐标是所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的投影数据的高斯中心。

17. 如权利要求11所述的装置,其中,所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应

于所述多个角度的实际投影坐标通过对所述校准模进行所述多个角度的轴向扫描来获取。

18. 如权利要求11所述的装置,其中,所述非线性最小二乘拟合算法包括Powell优化算法。

19. 如权利要求11所述的装置,其中,所述校准模是长度为100mm、直径为2mm的铁棒。

20. 如权利要求11所述的装置,其中,所述至少一个未知几何参数的校准值用于后续的图像重构。

21. 一种CT扫描系统,包括如权利要求11-20中任一项所述的用于几何校准具有至少一排探测器单元的CT扫描仪的装置。

用于几何校准CT扫描仪的方法和装置

技术领域

[0001] 本申请涉及计算机断层扫描(CT)领域,尤其涉及用于几何校准CT扫描仪的方法和装置。

背景技术

[0002] 为了节约CT扫描仪中的探测器成本,在CT扫描仪中引入了一种大型平板模块探测器。这种大型平板模块探测器包括若干个平板模块,每个模块具有若干个子模块,每个子模块具有若干个常规的探测器单元。与常规的第三代弧状探测器相比,这种大型平板模块探测器大得多,并且还具有许多其他不同之处。例如,在大型平板模块探测器中,相邻模块之间以及相邻子模块之间均存在空气间隙,而在常规的第三代弧状探测器中则不存在这样的空气间隙。

[0003] 考虑到实际的探测器制造技术和安装技术,这些空气间隙的实际大小与设计大小之间的一致性难以保证。通常,在制造期间,相邻子模块之间的空气间隙的实际大小与设计大小之间的一致性相对容易实现。再者,因为同一模块中的子模块可以相对于彼此平行安装,所以相邻子模块之间的空气间隙大小不会因为安装而引入太大的误差。然而,对于相邻模块之间的空气间隙而言,因为探测器中的各模块通常相对于彼此以一定角度倾斜安装,所以会在相邻模块之间的空气间隙大小中引入随机误差。这将使得相邻模块之间的空气间隙大小不仅在同一探测器中可能不同,而且在不同的系统中也可能不同。

[0004] 再者,对于大型平板模块探测器,倾斜入射的X射线光子可能影响在各模块边缘处的探测器单元的有效响应位置,导致探测器单元的有效响应位置不在探测器单元的中心,从而影响相邻模块之间的空气间隙大小。

[0005] 至少由于上面这些因素,大型平板模块探测器中的相邻模块之间的空气间隙大小变得不可测量。然而,为了实现具有高图像质量的图像重构,准确的空气间隙大小,尤其是准确的相邻模块之间的空气间隙大小,是非常重要的。由于相邻模块之间的实际的空气间隙大小与设计的空气间隙大小之间的不一致而引起的数据采集和图像重构之间的失配,会在重构的图像中导致严重的环状伪影。

[0006] 例如,对于具有如下结构的大型平板模块探测器,要求在相邻子模块之间的空气间隙大小为0.05mm,在相邻模块之间的空气间隙大小为0.15mm:5(表示探测器中模块的数量) $\times$ 4(表示每个模块中子模块的数量) $\times$ 34(表示每个子模块中探测器单元的数量)。通常,在探测器的制造和安装期间,在相邻子模块之间的空气间隙大小中引入的误差小于 ± 0.02 mm,而在相邻模块之间的空气间隙大小中引入的误差小于 ± 0.15 mm。当在相邻模块之间的空气间隙大小中引入的误差大于 ± 0.04 mm时,在重构的图像中会导致环状伪影,这是不希望。

[0007] 另一方面,当将探测器固定在机架上时,其位置不能再调整。然而,考虑到安装精度,探测器的位置可能不完全对应于所期望的位置,这将影响ISO通道。换言之,实际的ISO通道可能不是所期望的ISO通道。如果在图像重构过程中采用了不准确的ISO通道,则调制

传递函数 (Modulation Transfer Function, MTF) 将会降级。更严重的是, 在重构的图像中可能会出现重影伪影。

[0008] 因为上面提到的几何参数 (例如, 相邻模块之间的空气间隙大小以及 ISO 通道) 不可测量但对于实现高质量的重构图像却很关键, 所以需要一种用于几何校准 CT 扫描仪的方法和装置。

发明内容

[0009] 为解决上面提到的问题, 本申请提供一种简单而有效的用于几何校准具有大型平板模块探测器的 CT 扫描仪的方法和装置。通过该方法和装置, 可获取准确的相邻模块之间的空气间隙大小、准确的 ISO 通道以及改进的 MTF。

[0010] 本申请提供一种用于几何校准具有至少一排探测器单元的 CT 扫描仪的方法, 包括对所述至少一排探测器单元中的每一排探测器单元执行以下步骤:

[0011] 几何描述建立步骤, 用于建立所述 CT 扫描仪的完整几何描述, 其中所述完整几何描述包括至少一个未知几何参数;

[0012] 前向投影函数建立步骤, 用于利用所述完整几何描述来建立前向投影函数的描述;

[0013] 实际投影坐标获取步骤, 用于获取置入扫描视野 SFOV 中的校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标;

[0014] 计算投影坐标获取步骤, 用于利用所述前向投影函数的描述来获取所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述多个角度的计算投影坐标; 以及

[0015] 校准值获取步骤, 用于通过非线性最小二乘拟合算法基于所获取的实际投影坐标和计算投影坐标来求解所述至少一个未知几何参数, 从而得到所述至少一个未知几何参数的校准值。

