

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 7 月 26 日 (26.07.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/133090 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 23/04 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/072177
- (22) 国际申请日: 2017 年 1 月 23 日 (23.01.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 深圳先进研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 陈垦(CHEN, Ken); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。王澄(WANG, Cheng); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。秦文健(QIN, Wenjian); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。熊璟(XIONG,

Jing); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。谢耀钦(XIE, Yaoqin); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京品源专利代理有限公司(BEYOND ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市海淀区莲花池东路39号西金大厦6层, Beijing 100036 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(54) Title: PARAMETER CALIBRATION METHOD, DEVICE, AND SYSTEM FOR X-RAY MACHINE

(54) 发明名称: X光机的参数校准方法、装置及系统

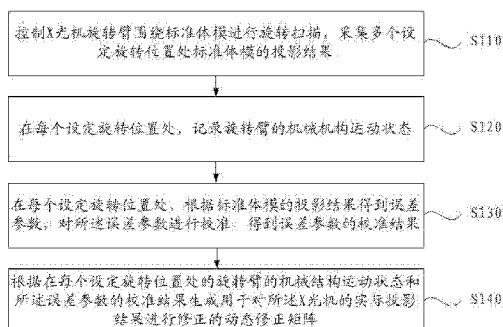


图 1

(57) Abstract: A parameter calibration method, device, and system for an X-ray machine. The method comprises: controlling a rotating arm of an X-ray machine to rotate about and scan a standard phantom, and acquiring projection results of the standard phantom at multiple preset rotation positions (S110); recording, at each of the preset rotation positions, a mechanical structure motion state of the rotating arm (S120); calibrating, at each of the preset rotation positions and according to the projection results of the standard phantom, an error parameter to obtain a calibration result of the error parameter (S130); and generating, according to the mechanical structure motion state of the rotating arm at each of the preset rotation positions and the calibration result of the error parameter, a dynamic correction matrix for correcting an actual project result of the X-ray machine (S140).

(57) 摘要: 一种X光机的参数校准方法、装置及系统, 该方法包括: 控制X光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描, 采集多个设定旋转位置处标准体模的投影结果(S110); 在每个设定旋转位置处, 记录旋转臂的机械结构运动状态(S120); 在每个设定旋转位置处, 根据标准体模的投影结果, 对误差参数进行校准, 得到误差参数的校准结果(S130); 根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和误差参数的校准结果, 生成用于对X光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵(S140)。

- S110 Control a rotating arm of an X-ray machine to rotate about and scan a standard phantom, and acquire projection results of the standard phantom at multiple preset rotation positions
- S120 Record, at each of the preset rotation positions, a mechanical structure motion state of the rotating arm
- S130 Obtain, at each of the preset rotation positions, an error parameter according to the projection results of the standard phantom, and calibrate the error parameter to obtain a calibration result of the error parameter
- S140 Generate, according to the mechanical structure motion state of the rotating arm at each of the preset rotation positions and the calibration result of the error parameter, a dynamic correction matrix for correcting an actual project result of the X-ray machine

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

X 光机的参数校准方法、装置及系统

技术领域

本公开涉及信号处理技术，例如涉及一种X光机的参数校准方法、装置及系统。

背景技术

在X光三维图像重建中，C型臂光源和探测器的运行轨迹是否符合预设轨迹会影响重建图像的质量。C型臂系统运行过程中机械结构的抖动会使射线源至探测器的距离、射线源至旋转中心的距离、旋转中心位置等重要参数发生变化，导致投影图像出现缩放或是平移；或是出现投影采集角度与预设角度不同的情况，最终导致重建图像中可能出现伪影，影响图像重建质量。而机械结构的抖动缺乏观测手段，使得对这些因素的校准和修正较为困难。

针对系统参数与设计目标之间的差异，可以采用针对静态状态下系统参数与设计目标之间的差异而进行的参数校准。

发明人发现对系统结构参数进行校准的方法是根据静态状态下系统参数与设计目标之间的差异而进行的校准，不能对系统运动产生的误差进行校准和修正。

发明内容

本公开提供一种X光机的参数校准方法、装置及系统，可以实现对X光机运动中产生的误差进行校准。

一种X光机的参数校准方法，该方法可以包括：

控制X光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，采集多个设定旋转位置处的标准体模的投影结果；

在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态；

在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果；以及

根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述X光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

一种X光机的参数校准装置，可用于执行本实施例所述的X光机的参数校

准方法，该装置可以包括：

投影结果采集模块，设置为控制X光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，采集多个设定旋转位置处的标准体模的投影结果；

运动状态记录模块，设置为在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态；

误差参数校准模块，设置为在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果；以及

动态修正矩阵生成模块，设置为根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述X光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

一种X光机的参数校准系统，该系统可以包括：

旋转臂、相对设置于所述旋转臂之上的X光光源以及探测器、处理器、图像采集器件、运动状态采集部件以及标准体模；

所述旋转臂，设置为根据所述处理器发送的控制信号带动所述X光光源以及探测器围绕所述标准体模进行多个设定旋转角度的旋转；

所述X光光源，设置为向所述标准体模发送X光扫描信号；

所述探测器，设置为采集所述X光扫描信号在所述标准体模上的投影数据；

所述图像采集器件，设置为根据所述探测器采集的投影数据，生成标准体模的投影结果；

所述运动状态采集部件，设置为获取所述旋转臂的机械结构运动状态；

所述处理器，设置为控制所述旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，获取多个设定旋转位置处的投影结果；在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态；在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果；根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述X光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

本实施例提供的X光机的参数校准方法、装置及系统，通过控制X光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，根据标准体模在多个旋转位置处的投影结果，可以实现对旋转臂的不同机械结构运动状态下的误差参数进行校准，从而可以解决在对系统结构参数进行校准的方法通常是根据静态状态下系统参数与设计目标之间的差异而进行的校准，不能对系统运动产生的误差进行校准和修正的问题，可以实现对X光机运动中产生的误差参数进行校准，为X光机的参

数校准提供一种新的思路，通过利用误差参数校准结果对实际投影结果进行修正，可以提高三维重建后图像的质量。

附图说明

图1是本实施例一提供的一种X光机的参数校准方法的流程图。

图2a是本实施例二提供的一种X光机的参数校准方法的流程图。

图2b是本实施例二提供的计算切向位移误差的多个参数的示意图。

图2c是本实施例二提供的计算径向位移误差的多个参数的示意图。

图3a是本实施例三提供的一种X光机的参数校准方法的流程图。

图3b是本实施例三提供的一种标准体模的俯视图。

图3c是本实施例三提供的一种标准体模的左视图。

图3d是本实施例三提供的一种标准体模的主视图。

图3e是本实施例三提供的在标准体模的投影图像中计算采集角度的多个参数的示意图。

图4是本实施例四提供的一种X光机的参数校准方法的流程图。

图5是本实施例五提供的一种X光机的参数校准方法的流程图。

图6是本实施例六提供的一种X光机的参数校准装置的结构图。

图7是本实施例七提供的一种X光机的参数校准系统的结构图。

图8是本实施例七提供的一种应用场景中X光机的参数校准系统对应的校准方法的流程图。

图9是本实施例七提供的一种应用场景中X光机的参数校准系统的结构图。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本公开作相关说明。可以理解的是，此处所描述的实施例仅仅用于解释本公开，而非对本公开的限定。另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与本公开相关的部分而非全部结构。在不冲突的情况下，以下实施例和实施例中的特征可以相互组合。