[0016] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中, 所述当前排的探测器单元的结构是 $n \times q \times r$, 其中, n 表示模块的数量, q 表示每个模块中子模块的数量, r 表示每个子模块中探测器单元的数量。

[0017] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中, 所述至少一个未知几何参数包括 $(n-1)$ 个相邻模块之间的空气间隙大小和 1 个 ISO 通道偏移。

[0018] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中, 所述前向投影函数的描述如下:

[0019]
$$x_{p\beta} = P_{\beta}(x, y, S)$$

[0020] 其中, $x_{p\beta}$ 是所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于前向投影角度 β 的计算投影坐标; x 和 y 是所述校准模的坐标; S 是包括所述至少一个未知几何参数的集合, P 是所述前向投影函数的描述。

[0021] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中, 所述校准值获取步骤包括目标函数最小化步骤, 用于利用所述非线性最小二乘拟合算法求解所述至少一个未知几何参数, 使得以下目标函数具有最小值:

$$[0022] \quad F = \sum_{i=1}^m (x_p(\beta_i) - P_{\beta_i}(x, y, S))^2$$

[0023] 其中 F 表示所述目标函数, β_i 表示当前扫描角度; m 表示扫描角度的数量; $x_p(\beta_i)$ 表示所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的实际投影坐标, $P_{\beta_i}(x, y, S)$ 表示所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的计算投影坐标。

[0024] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中,所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的实际投影坐标是所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的投影数据的高斯中心。

[0025] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中,所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述多个角度的实际投影坐标通过对所述校准模进行所述多个角度的轴向扫描来获取。

[0026] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中,所述非线性最小二乘拟合算法包括Powell优化算法。

[0027] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中,所述校准模是长度为100mm、直径为2mm的铁棒。

[0028] 在根据本发明的一个或多个实施例的方法中,所述至少一个未知几何参数的校准值用于后续的图像重构。

[0029] 本申请还提供一种用于几何校准具有至少一排探测器单元的CT扫描仪的装置,包括:

[0030] 几何描述建立部件,用于建立所述CT扫描仪的完整几何描述,其中所述完整几何描述包括至少一个未知几何参数;

[0031] 前向投影函数建立部件,用于利用所述完整几何描述来建立前向投影函数的描述;

[0032] 实际投影坐标获取部件,用于获取置入扫描视野SFOV中的校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标;

[0033] 计算投影坐标获取部件,用于利用所述前向投影函数的描述来获取所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述多个角度的计算投影坐标;以及

[0034] 校准值获取部件,用于通过非线性最小二乘拟合算法基于所获取的实际投影坐标和计算投影坐标来求解所述至少一个未知几何参数,从而得到所述至少一个未知几何参数的校准值。

[0035] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中,所述当前排的探测器单元的结构是 $n \times q \times r$,其中, n 表示模块的数量, q 表示每个模块中子模块的数量, r 表示每个子模块中探测器单元的数量。

[0036] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中,所述至少一个未知几何参数包括 $(n-1)$ 个相邻模块之间的空气间隙大小和1个ISO通道偏移。

[0037] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中,所述前向投影函数的描述如下:

[0038]
$$x_{p_\beta} = P_\beta(x, y, S)$$

[0039] 其中, x_{p_β} 是所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于前向投影角度 β 的计算投影坐标; x 和 y 是所述校准模的坐标; S 是包括所述至少一个未知几何参数的集合, P 是所述前向投影函数的描述。

[0040] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中, 所述校准值获取部件包括目标函数最小化部件, 用于利用所述非线性最小二乘拟合算法求解所述至少一个未知几何参数, 使得以下目标函数具有最小值:

[0041]
$$F = \sum_{i=1}^m (x'_p(\beta_i) - P_{\beta_i}(x, y, S))^2$$

[0042] 其中 F 表示所述目标函数, β_i 表示当前扫描角度; m 表示扫描角度的数量;

$x'_p(\beta_i)$ 表示所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的实际投影坐标, $P_{\beta_i}(x, y, S)$ 表示所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的计算投影坐标。

[0043] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中, 所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的实际投影坐标是所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述当前扫描角度的投影数据的高斯中心。

[0044] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中, 所述校准模在所述当前排的探测器单元上的对应于所述多个角度的实际投影坐标通过对所述校准模进行所述多个角度的轴向扫描来获取。

[0045] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中, 所述非线性最小二乘拟合算法包括 Powell 优化算法。

[0046] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中, 所述校准模是长度为 100mm、直径为 2mm 的铁棒。

[0047] 在根据本发明的一个或多个实施例的装置中, 所述至少一个未知几何参数的校准值用于后续的图像重构。

[0048] 本申请又一种 CT 扫描系统, 包括用于根据本发明的一个或多个实施例几何校准具有至少一排探测器单元的 CT 扫描仪的装置。

[0049] 本申请提供的方法和装置能够准确地获取具有大型平板模块探测器的 CT 扫描仪的不可测量的几何参数, 从而至少提供了以下优点:

[0050] 确保将低成本的大型平板模块探测器应用于 CT 扫描仪的可行性;

[0051] 易于实现, 校准模非常简单, 扫描协议是普通的轴向扫描, 并且计算速度快; 以及

[0052] 可以获取准确的相邻模块之间的空气间隙大小以及准确的 ISO 通道, 从而可以完全消除由于不准确的相邻模块之间的空气间隙大小和不准确的 ISO 通道导致的伪影, 并且可以改进 MTF。

附图说明

[0053] 通过结合附图,并且参考以下对具体实施方式的详细说明,可以对本发明有更透彻的理解。

[0054] 图1示出的是根据本发明的一个实施例的用于具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的完整几何描述的示意图。

[0055] 图2示出的是根据本发明的一个实施例的用于具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的前向投影过程的示意图。

[0056] 图3示出的是根据本发明的一个实施例的用于几何校准具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的方法的流程图。

[0057] 图4示出的是根据本发明的一个实施例的校准模在当前排的探测器单元上的对应于当前扫描角度的投影数据的高斯中心。

[0058] 图5示出的是根据本发明的一个实施例的非线性最小二乘拟合算法的输入和输出的示意图。

[0059] 图6示出的是根据本发明的一个实施例的用于几何校准具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的装置的方框图。

[0060] 图7示出的是基于数字仿真在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之前和之后的重构图像的对比图。

[0061] 图8示出的是基于来自具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的真实数据在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之前和之后的水模重构图像的对比图。

[0062] 图9示出的是基于来自具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的真实数据在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之前和之后的QA模重构图像的对比图。

[0063] 图10示出的是基于来自具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的真实数据在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之前和之后的GEPP模重构图像的对比图。

具体实施方式

[0064] 通过附图、作为举例而不是限制来说明本文所述的本发明的实施例。为了说明的简洁和清楚起见,图中所示的元件不一定按比例绘制。例如,为了清楚起见,一些元件的尺寸可能相对于其它元件经过放大。另外,在认为适当的情况下,附图中重复参考标号,以表示对应或相似的元件。说明书中提到本发明的“一个实施例”或“实施例”表示结合该实施例所述的具体特征、结构或特性包含在本发明的至少一个实施例中。因此,词语“在一个实施例中”在本说明书的各个位置的出现不一定都表示同一个实施例。

[0065] 本发明通过在安装CT扫描仪之后对CT扫描仪进行几何校准来获取CT扫描仪的准确几何参数。通常,在进行几何校准之前,会为CT扫描仪建立完整的几何描述,即,通过CT扫描仪的几何参数来完整描述CT扫描仪。这样的几何参数可以分为两类:与X射线源有关的几何参数;以及与探测器有关的几何参数。

[0066] 与X射线源有关的几何参数例如可以包括:X射线源的坐标、X射线源到旋转中心的距离和X射线源到探测器的距离等。

[0067] 与探测器有关的几何参数例如可以包括:探测器单元的大小、探测器单元的数量

和ISO通道偏移等。当CT扫描仪具有大型平板模块探测器时,与探测器有关的几何参数例如还可以包括:相邻模块之间的空气间隙大小和相邻子模块之间的空气间隙大小。

[0068] 通常,与X射线源有关的几何参数是可以准确测量的,与探测器有关的几何参数中的探测器单元的大小和探测器单元的数量也是可以准确知道的。但是,对于诸如ISO通道偏移、相邻模块之间的空气间隙大小或相邻子模块之间的空气间隙大小这类的几何参数,由于实际的探测器制造技术和安装技术引入的误差,这类几何参数通常是不可准确测量或不可测量的。

[0069] 为了获取这类不可准确测量或不可测量的几何参数的实际值,本发明利用置入SF0V中的校准模,通过CT扫描仪对该校准模进行轴向扫描来获取校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标,并且通过对该校准模应用前向投影函数来获取校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的计算投影坐标,然后通过非线性最小二乘拟合算法基于所获取的多个角度的实际投影坐标和计算投影坐标来求解这类不可准确测量或不可测量的几何参数,从而得到与其实际值最接近的值,本文中称为校准值。

[0070] 以下将以在x方向上具有结构为5(表示探测器中模块的数量) $\times$ 4(表示每个模块中子模块的数量) $\times$ 34(表示每个子模块中探测器单元的数量)的大型平板模块探测器的CT扫描仪为例来对本发明进行详细说明。通常用于CT扫描仪的这种大型平板模块探测器在z方向上可以被布置成8排或16排,每排都有5 $\times$ 4 $\times$ 34个探测器单元。为了提高精度,对各排探测器单元进行独立的几何校准。

[0071] 需要注意的是,本发明并不限于在x方向上具有结构为5 $\times$ 4 $\times$ 34的大型平板模块探测器的CT扫描仪,在x方向上具有其他结构的大型平板模块探测器的CT扫描仪也适用于本发明。另外,具有弧状探测器结构的CT扫描仪也适用于本发明,这时,需要求解的未知几何参数例如可以是ISO通道偏移。

[0072] 图1示出的是根据本发明的一个实施例的用于具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的完整几何描述的示意图,其中,CT扫描仪在x方向上具有结构为5 $\times$ 4 $\times$ 34的大型平板模块探测器,以及S(x_s, y_s)表示X射线源的坐标。如表1所示,为在x方向上具有结构为5 $\times$ 4 $\times$ 34的大型平板模块探测器的CT扫描仪建立完整的几何描述需要两类几何参数:与X射线源有关的几何参数和与探测器有关的几何参数,总共26个几何参数。

[0073] 表1

[0074]

类别	几何参数	特性描述
与X射线源有关的几何参数	x_s : X射线源在x轴上的坐标(单位: mm)	可准确测量, 无漂移
	y_s : X射线源在y轴上的坐标(单位: mm)	可准确测量, 无漂移
	src2iso: 从X射线源到旋转中心之间的距离(单位: mm)	可准确测量
	src2det: 从X射线源到探测器之间的距离(单位: mm)	可准确测量
与探测器有关的几何参数	pixSize: 探测器单元的大小, 即, 相邻探测器单元中心之间的距离(单位: mm)	可准确知道
	numCell: 当前排的探测器单元的数量	可准确知道
	colOffset: 当前排的探测器单元的ISO通道偏移	不可准确测量, 但对于实现高质量的重构图像很关键
	modGap: 当前排的探测器单元的相邻模块之间的空气间隙大小, 共4个(单位: mm)	不可测量, 但对于实现高质量的重构图像很关键
	packGap: 当前排的探测器单元的相邻子模块之间的空气间隙大小, 共3×5个(单位: mm)	不可测量, 并且对于实现高质量的重构图像不太关键