另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与本公开相关的部分而非全部内容。在讨论示例性实施例之前应当提到的是，一些示例性实施例被描述成作为流程图描绘的处理或方法。虽然流程图将操作（或步骤）描述成顺序的处理，但是许多操作可以被并行地、并发地或者同时实施。此外，操作的顺序可以被重新安排。当其操作完成时所述处理可以被终止，但是还可以具

有未包括在附图中的附加步骤。所述处理可以对应于方法、函数、规程、子例程、子程序等等。

本实施例可以应用于对X光机的参数进行校准。在医学中，X光机可以作为一种采集人体图像的仪器。参数校准是一种减小系统误差的方法，可以是指针对系统的结构参数对误差量进行校准，进而可以基于该校准的误差量设定合理的补偿量，以达到减小系统的测量误差的目的。

发明人通过研究发现：参数校准的方法通常是在静态系统下对结构参数进行校准，不能实现对系统运动产生的误差进行校准。

在本实施例中，构造了一个标准人体模型（以下简称标准体模），控制X光机旋转臂围绕该标准体模进行旋转扫描，根据标准体模在多个旋转位置处的投影结果与理想的投影结果之间的差异，可以实现对旋转臂的不同机械结构运动状态下的误差参数进行校准，从而可以实现对X光机运动产生的误差进行校准。

实施例一

图1是本实施例一提供的一种X光机的参数校准方法的流程图。本实施例的方法可以适用于对X光机旋转臂旋转过程中产生的误差进行校准的情况。该方法可以由X光机的参数校准装置执行，该装置可由软件和/或硬件的方式实现，并一般可集成于X光机中。如图1所示，本实施例的方法可以包括S110-S140。

在S110中，控制X光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，采集多个设定旋转位置处的标准体模的投影结果。

所述标准体模可以是指预先构造的，形状符合设定规则的实际扫描对象的替代物，用以校准X光机实际运动过程中产生的误差量。其中，考虑到球形在所有方向上的投影直径均相同，所述标准体模可选为球形体模。

可选地，X光机的旋转臂可以是C型臂，也可以是O型臂。其中，可以通过控制X光机旋转臂的旋转角度来使旋转臂到达不同的旋转位置，示例性的，旋转角度可以分别设定为 $\pi/3$ 、 $5\pi/6$ 、 $4\pi/3$ 、以及 $11\pi/6$ 等。

所述投影结果可以是指所述X光机旋转臂旋转至设定旋转位置处，通过X光源发射X光获取的该标准体模的投影图像。

可选地，为了保证后续误差参数校准的准确性，在控制X光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描之前，可以将所述X光机的X光光源在探测器中的投影位置调整至与所述探测器的中心重叠，并将标准体模的几何中心调整至与所述X光机旋转臂的设计旋转中心重叠。可选地，该探测器可为平板探测器。

在 S120 中,在每个设定旋转位置处,记录所述旋转臂的机械结构运动状态。

为了实现将旋转臂调整至设定的旋转位置处,需要调整旋转臂内部或者外部的一个或者多个机械结构进行相应的机械运动。所述机械结构运动状态可以是指在一个旋转位置处,与上述一个或者多个机械结构对应的运动距离、运动方向或者运动速度等参数。该机械结构运动状态可以通过一个向量来表示。示例性的,可以用向量 s_i 表示一个旋转位置 i 处的机械结构运动状态,所有设定旋转位置对应的机械结构运动状态构成矩阵 S 。

在 S130 中,在每个设定旋转位置处,根据所述标准体模的投影结果,对所述误差参数进行校准,得到误差参数的校准结果。

可以理解的是,如果在旋转臂的旋转过程中,不发生任何机械抖动以及偏移,标准体模的投影结果应该有一个理想预期值。然而,在实际旋转扫描过程中,由于机械抖动或者机械偏移等因素,导致实际投影结果与该理想预期值之间存在误差。在本实施例中,可以通过将实际旋转扫描过程中获取的标准体模在实际投影结果与这个理想预期值进行比较,确定上述旋转过程中的误差参数,其中,所述误差参数可以是实际投影结果与理想预期值之间的差值,例如:在一个设定旋转角度下,X光机旋转臂的旋转中心的理论预期值为 F ,通过实际投影结果计算得到的实际投影中心为 H ,则可以将 $(F-H)$ 作为误差参数;所述误差参数还可以是一个与理想预期值对应的偏差值,例如,设定X光机旋转臂的理想旋转角度为 30° ,由实际投影结果确定的旋转臂的实际旋转角度为 31° ,则可以将 31° 作为误差参数。

相应的,可以根据实际投影结果与理想预期值之间的差异,对所述旋转臂在不同机械结构运动状态下的误差参数进行校准。进而可以实现当实际的扫描对象放置于X光机后,根据X光机的机械结构运动状态,以及预先校准的误差参数,对该扫描对象的投影图像进行修正。

在 S140 中,根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果,生成用于对所述X光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

可以理解的是,对误差参数进行校准时,所设定的旋转臂的旋转角度是有限的。因此,不可能通过穷举所有的旋转臂的机械结构运动状态来计算不同机械结构状态下对应的误差参数。但是在实际应用中,X光机的旋转臂则可能旋转至任意角度,该角度对应的机械结构运动状态的误差参数可能是未被预先校准的。此时,无法根据预先校准结果对X光机的旋转臂进行修正。为了解决上述

问题，可以基于已经校准的多个机械结构运动状态的误差参数构造一个最优估计矩阵，即：动态修正矩阵，以实现通过有限个已校准的机械结构运动状态对任意一个机械结构运动状态的误差参数进行估计。

本实施例提供的 X 光机的参数校准方法，通过控制 X 光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，根据标准体模在多个旋转位置处的投影结果对旋转臂的不同机械结构运动状态下的误差参数进行校准，可以解决传统的对系统结构参数进行校准的方法通常是根据静态状态下系统参数与设计目标之间的差异而进行的校准，不能对系统运动中产生的误差进行校准和修正的问题，可以实现对 X 光机运动中产生的误差参数进行校准，为 X 光机的参数校准提供一种新的思路，通过利用误差参数校准结果对实际投影结果进行校准，还可以提高三维重建后图像的质量。

实施例二

图 2a 是本实施例二提供的一种 X 光机的参数校准方法的流程图，在上述实施例的基础上，将标准体模选为球形体模，且所述标准体模沿直径方向上可以包括两个正交对准通孔，相应的，在控制 X 光机的旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，获取多个设定旋转位置处的标准体模的投影结果之前，还可以包括：确定所述 X 光机的 X 光光源在探测器中的投影位置与所述探测器的中心重叠，所述标准体模的球心与所述 X 光机旋转臂的设计旋转中心重叠；可选地，所述误差参数可以包括：旋转中心在旋转平面内的切向位移误差以及径向位移误差，并基于该误差参数的类型，给出了误差参数的计算过程。相应的，本实施例的方法可以包括如下步骤。

在 S210 中，确定 X 光机的 X 光光源在探测器中的投影位置与所述探测器的中心重叠，所述标准体模的球心与所述 X 光机旋转臂的设计旋转中心重叠。

在本实施例中，所述标准体模为球形体模，调整该标准体模的球心，使得该标准体模的球心与所述 X 光机旋转臂的设计旋转中心重叠，所述标准体模沿直径方向上可以包括两个正交对准通孔。