[0075] 实际上, 在这些几何参数中, 总共有20个不可准确测量或不可测量的几何参数: 1个colOffset、4个modGap和15个packGap。然而, 一方面, 相邻子模块之间的空气间隙大小的设计值仅为0.05mm, 与探测器单元大小以及从X射线源到探测器之间的距离相比很小; 另一方面, 由于探测器制造而在相邻子模块之间的空气间隙大小引入的误差也很小, 通常为±0.02mm。因此, 当图像噪声存在时, 相邻子模块之间的空气间隙大小的如此小的误差不会在重构图像中导致明显的伪影。从而, 在图像重构的过程中, 对于相邻子模块之间的空气间隙大小(即, 15个packGap), 通常采用设计值。这样, 几何校准就只涉及以下未知几何参数: 1个colOffset和4个modGap。将未知几何参数的数量从20个减少至5个, 可以显著降低优化问题的复杂度, 并且有助于得到更可靠的几何参数(即, ISO通道偏移和相邻模块之间的空气间隙大小)的值。这5个未知几何参数对于实现高质量的重构图像非常关键, 因此需要通过试验来进行校准。正如下文将要详细描述, 可以通过非线性最小二乘拟合算法来求解这5个未知几何参数。

[0076] 对于建立了完整几何描述的CT扫描仪, SFOV中的任何点都可以通过前向投影函数在探测器上得到唯一的投影点, 如图2所示。图2示出的是根据本发明的一个实施例的用于具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的前向投影过程的示意图, 其中, CT扫描仪在x方向上具有结构为5×4×34的大型平板模块探测器, 以及 $S(x_s, y_s)$ 表示X射线源的坐标, $Pin(x, y)$ 表示SFOV中待扫描点的坐标。对应于具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的前向投影函数非常复杂, 通常难以用一个简单的解析公式来描述, 但是可以通过用于建立CT扫描仪的完整几何描述的所有几何参数来完整描述。例如, 根据本发明的一个实施例的前向投影过程可以如下描述:

$$[0077] \quad x_{p\beta} = P_{\beta}(x, y, S) \quad (1)$$

[0078] 其中, $x_{p\beta}$ 是SF0V中的某一点在当前排的探测器单元上的对应于前向投影角度 β 的计算投影坐标; x 和 y 是该点的坐标; S 是包括5个未知几何参数的集合, 5个未知几何参数包括相邻模块之间的空气间隙大小(共4个)和ISO通道偏移(共1个), P 是前向投影函数的描述。

[0079] 在式(1)中, 总共有7个未知参数。这7个未知参数包括: 该点的坐标 x 和 y ; 以及待校准的5个几何参数, 即, 相邻模块之间的空气间隙大小(共4个)和ISO通道偏移(共1个)。

[0080] 图3示出的是根据本发明的一个实施例的用于几何校准具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的方法的流程图, 其中, CT扫描仪在 x 方向上具有结构为 $5 \times 4 \times 34$ 的大型平板模块探测器。

[0081] 在步骤S310中, 将具有合适大小的校准模放置在SF0V中的适当位置, 以确保至少覆盖当前排的探测器单元的所有相邻模块之间的空气间隙以及确保足够的等式用于优化。在根据本发明的一个实施例中, 可以将长度为100mm、直径为2mm的铁棒作为校准模放置在偏离SF0V中心约200mm处, 使得覆盖所有排的探测器单元的相邻模块之间的空气间隙。

[0082] 在步骤S320中, CT扫描仪对校准模进行多个角度的轴向扫描, 从而得到校准模的对应于多个角度的投影图像。原则上, 7个角度的轴向扫描数据采集可以求解出 S 。但是, 为了获得高精度, 在根据本发明的一个实施例中, CT扫描仪对校准模进行完整的轴向扫描, 例如, 1秒钟扫描一周, 从而产生984个投影图像, 即, 得到校准模的对应于984个角度的投影图像。

[0083] 在步骤S330中, 从所得到的校准模的对应于多个角度的投影图像中提取校准模在当前排的探测器单元上的对应于每个角度的投影数据并计算校准模在当前排的探测器单元上的对应于每个角度的投影数据的高斯中心(即, 响应曲线中对应于最大衰减的探测器单元的位置), 作为校准模在当前排的探测器单元上的对应于该角度的实际投影坐标, 如图4中的 x_p 所示。

[0084] 在步骤S340中, 对校准模应用前向投影函数来获取校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的计算投影坐标。

[0085] 在步骤S350中, 通过非线性最小二乘拟合算法基于实际投影坐标和计算投影坐标对以下目标函数进行优化, 从而得到对应于当前排的探测器单元的 x 和 y 以及 S 的校准值, 使得以下目标函数具有最小值:

$$[0086] \quad F = \sum_{i=1}^m (x_p(\beta_i) - P_{\beta_i}(x, y, S))^2 \quad (2)$$

[0087] 其中 F 表示目标函数, β_i 表示当前扫描角度; m 表示扫描角度的数量; $x_p(\beta_i)$ 表示校准模在当前排的探测器单元上的对应于当前扫描角度的实际投影坐标, $P_{\beta_i}(x, y, S)$ 表示校准模在当前排的探测器单元上的对应于当前扫描角度的计算投影坐标。在根据本发明的一个实施例中, 是利用Powell优化算法对以下目标函数进行优化:

$$[0088] \quad F = \sum_{i=1}^{984} (x'_p(\beta_i) - P_{\beta_i}(x, y, S))^2 \quad (3)$$

[0089] 在下文中将对优化过程进行进一步阐述。

[0090] 在步骤S360中,输出当前排的探测器单元的S的校准值。

[0091] 在步骤S370中,对其余各排的探测器单元重复步骤S330-S360,从而输出其余各排探测器单元的S的校准值。

[0092] 将输出的各排的探测器单元的S的校准值用于后续的图像重构过程。

[0093] 优化过程

[0094] 利用非线性最小二乘拟合算法对目标函数(2)进行优化时,最初使用的是初始参数集合。该初始参数集合是由向量 V_{ini} 表示的参数集合,包括以下参数:

[0095] 校准模的位置参数: x, y ;以及

[0096] 未知几何参数的集合: S ,

[0097] 其中,未知几何参数的集合 S 包括用于描述相邻模块之间的空气间隙大小的几何参数 $modGap$ 和用于描述ISO通道偏移的几何参数 $colOffset$ 。

[0098] 应当理解的是,未知几何参数的集合并不限于上面给出的几何参数。本领域技术人员可以根据实际需要选取合适的几何参数。

[0099] 校准模的位置参数 x, y 的初始值可以根据经验来设置,而未知几何参数集合 S 的初始值则可以根据探测器的设计值来设置。在根据本发明的一个实施例中,校准模的位置参数 x, y 的初始值可以设置为 $(0, 200)$,即,校准模在 y 轴上,距离旋转中心为200mm,而 $modGap$ 的初始值为0.15mm, $colOffset$ 的初始值为0。

[0100] 如前面所述,利用非线性最小二乘拟合算法对目标函数(2)进行优化时,最初使用的是初始参数集合,例如 $V_{ini} = (x_0, y_0, S_0)$,其中 x_0, y_0 表示校准模的位置 x, y 的初始值,而 S_0 表示未知几何参数集合 S 的初始值。这样,利用如等式(1)所描述的前向投影过程,可以获取校准模在当前排的探测器单元上对应于角度 β 的计算投影坐标 $x_{p\beta} = P_{\beta}(x_0, y_0, S_0)$ 。

[0101] 为了进行优化,需要CT扫描仪对在SFOV中的校准模进行多个角度的轴向扫描,从而得到对应角度的投影图像。然后,从所得到的多个角度的投影图像中提取对应于当前排的探测器单元的投影数据并计算校准模在当前排的探测器单元上的对应于每个角度的投影数据的高斯中心,作为校准模在当前排的探测器单元上的对应于该角度的实际投影坐标。利用式(1)获取校准模在当前排的探测器单元上的对应于每个角度的计算投影坐标。然后,通过非线性最小二乘拟合算法基于多个角度的实际投影坐标和对应的计算投影坐标来得到最终的参数集合 V 。最终的参数集合 V 中的 S 的值与对应的实际值最接近。

[0102] 图5示出的是根据本发明的一个实施例的非线性最小二乘拟合算法的输入和输出的示意图。可以向非线性最小二乘拟合算法输入待校准的参数以及校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标和计算投影坐标,以得到与安装的CT扫描仪最佳匹配的几何参数。如图5所示,将待校准的参数、校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标和计算投影坐标作为非线性最小二乘拟合算法的输入,通过非线性最小二乘拟合算法将待校准的参数进行优化,最终得到校准的参数。

[0103] 在对某排探测器单元(结构为 $5 \times 4 \times 34$)进行独立的几何校准时,可以将待校准的

参数、校准模在当前排的探测器单元上的对应于至少7个角度的实际投影坐标和计算投影坐标作为非线性最小二乘拟合算法的输入,通过非线性最小二乘拟合算法将待校准的参数进行优化,从而得到校准的参数。在根据本发明的一个实施例中,可以将待校准的参数、校准模在当前排的探测器单元上的对应于984个角度的实际投影坐标和计算投影坐标作为非线性最小二乘拟合算法的输入,通过非线性最小二乘拟合算法将待校准的参数进行优化,从而得到校准的参数。

[0104] 在根据本发明的一个实施例中,可以使用例如Powell优化算法或其它适合的非线性最小二乘拟合算法来优化待校准的参数。

[0105] 在获取校准的几何参数后,将其用于临床应用中可以获得高质量的重构图像,其中,环状伪影得以消除,并且MTF得以改进。

[0106] 图6示出的是根据本发明的一个实施例的用于几何校准具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的装置600的方框图。在装置600中,包括:几何描述建立部件,用于建立CT扫描仪的完整几何描述,其中完整几何描述包括至少一个未知几何参数;前向投影函数建立部件,用于利用完整几何描述来建立前向投影函数的描述;实际投影坐标获取部件,用于获取置入扫描视野SFOV中的校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的实际投影坐标;计算投影坐标获取部件,用于利用前向投影函数的描述来获取校准模在当前排的探测器单元上的对应于多个角度的计算投影坐标;以及校准值获取部件,用于通过非线性最小二乘拟合算法基于所获取的实际投影坐标和计算投影坐标来求解至少一个未知几何参数,从而得到至少一个未知几何参数的校准值。

[0107] 表2示出的是基于数字仿真在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之后得到的校准值与仿真值:

[0108] 表2

条目		ISO 通道 偏移 (通道 数)	相邻模块 之间的空 气间隙 1 (mm)	相邻模块 之间的空 气间隙 2 (mm)	相邻模块 之间的空 气间隙 3 (mm)	相邻模块 之间的空 气间隙 4 (mm)
第 1 组	仿真值	-5.272	0.08	0.24	0.30	0.18
	校准值	-5.270	0.075	0.241	0.299	0.177
第 2 组	仿真值	-5.25	0.28	0.56	0.48	0.38
	校准值	-5.248	0.272	0.559	0.480	0.372

[0110] 由表2列出的校准值与仿真值可以看出,在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之后得到的校准的几何参数(即,校准值)几乎等于在仿真中给出的几何参数(即,仿真值)。

[0111] 图7示出的是基于数字仿真在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之前和之后的重构图像的对比图。左边示出的是在几何校准之前得到的重构图像,其中出现了环状伪影。右边示出的是在几何校准之后得到的重构图像,其中,环状伪影已被消除。

[0112] 图8示出的是基于来自具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的真实数据在实施根

据本发明的一个实施例的几何校准之前和之后的水模重构图像的对比图。上边示出的是在几何校准之前得到的水模重构图像,其中出现了两个环状伪影,外环状伪影的直径为161.5mm,内环状伪影的直径为78.4mm。下边示出的是在几何校准之后得到的水模重构图像,其中,环状伪影得以消除。

[0113] 图9示出的是基于来自具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的真实数据在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之前和之后的QA模重构图像的对比图。上边示出的是在几何校准之前得到的QA模重构图像。下边示出的是在几何校准之后得到的QA模重构图像。可以看出,在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之后,QA模重构图像的分辨率得以提高。

[0114] 图10示出的是基于来自具有大型平板模块探测器的CT扫描仪的真实数据在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之前和之后的GEPP模重构图像的对比图。上边示出的是在几何校准之前得到的GEPP模重构图像。下边示出的是在几何校准之后得到的GEPP模重构图像。可以看出,在实施根据本发明的一个实施例的几何校准之后,由于ISO通道不准确而导致的重影得以消除,从而使得MTF得以改进。

[0115] 根据本发明的方法和装置可以利用非常简单的校准模(例如,铁棒)对具有大型平板模块探测器的CT扫描仪进行容易且快速的几何校准,而且铁棒的引入不会带来成本的显著增加。根据本发明的方法和装置仅利用了普通的轴向扫描,因此便于应用于将来的产品中。根据本发明的方法和装置因为是利用非线性最小二乘拟合算法来进行参数优化,所以使得计算的速度非常快并且结果可靠,通常用2-3秒可以完成计算。

[0116] 以上通过特定的实施例对本发明进行了详细的描述,但本发明并不限于上述实施例。在不脱离本发明范围的前提下,可以对本发明进行各种修改和变更。本发明的范围由所附权利要求书限定。