相应的，通过在标准体模沿直径方向上设置两个正交对准通孔，可以方便将标准体模的球心设置在所述 X 光机旋转臂的设计旋转中心上。

将标准体模置于 C 型臂成像范围内，调整该标准体模沿一个直径方向的位置，令 X 光源发射的激光穿过该标准体模直径方向上的一个通孔。此后，将旋转臂旋转 $\pi/2$ ，调整标准体模沿另一个直径方向的位置，令激光穿过该标准体

模直径方向上的另一个通孔, 其中, 这两个直径方向上的通孔为正交对准的通孔。此时, 可以确定该标准体模的球心位于旋转臂的设计旋转中心上。

在 S220 中, 控制 X 光机旋转臂围绕所述标准体模进行旋转扫描, 采集多个设定旋转位置处标准体模的投影结果。

在 S230 中, 在每个设定旋转位置处, 记录所述旋转臂的机械结构运动状态。

在 S240 中, 获取与设定旋转位置 i 对应的目标投影结果和目标机械结构运动状态, $i \in [1, N]$, N 为所述旋转臂一个旋转扫描周期经过的设定旋转角度总数。

旋转臂一个旋转扫描周期可以设定为 2π 。在一个旋转扫描周期中, 设定旋转角度可以为多个, 从而可以保证设定旋转角度的全面性, 获得比较丰富的目标投影结果。

在 S250 中, 在所述目标投影结果中, 获取所述标准体模的投影直径, 以及所述标准体模的投影中心与所述目标投影结果的图像中心的位置差。

标准体模是球型体模, 所以经过 X 光机的旋转臂旋转扫描后, 标准体模的直径对应有投影直径。另外, 由于 X 光机旋转臂在旋转的过程中存在抖动的问题, 使得标准体模的投影中心与目标投影结果的图像中心存在位置差。

在 S260 中, 根据所述标准体模的投影直径、所述标准体模的实际直径和旋转臂的源板距离, 计算旋转中心在旋转平面切向方向上的目标切向位移误差。

图 2b 为计算目标切向位移误差多种参数的示意图, 其中, 标准体模的投影直径为 d_1 , 标准体模的实际直径为 d_2 , 以及旋转臂的 X 光源中心 A 至平板探测器之间的距离(以下简称旋转臂的源板距离)为 L , 在目标机械结构运动状态下, 旋转臂的旋转中心 C 在旋转平面切向方向上的投影点 D 的目标切向位移误差为 y_i 。图 2b 中, A 点为 X 光源中心, B 为标准体模的球心, C 为旋转臂的旋转中心, D 为旋转中心在旋转平面切向方向上的投影点, E 点为 DC 连线与 X 光源的投影射线的一个交点, F 为标准体模在平板探测器上的投影中心, G 为与标准体模相切的最外侧射线和旋转臂的平板探测器的交点。由于旋转臂的旋转中心 C 偏离标准体模的球心 B 的距离很小, 即 y_i 的值很小, 因此, DE 的长度近似为 $d_2/2$ 。

令所述旋转臂旋转中心 C 至 X 光源中心 A 的距离与旋转臂源板距离 L 之间的比值为 k , 则将标准体模的球心 B 放置于所述旋转臂旋转中心 C 上后, 标准体模的球心 B 至 X 光源中心 A 的距离, 即 AB 的长度, 与旋转臂的源板距离 L 的比值为 k , 则 AD 的长度为 $kL + y_i$ 。根据三角形的相似原理, $\triangle AFG \sim \triangle ADE$, 可以得到 $\frac{AF}{AD} = \frac{FG}{DE}$, 即 $\frac{L}{kL + y_i} = \frac{d_1/2}{d_2/2}$, 因此 $y_i = \frac{L(d_2 - kd_1)}{d_1}$ 。

在 S270 中, 根据所述标准体模的投影直径、所述标准体模的实际直径和所述标准体模的投影中心与所述目标投影结果的图像中心的位置差, 计算旋转中心在旋转平面径向方向上的目标径向位移误差。

图 2c 为计算目标径向位移误差的多个参数的示意图, 其中, 标准体模的投影直径为 d_1 , 标准体模的实际直径为 d_2 , 以及旋转臂的源板距离为 L , 目标机械结构在运动状态下, 旋转中心在旋转平面切向方向上的目标径向位移误差为 x_i , 图 2c 中, A 点为 X 光源中心, B 为标准体模的球心, C 为旋转中心, D1 为旋转中心在旋转平面径向方向上的投影点, D 为旋转中心在旋转平面切向方向上的投影点, H 点为 AC 连线的延长线与旋转臂的平板探测器的交点, 即目标投影结果的中心, F 为标准体模的投影中心, G 为与标准体模相切的最外侧射线与平板探测器的交点。FH 的长度为标准体模投影中心与目标投影结果中心的位置差 X 。根据三角形的相似原理, $\triangle AFH \sim \triangle ADC$, 可以得到 $\frac{AF}{AD} = \frac{FH}{DC}$, 即 $\frac{L}{L+y_i} = \frac{X}{x_i}$, 结合 $\frac{L}{L+y_i} = \frac{d_1/2}{d_2/2}$, 因此 $x_i = \frac{X \cdot d_2}{d_1}$ 。

在 S280 中, 根据所述目标切向位移误差及目标径向位移误差的校准结果, 以及所述旋转臂的机械结构运动状态, 生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

根据目标切向位移误差 y_i 及目标径向位移误差 x_i , 构成误差矩阵 P , 其中误差矩阵 P 是由 p_i 组成的矩阵, $p_i = (x_i, y_i)$ 。将所有设定旋转位置处的机械结构运动状态 s_i 组成机械结构矩阵 S 。对误差矩阵 P 进行奇异值分解, 得到 $P=EW$, W 为权值矩阵, E 为特征值矩阵。构造 $E(W S^T (S S^T)^{-1})$ 作为动态修正矩阵。

本实施例的技术方案通过校准旋转臂在不同机械结构运动状态下旋转中心的切向位移误差和径向位移误差, 获得对 X 光机的实际投影结果的旋转中心进行修正的动态修正矩阵, 通过应用该动态修正矩阵, 可以实现对实际投影结果旋转中心的切向位移误差和径向位移误差进行修正的目的, 进而可以提高三维成像后图像的质量。

实施例三

图 3a 是本实施例三提供的一种 X 光机的参数校准方法的流程图, 本实施例以上述实施例为基础, 在所述标准体模上设置与任意一个对准通孔相交的两个标记通孔, 该两个标记通孔关于标准体模的球心对称, 且分别垂直于两个对准通孔所确定的平面, 相应的, 该 X 光机的参数校准方法还可以包括: 在每个设

定旋转位置处，记录所述旋转臂的转动角度；误差参数可为包括在所述旋转臂的不同机械结构运动状态下的采集角度，并基于该误差参数的类型，给出了误差参数的计算过程。相应的，本实施例的方法可以包括如下步骤。

在 S310 中，确定 X 光机的 X 光光源在探测器中的投影位置与所述探测器的中心重叠，所述标准体模的球心与所述 X 光机旋转臂的设计旋转中心重叠。

在本实施例中，所述标准体模为球形体模，所述标准体模沿直径方向上包括两个正交对准通孔，可选地，在所述标准体模上设置与任意一个对准通孔相交的两个标记通孔，该两个标记通孔关于标准体模的球心对称，且分别垂直于两个对准通孔所确定的平面。

其中，为了后续误差参数方便计算，距球心等距离位置可以设置为距球心 $1/2$ 半径处。

图 3b 示出了一种标准体模的俯视图，图 3c 示出了一种标准体模的左视图，图 3d 示出了一种标准体模的主视图，其中包含对准通孔 31 和标记通孔 32。

在 S320 中，控制 X 光机旋转臂围绕所述标准体模进行旋转扫描，获取多个设定旋转位置处标准体模的投影结果。

在 S330 中，在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态和所述旋转臂的转动角度。

在本实施例中，所述旋转臂的转动角度可以是向 X 光机的中央处理器中输入的设定旋转角度，基于该设定旋转角度，X 光机可以控制旋转臂进行相应的机械运动，以将旋转臂调整至该设定旋转角度下，并进而在旋转臂旋转结束后，记录相应的机械结构运动参数。

在 S340 中，获取与设定旋转位置 i 对应的目标投影结果、目标机械结构运动状态和所述旋转臂的目标转动角度， $i \in [1, N]$ ， N 为所述旋转臂一个旋转扫描周期经过的设定旋转角度总数。

在 S350 中，在所述目标投影结果中，测量所述标准体模的投影直径，以及所述标准体模两个标记通孔之间的投影距离。

在 S360 中，根据所述标准体模两个标记通孔之间的投影距离、所述目标转动角度以及所述标准体模的投影直径，计算目标机械结构运动状态下的目标采集角度。

图 3e 为在标准体模的投影图像中计算目标采集角度的多个参数的示意图，其中，标准体模两个标记通孔 32 之间的投影距离为 a ，采集角度值为 Θ ，标准体模的投影直径为 d_1 。

示例性的，当对应一个旋转臂旋转位置的旋转角度为 θ ，且 $\theta = \cos^{-1}(2a/d_1)$ ，则对应四个象限的旋转角度值分别为 θ ， $\theta + \pi/2$ ， $\theta + \pi$ ， $\theta + 3\pi/2$ ，该四个角度的集合作为采集角度。在一个旋转扫描周期中对应旋转角度 θ 的采集角度 Θ 为：

$$\Theta = \{\cos^{-1}(2a/d_1), (\cos^{-1}(2a/d_1)) + \pi/2, (\cos^{-1}(2a/d_1)) + \pi, (\cos^{-1}(2a/d_1)) + 3\pi/2\}。$$

将采集角度集合中与目标转动角度的差值最小的采集角度作为目标采集角度的校准结果。当目标转动角度为 φ_i 时，目标采集角度的校准结果为 $\theta_i = \arg \min_{\alpha_n \in \Theta_i} \{\alpha_n - \varphi_i\}$ ，即目标采集角度的校准结果是目标转动角度差值最小的采集角度值，由此可以保证得到的采集角度值与目标转动角度最接近，即该目标采集角度与实际转动角度相符合。

在 S370 中，根据所述目标采集角度的校准结果，以及所述旋转臂的机械结构运动状态，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

根据目标采集角度的校准结果 θ_i 构成误差矩阵 P ，误差矩阵 P 是由 θ_i 组成的矩阵。将所有设定旋转位置处的机械结构运动状态 s_i 组成机械结构矩阵 S 。对误差矩阵进行奇异值分解，得到 $P=EW$ ， W 为权值矩阵， E 为特征值矩阵。构造 $E(WS^T(SS^T)^{-1})$ 作为动态修正矩阵。

本实施例的技术方案通过标准体模两个校准通孔之间的投影距离，目标转动角度以及标准体模的投影直径，计算目标机械结构运动状态下的目标采集角度，根据目标采集角度的校准结果以及旋转臂的机械结构运动状态，生成用于对 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵，可以实现利用对应误差参数为采集角度时的动态修正矩阵进行实际投影结果的修正，提高图像的质量。

实施例四

图 4 是本实施例四提供的一种 X 光机的参数校准方法的流程图，在上述实施例基础上，根据所述误差参数的校准结果，以及所述旋转臂的机械结构运动状态，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵还可以包括：将多个设定旋转位置处的机械结构运动状态组成机械结构矩阵 S ；将多个机械结构运动状态下的误差参数组成误差矩阵 P ；

对误差矩阵 P 进行奇异值分解，得到 $P=EW$ ，其中， W 为权值矩阵， E 为特征

值矩阵；构造 $E(WS^T(SS^T)^{-1})$ 作为所述动态修正矩阵。相应的，本实施例的方法可以包括：

在 S410 中，控制 X 光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，获取多个设定旋转位置处标准体模的投影结果。

在 S420 中，在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态。

在 S430 中，在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果。

在 S440 中，将多个设定旋转位置处的机械结构运动状态组成机械结构矩阵 S。

在 S450 中，将多个机械结构运动状态下的误差参数组成误差矩阵 P。

示例性的，误差参数可以是径向位移误差 x_i 、切向位移误差 y_i 和采集角度校准结果 θ_i ，误差矩阵 P 是由 p_i 组成的矩阵， $p_i = (x_i, y_i, \theta_i)$ 。

在 S460 中，对误差矩阵 P 进行奇异值分解，得到 $P=EW$ ，其中，W 为权值矩阵，E 为特征值矩阵。

在 S470 中，构造 $E(WS^T(SS^T)^{-1})$ 作为动态修正矩阵，用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正。

S 为所有机械结构的运动状态 s_i 组成的矩阵。

本实施例的技术方案通过误差参数构造动态修正矩阵，可以实现对实际投影结果的校正，提高三维成像后图像的质量。

实施例五

图 5 为本实施例五提供的一种 X 光机的参数校准方法的流程图，在上述实施例基础上，该 X 光机的参数校准方法还可以增加根据校准生成的动态修正矩阵，对实际投影结果进行修正的过程。相应的，本实施例的方法可以包括如下步骤。

在 S510 中，控制 X 光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，采集多个设定旋转位置处标准体模的投影结果。

在 S520 中，在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态。

在 S530 中，在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果。

在 S540 中，根据在每个而设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的

动态修正矩阵。

在 S550 中, 控制所述 X 光机旋转臂围绕被测对象进行旋转扫描, 获取实际旋转位置处的待修正投影结果。

在 S560 中, 在实际旋转位置处, 记录所述旋转臂的实测机械结构运动状态。

在 S570 中, 根据所述实测机械结构运动状态以及所述动态修正矩阵, 生成与所述实测机械结构运动状态对应的实际误差参数。

在实际旋转过程中, 对任意实际机械结构运动状态 s_j , 对应误差矩阵 P 的最佳估计为 $E(WS^T(SS^T)^{-1})s_j$, 由此可实现对实际投影结果的修正。

在 S580 中, 根据所述实际误差参数, 对所述待修正投影结果进行图像修正。

所述实际误差参数可以包括: 在所述旋转臂的实测机械结构运动状态 s_j 下, 旋转中心在旋转平面上的实测目标切向位移误差 y_j 以及实测目标径向位移误差 x_j ; 根据所述实际误差参数, 对所述待修正投影结果进行图像修正可以包括如下步骤。

获取与实际旋转位置 j 对应的目标待修正投影结果, 目标实际机械结构运动状态, $j \in [1, M]$, M 为所述旋转臂一个旋转扫描周期经过的实际旋转角度总数; 获取与目标实测机械结构运动状态对应的目标切向位移误差、目标径向位移误差。