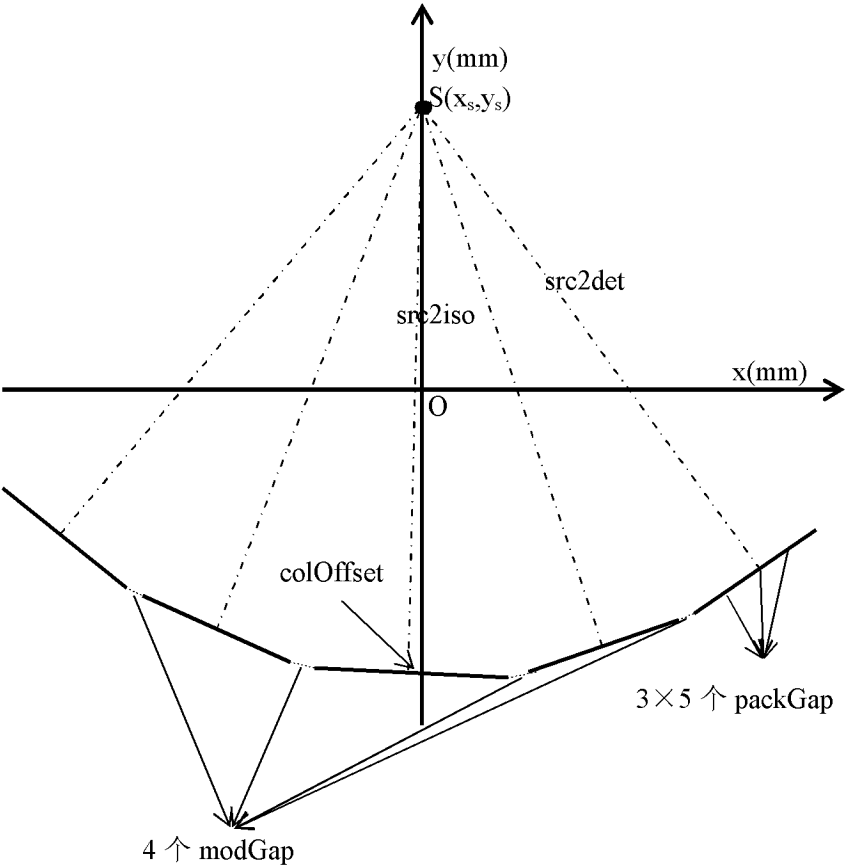


图 1

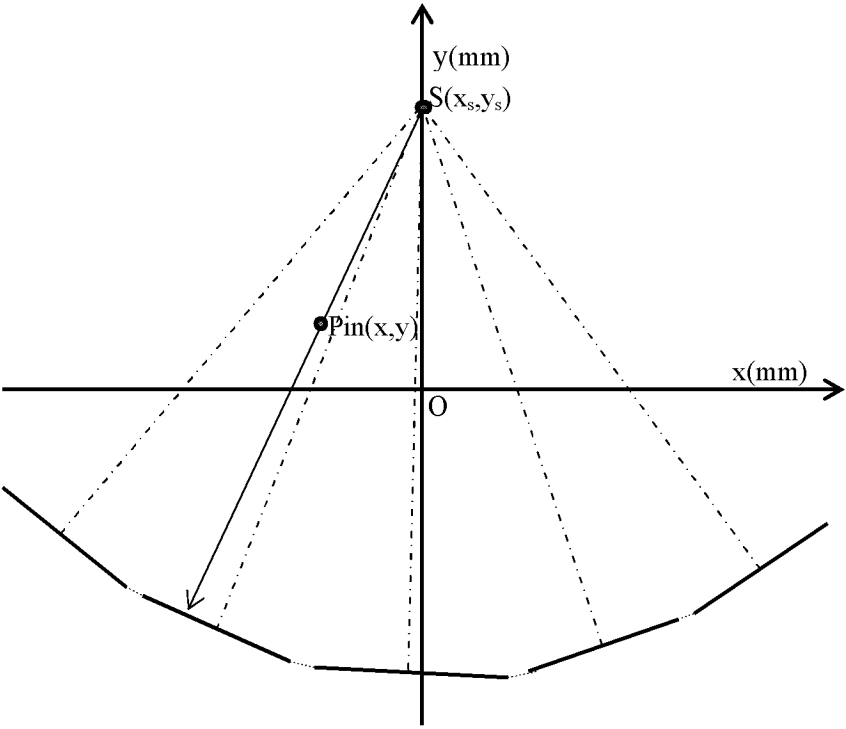


图 2

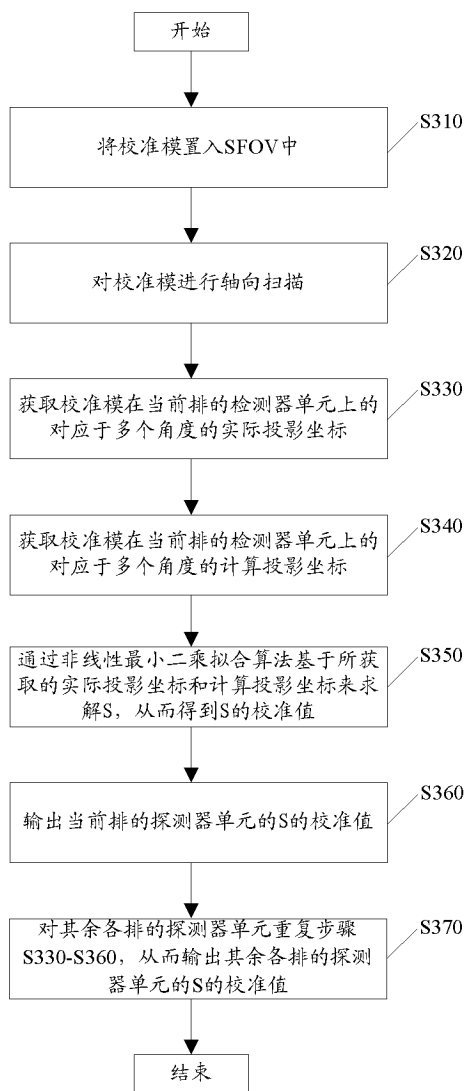


图 3

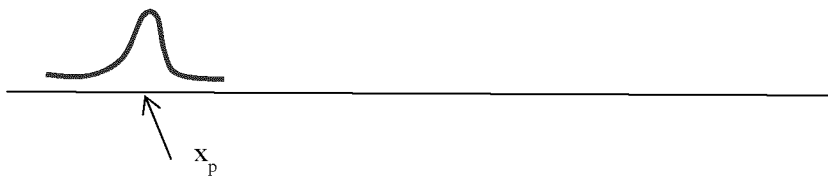


图 4

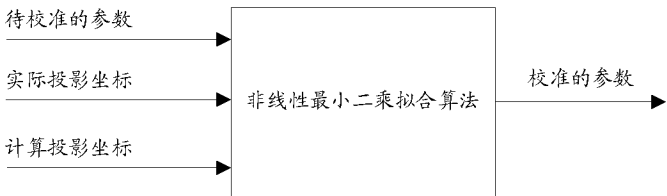


图 5

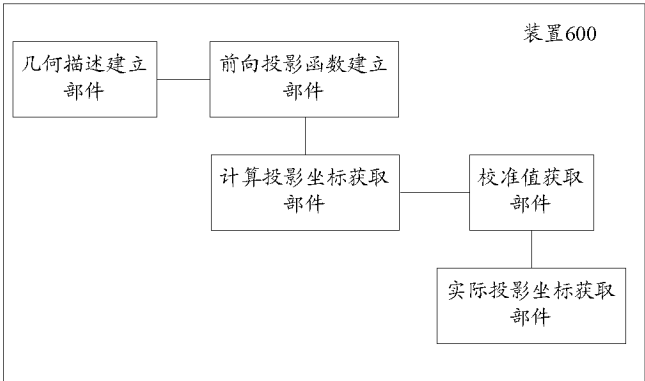


图 6

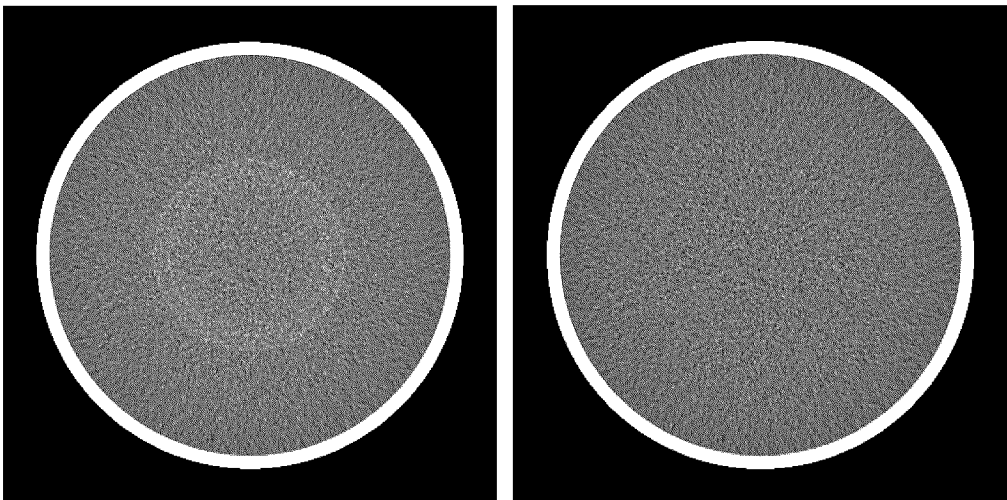


图 7

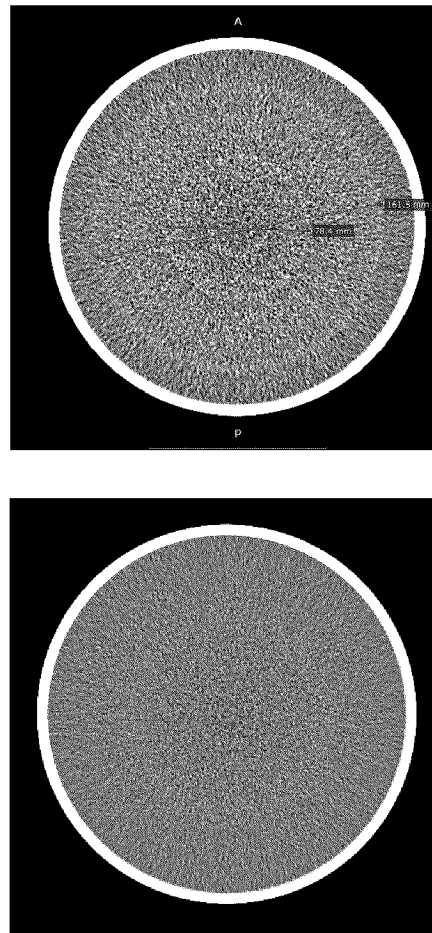


图 8

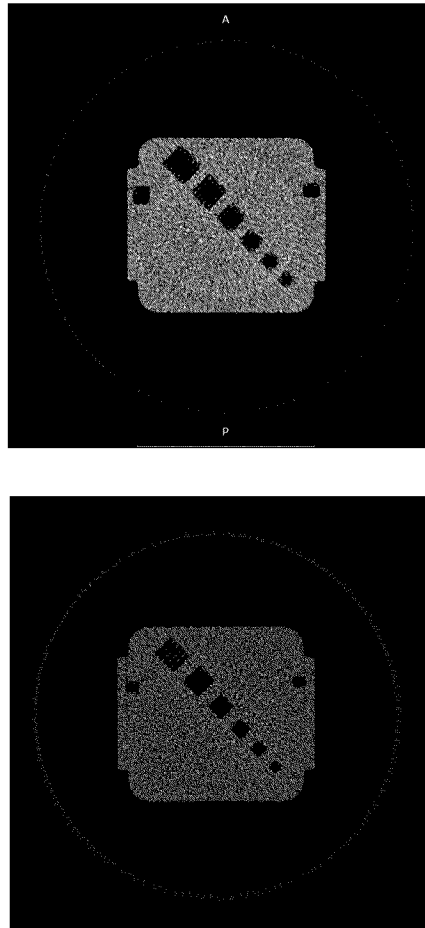


图 9

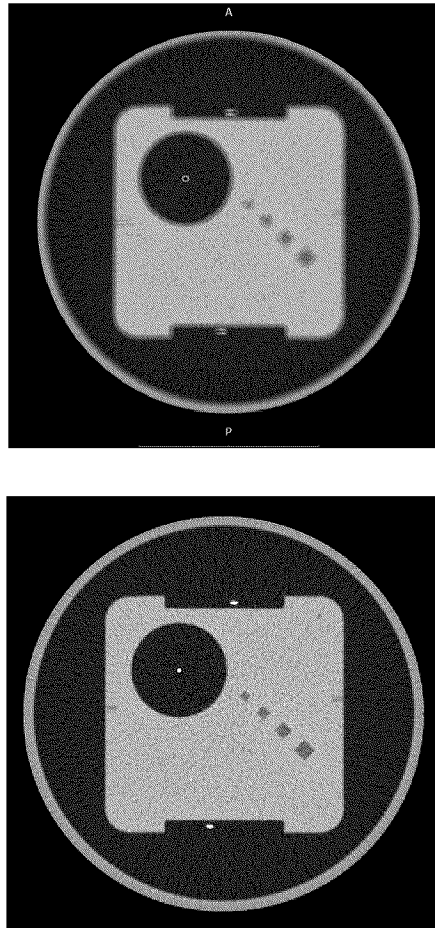


图 10