根据所述目标切向位移误差, 对所述目标待修正投影结果进行设定比例的缩放处理。

由上述实施例可知, 实测目标切向位移误差 $y_j = \frac{L(d_2 - kd_1)}{d_1}$, 其中, 标准体模的投影直径 d_1 , 标准体模的实际直径 d_2 , 以及旋转臂的源板距离 L , k 为标准体模的球心至光源距离, 即 AB 的长度, 与源板距离 L 的比值, 则标准体模的实际图像与投影图像的比值 $\frac{d_2}{d_1} = \frac{kL + y_j}{L}$, 令 $\frac{d_2}{d_1} = k\alpha$, 其中, 理想状态下 $\frac{d_2}{d_1} = k$, 因此可以令目标待修正投影结果进行倍数为 $\alpha = \frac{kL + y_j}{kL}$ 的缩放运算, 以消除缩放误差。可选地, 当 $k=1/2$ 时, $\alpha = \frac{L + 2y_j}{L}$ 。

根据所述目标径向位移误差, 对所述目标待修正投影结果进行设定距离的平移。

由上述实施例可知, 目标径向位移误差 $x_j = \frac{X \cdot d_2}{d_1}$, 其中, X 为标准体模投影中心与目标投影结果中心的位置差, 标准体模的投影直径 d_1 , 标准体模的实际

直径 d_2 ，则标准体模投影中心与目标投影结果中心的位置差 $X = \frac{x_j \cdot d_1}{d_2}$ ，因此，通过对目标待修正投影结果进行 $X = \frac{x_j \cdot d_1}{d_2}$ 平移，可以消除平移误差。

所述实际误差参数可以包括：在所述旋转臂的实测机械结构运动状态下的实际采集角度。

根据所述实际误差参数，对所述待修正投影结果进行图像修正可以包括：根据不同实测机械结构运动状态下的所述实际采集角度，对每个待修正投影结果进行三维重建。

根据所述目标径向位移误差，对所述目标待修正投影结果进行设定距离的平移，根据所述目标切向位移误差，对所述目标待修正投影结果进行设定比例的缩放处理，达到对待修正投影结果的校正的目的。根据校正后的图像和对应角度 θ_j 进行三维重建，提高三维重建后的图像质量。

本实施例的技术方案根据目标切向位移误差，对目标待修正投影结果进行设定比例的缩放处理；根据目标径向位移误差，对目标待修正投影结果进行设定距离的平移，根据不同实测机械结构运动状态下的实际采集角度，对每个待修正投影结果进行三维重建，可以实现对图像的校正，达到提高三维重建后的图像质量的效果。

实施例六

图6为本实施例六提供的一种X光机的参数校准装置的结构图。本公开实施例提供的X光机的参数校准装置可以应用于本公开实施例所述的X光机的参数校准系统中。如图6所示，所述装置包括：投影结果获取模块610、运动状态记录模块620、误差参数校准模块630和动态修正矩阵生成模块640。

投影结果获取模块610，设置为控制X光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，采集多个设定旋转位置处的投影结果。

运动状态记录模块620，设置为在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态。

误差参数校准模块630，设置为在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果。

动态修正矩阵生成模块640，设置为根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述X光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

本实施例提供的 X 光机的参数校准装置，通过控制 X 光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，根据标准体模在多个旋转位置处的投影结果对旋转臂的机械结构运动状态下的误差参数进行校准，可以解决在对系统结构参数进行校准的方法通常为根据静态状态下系统参数与设计目标之间的差异而进行的校准，不能对系统运动产生的误差进行校准和修正的问题，可以实现对 X 光机运动中产生的误差参数进行校准，为 X 光机的参数校准提供一种新的思路，通过利用误差参数校准结果对实际投影结果进行修正，提高三维重建后图像的质量。在上述实施例的基础上，所述标准体模为球形体模，且所述标准体模沿直径方向上包括两个正交对准通孔。

相应的，所述 X 光机的参数校准装置还可以包括：投影位置确定模块，设置为在控制 X 光机的旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，获取多个设定旋转位置处标准体模的投影结果之前，确定所述 X 光机的 X 光光源在探测器中的投影位置与所述探测器的中心重叠，所述标准体模的球心与所述 X 光机旋转臂的设计旋转中心重叠。

可选地，所述误差参数可以包括：在所述旋转臂的每个机械结构运动状态下，旋转中心在旋转平面上的切向位移误差以及径向位移误差。

相应的，所述误差参数校准模块 630 可以设置为：获取与设定旋转位置 i 对应的目标投影结果和目标机械结构运动状态， $i \in [1, N]$ ， N 为所述旋转臂一个旋转扫描周期经过的设定旋转角度总数；在所述目标投影结果中，获取所述标准体模的投影直径，以及所述标准体模的投影中心与所述目标投影结果的图像中心的位置差；根据所述标准体模的投影直径、所述标准体模的实际直径和旋转臂的源板距离，计算旋转中心在旋转平面切向方向上的目标切向位移误差；根据所述标准体模的投影直径、所述标准体模的实际直径，以及所述标准体模的投影中心与所述目标投影结果的图像中心的位置差，计算旋转中心在旋转平面径向方向上的目标径向位移误差。

可选地，在所述标准体模上设置与任意一个对准通孔相交的两个标记通孔，该两个标记通孔关于标准体模的球心对称，且分别垂直于两个对准通孔所确定的平面。

相应的，所述运动状态记录模块 620 还可以设置为：在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的转动角度。

可选地，所述误差参数可以包括：在所述旋转臂的不同机械结构运动状态下的采集角度。

相应的，所述误差参数校准模块 630 可以设置为：获取与设定旋转位置 i 对应的目标投影结果、目标机械结构运动状态和所述旋转臂的目标转动角度， $i \in [1, N]$ ， N 为所述旋转臂一个旋转扫描周期经过的设定旋转角度总数；在所述目标投影结果中，获取所述标准体模的投影直径，以及所述标准体模两个标记通孔之间的投影距离；根据所述标准体模两个标记通孔之间的投影距离、所述目标转动角度以及所述标准体模的投影直径，计算目标机械结构运动状态下的目标采集角度。

可选地，所述动态修正矩阵生成模块 640 可以设置为：将多个设定旋转位置处的机械结构运动状态组成机械结构矩阵 S ；将多个机械结构运动状态下的误差参数组成误差矩阵 P ；对误差矩阵 P 进行奇异值分解，得到 $P=EW$ ，其中， W 为权值矩阵， E 为特征值矩阵；构造 $E(WS^T(SS^T)^{-1})$ 作为所述动态修正矩阵。

可选地，所述 X 光机的参数校准装置还可以包括：待修正投影结果获取模块，设置为在根据在每个设定位置处的旋转臂的机械机构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵之后，控制所述 X 光机旋转臂围绕被测对象进行旋转扫描，采集实际旋转位置处的待修正投影结果。

实测机械结构运动状态记录模块，设置为在根据在每个设定位置处的旋转臂的机械机构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵之后，在实际旋转位置处，记录所述旋转臂的实测机械结构运动状态。

实际误差参数生产模块，设置为根据所述实测机械结构运动状态以及所述动态修正矩阵，生成与所述实测机械结构运动状态对应的实际误差参数。

待修正投影结果修正模块，设置为根据所述实际误差参数，对所述待修正投影结果进行图像修正。

可选地，所述实际误差参数可以包括：在实际旋转位置处，旋转臂的旋转中心在旋转平面内的实际切向位移误差以及实际径向位移误差；

所述实际误差参数生产模块可以设置为：获取与实际旋转位置 j 对应的目标待修正投影结果核目标实际机械结构运动状态， $j \in [1, M]$ ， M 为所述旋转臂一个旋转扫描周期经过的实际旋转角度总数；根据所述动态修正矩阵，获取与目标实测机械结构运动状态对应的目标切向位移误差、目标径向位移误差；根据所述目标切向位移误差，对所述目标待修正投影结果进行设定比例的缩放处理；

根据所述目标径向位移误差，对所述目标待修正投影结果进行设定距离的平移。

可选地，所述实际误差参数可以包括：在所述旋转臂的实测机械结构运动状态下的实际采集角度。

所述实际误差参数生产模块还可以设置为：根据不同实测机械结构运动状态下的所述实际采集角度，对每个待修正投影结果进行三维重建。

本实施例所提供的 X 光机的参数校准装置可用于执行上述任意实施例提供的 X 光机的参数校准方法，具备相应的功能模块。

实施例七

图 7 为本实施例七提供的一种 X 光机的参数校准系统的结构图。如图 7 所示，所述系统可以包括：旋转臂 710、相对设置于所述旋转臂之上的 X 光光源 720 以及探测器 730、处理器 740、图像采集器件 750、运动状态采集部件 760 以及标准体模 770。

所述旋转臂 710，设置为根据所述处理器发送的控制信号带动所述 X 光光源以及平板探测器围绕所述标准体模进行多个设定旋转角度的旋转。

所述 X 光光源 720，设置为向所述标准体模发送 X 光扫描信号。

所述探测器 730，设置为采集所述 X 光扫描信号在所述标准体模上的投影数据。

所述图像采集器件 750，设置为根据所述探测器采集的投影数据，生成标准体模的投影结果。

所述运动状态采集部件 760，设置为获取所述旋转臂的机械结构运动状态。

所述处理器 740，设置为控制所述旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，获取设定多个旋转位置处标准体模的投影结果；在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态；在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校对，得到误差参数的校对结果；根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

可选的，所述标准体模 770 为球形体模，且所述标准体模 770 沿直径方向上包括两个正交对准通孔。

所述处理器 740 还可以设置为：在控制 X 光机的旋转臂围绕标准体模 770 进行旋转扫描，获取不同旋转位置处标准体模的投影结果之前，确定所述 X 光机的 X 光光源 720 在探测器 730 中的投影位置与所述探测器 730 的中心重叠，

所述标准体模 770 的球心与所述 X 光机旋转臂的设计旋转中心重叠。

可选的，在所述标准体模 770 上设置与任意一个对准通孔相交的两个标记通孔，该两个标记通孔关于标准体模的球心对称，且分别垂直于两个对准通孔所确定的平面。

所述处理器 740 还可以设置为：在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的转动角度。

图 8 为一种 X 光机的参数校准系统对应的校准方法的流程图，可以包括：

在 S810 中，初始对准。

初始对准可以是指对准标准体模和 X 光光源中心与平板探测器的中心。

在 S820 中，曝光成像。

曝光成像可以是指对标准体模进行旋转扫描。

在 S830 中，图像分析与校准。

对扫描获得的投影结果进行图像分析，计算误差参数。

在 S840 中，被测物体的实际投影结果校正。

根据误差参数对被测物体的实际投影结果进行修正，得到更加符合实际的高质量图像。

相应的，图 9 为一种 X 光机的参数校准系统的结构图，该 X 光机的参数校准系统可以包括：初始对准模块 910，设置为标准体模的初始对准；图像采集模块 920，设置为采集待校正被测物体实际的投影结果；系统校准模块 930，设置为校准系统的误差参数；图像校正模块 940，设置为根据误差参数对待校正的被测物体的实际投影结果进行修正；人机交互模块 950，设置为人机交互。

本实施例提供的一种 X 光机的参数校准系统，通过控制 X 光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，根据标准体模在多个旋转位置处的的投影结果对旋转臂的不同机械结构运动状态下的误差参数进行校准，可以解决在对系统结构参数进行校准的方法通常是根据静态状态下系统参数与设计目标之间的差异而进行的校准，不能对系统运动产生的误差进行校准和修正的问题，可以实现对 X 光机运动中产生的误差参数进行校准，为 X 光机的参数校准提供一种新的思路，通过利用误差参数校准结果对实际投影结果进行校准，可以提高三维重建后图像的质量。

工业实用性

本公开提供了一种 X 光机的参数校准方法、装置及系统，可以实现对 X 光

机运动中产生的误差参数进行校准，通过利用误差参数校准结果对实际投影结果进行校正，可以提高三维重建后图像的质量。

权利要求书¹⁹

1、一种 X 光机的参数校准方法，包括：

控制 X 光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，采集多个设定旋转位置处标准体模的投影结果；

在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态；

在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果；以及

根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述标准体模为球形体模，且所述标准体模沿直径方向上包括两个正交对准通孔；

在控制 X 光机的旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，采集多个设定旋转位置处标准体模的投影结果之前，还包括：

确定所述 X 光机的 X 光光源在探测器中的投影位置与所述探测器的中心重叠，所述标准体模的球心与所述 X 光机旋转臂的设计旋转中心重叠。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其中，所述误差参数包括：

旋转臂旋转中心在旋转平面内的切向位移误差以及径向位移误差；

在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果，包括：

获取与设定旋转位置 i 对应的目标投影结果、目标机械结构运动状态， $i \in [1, N]$ ， N 为所述旋转臂在一个旋转扫描周期中经过的设定旋转角度总数；

在所述目标投影结果中，获取所述标准体模的投影直径，以及所述标准体模的投影中心与所述目标投影结果的图像中心的位置差；

根据所述标准体模的投影直径、所述标准体模的实际直径和旋转臂的源板距离，计算旋转中心在旋转平面切向方向上的目标切向位移误差；以及

根据所述标准体模的投影直径、所述标准体模的实际直径和所述标准体模的投影中心与所述目标投影结果的图像中心的位置差，计算旋转中心在旋转平面径向方向上的目标径向位移误差。

4、根据权利要求 2 所述的方法，其中，在所述标准体模上设置与任意一个对准通孔相交的两个标记通孔，所述两个标记通孔关于球心对称，且分别垂直于两个对准通孔所确定的平面；

所述方法还包括：在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的转动角度。

5、根据权利要求 4 所述的方法，其中，所述误差参数包括：在所述旋转臂

的不同机械结构运动状态下的采集角度；

在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果，包括：

获取与设定旋转位置 i 对应的目标投影结果、目标机械结构运动状态和所述旋转臂的目标转动角度， $i \in [1, N]$ ， N 为所述旋转臂一个旋转扫描周期经过的设定旋转角度总数；

在所述目标投影结果中，获取所述标准体模的投影直径，以及所述标准体模两个标记通孔之间的投影距离；以及

根据所述标准体模两个标记通孔之间的投影距离、所述目标转动角度和所述标准体模的投影直径，计算目标机械结构运动状态下的目标采集角度。

6、根据权利要求 1-5 任一项所述的方法，其中，根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵，包括：

将多个设定旋转位置处的机械结构运动状态组成机械结构矩阵 S ；

将多个设定旋转位置处的误差参数组成误差矩阵 P ；

对误差矩阵 P 进行奇异值分解，得到 $P=EW$ ，其中， W 为权值矩阵， E 为特征值矩阵；以及

构造 $E(W S^T (S S^T)^{-1})$ 作为所述动态修正矩阵。

7、根据权利要求 1-5 任一项所述的方法，在根据在每个设定位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵之后，还包括：

控制所述 X 光机旋转臂围绕被测对象进行旋转扫描，采集实际旋转位置处的待修正投影结果；

在所述实际旋转位置处，记录所述旋转臂的实测机械结构运动状态；

根据所述实测机械结构运动状态以及所述动态修正矩阵，生成与所述实测机械结构运动状态对应的实际误差参数；以及

根据所述实际误差参数，对所述待修正投影结果进行图像修正。

8、根据权利要求 7 所述的方法，其中，所述实际误差参数包括：在实际旋转位置处，旋转臂的旋转中心在旋转平面内的实际切向位移误差以及实际径向位移误差；

根据所述实际误差参数，对所述待修正投影结果进行图像修正包括：

获取与实际旋转位置 j 对应的目标待修正投影结果和目标实际机械结构运

动状态, $j \in [1, M]$, M 为所述旋转臂一个旋转扫描周期经过的实际旋转角度总数;

根据所述动态修正矩阵, 获取与目标实测机械结构运动状态对应的目标切向位移误差和目标径向位移误差;

根据所述目标切向位移误差, 对所述目标待修正投影结果进行设定比例的缩放处理; 以及

根据所述目标径向位移误差, 对所述目标待修正投影结果进行设定距离的平移。

9、根据权利要求 7 所述的方法, 其中, 所述实际误差参数包括: 在所述旋转臂的实测机械结构运动状态下的实际采集角度;

根据所述实际误差参数, 对所述待修正投影结果进行图像修正包括:

根据不同实测机械结构运动状态下的所述实际采集角度, 对每个所述待修正投影结果进行三维重建。

10、一种 X 光机的参数校准装置, 包括:

投影结果模块, 设置为控制 X 光机旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描, 采集多个设定旋转位置处标准体模的投影结果;

运动状态记录模块, 设置为在每个设定旋转位置处, 记录所述旋转臂的机械结构运动状态;

误差参数校准模块, 设置为在每个设定旋转位置处, 根据所述标准体模的投影结果, 对所述误差参数进行校准, 得到误差参数的校准结果; 以及

动态修正矩阵生成模块, 设置为根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果, 生成用于对所述 X 光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

11、一种 X 光机的参数校准系统, 包括: 旋转臂、相对设置于所述旋转臂之上的 X 光光源以及探测器、处理器、图像采集器件、运动状态采集部件以及标准体模;

所述旋转臂, 设置为根据所述处理器发送的控制信号带动所述 X 光光源以及探测器围绕所述标准体模进行多个设定旋转角度的旋转;

所述 X 光光源, 设置为向所述标准体模发送 X 光扫描信号;

所述探测器, 设置为采集所述 X 光扫描信号在所述标准体模上的投影数据;

所述图像采集器件, 设置为根据所述探测器采集的投影数据, 生成标准体模的投影结果;

所述运动状态采集部件, 设置为获取所述旋转臂的机械结构运动状态;

所述处理器，设置为控制所述旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，获取多个设定旋转位置处的投影结果；在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的机械结构运动状态；在每个设定旋转位置处，根据所述标准体模的投影结果，对所述误差参数进行校准，得到误差参数的校准结果；根据在每个设定旋转位置处的旋转臂的机械结构运动状态和所述误差参数的校准结果，生成用于对所述X光机的实际投影结果进行修正的动态修正矩阵。

12、根据权利要求11所述的系统，其中，所述标准体模为球形体模，且所述标准体模沿直径方向上包括两个正交对准通孔；

所述处理器还设置为：在控制X光机的旋转臂围绕标准体模进行旋转扫描，采集多个设定旋转位置处的投影结果之前，确定所述X光机的X光光源在探测器中的投影位置与所述探测器的中心重叠，所述标准体模的球心与所述X光机旋转臂的设计旋转中心重叠。

13、根据权利要求12所述的系统，其中，在所述标准体模上设置与任意一个对准通孔相交的两个标记通孔，所述两个标记通孔关于球心对称，且分别垂直于两个对准通孔所确定的平面；

所述处理器还设置为：在每个设定旋转位置处，记录所述旋转臂的转动角度。

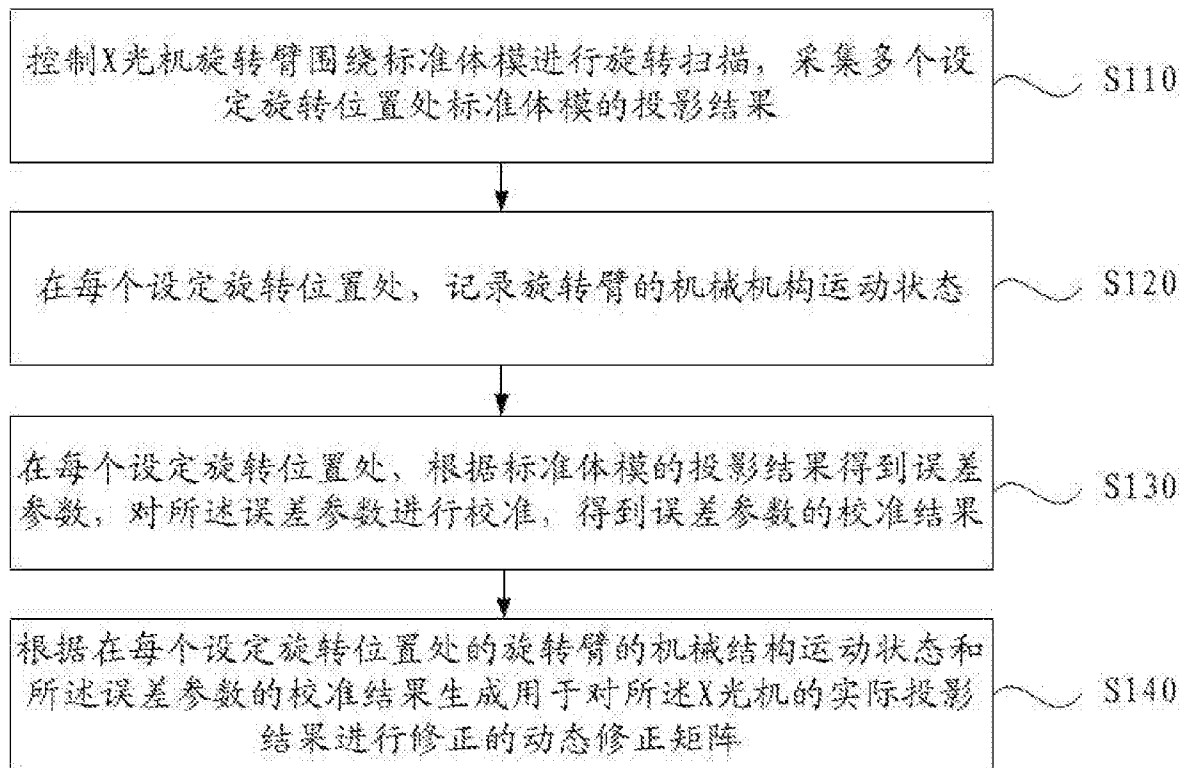


图 1



图 2a

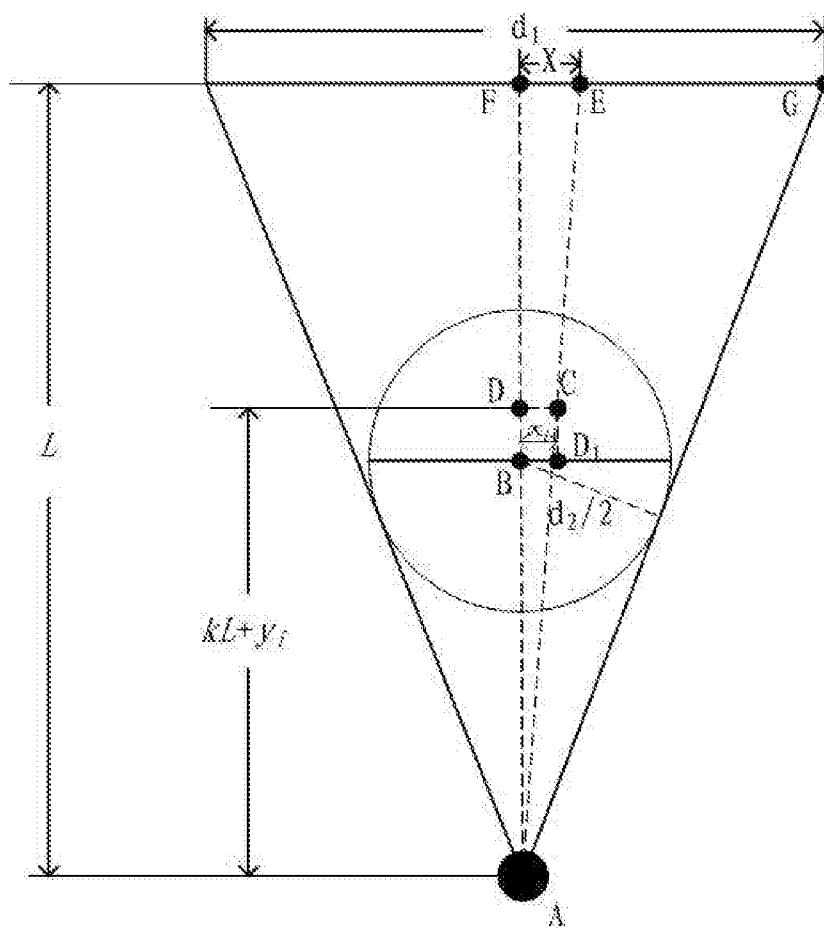


图 2c



图 3a

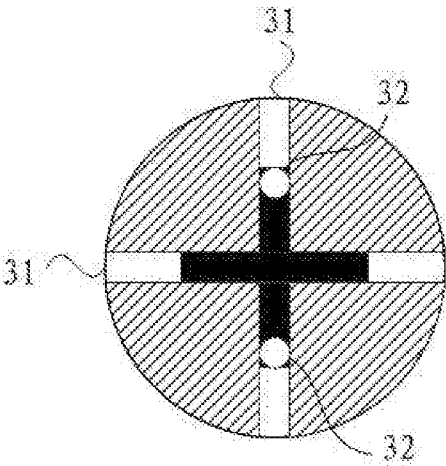


图 3b

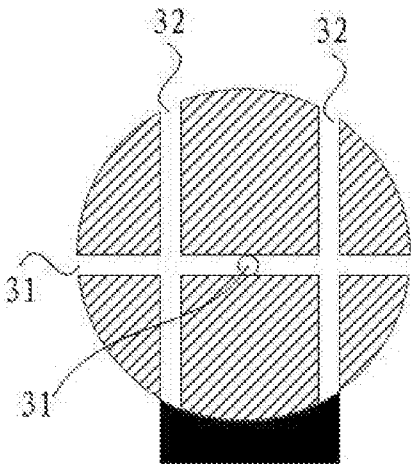


图 3c

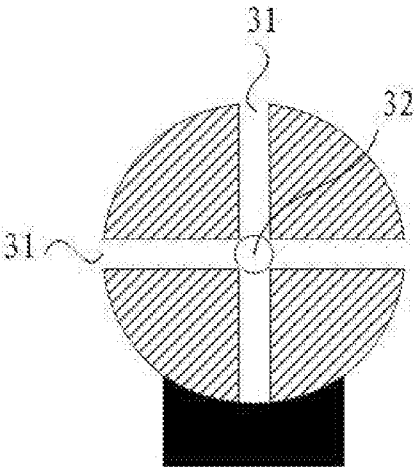


图 3d

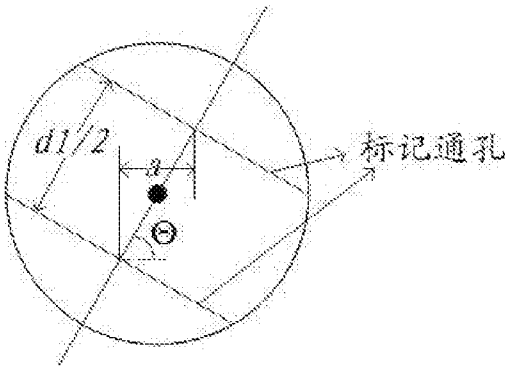


图 3e



图 4



图 5

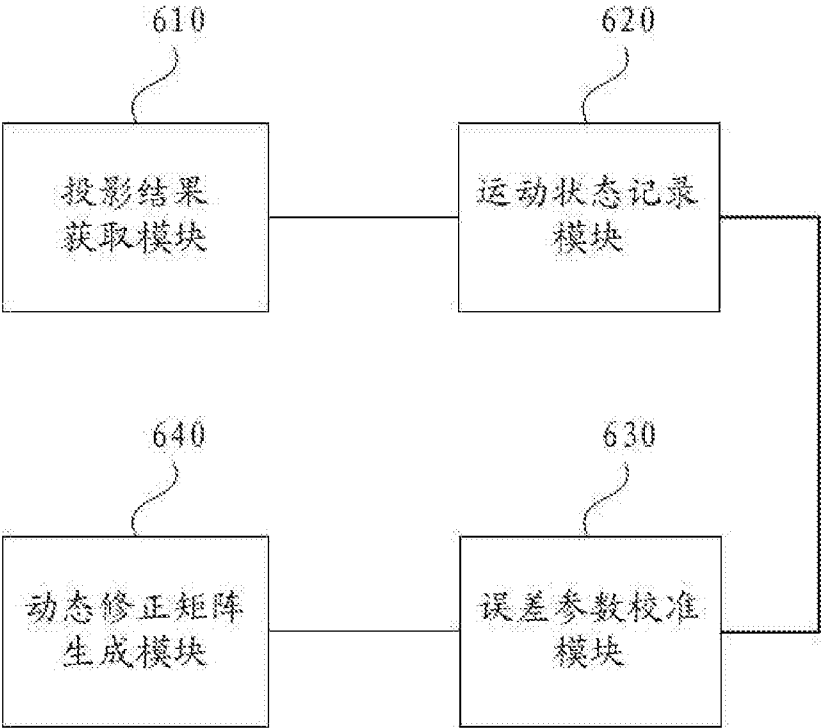


图 6

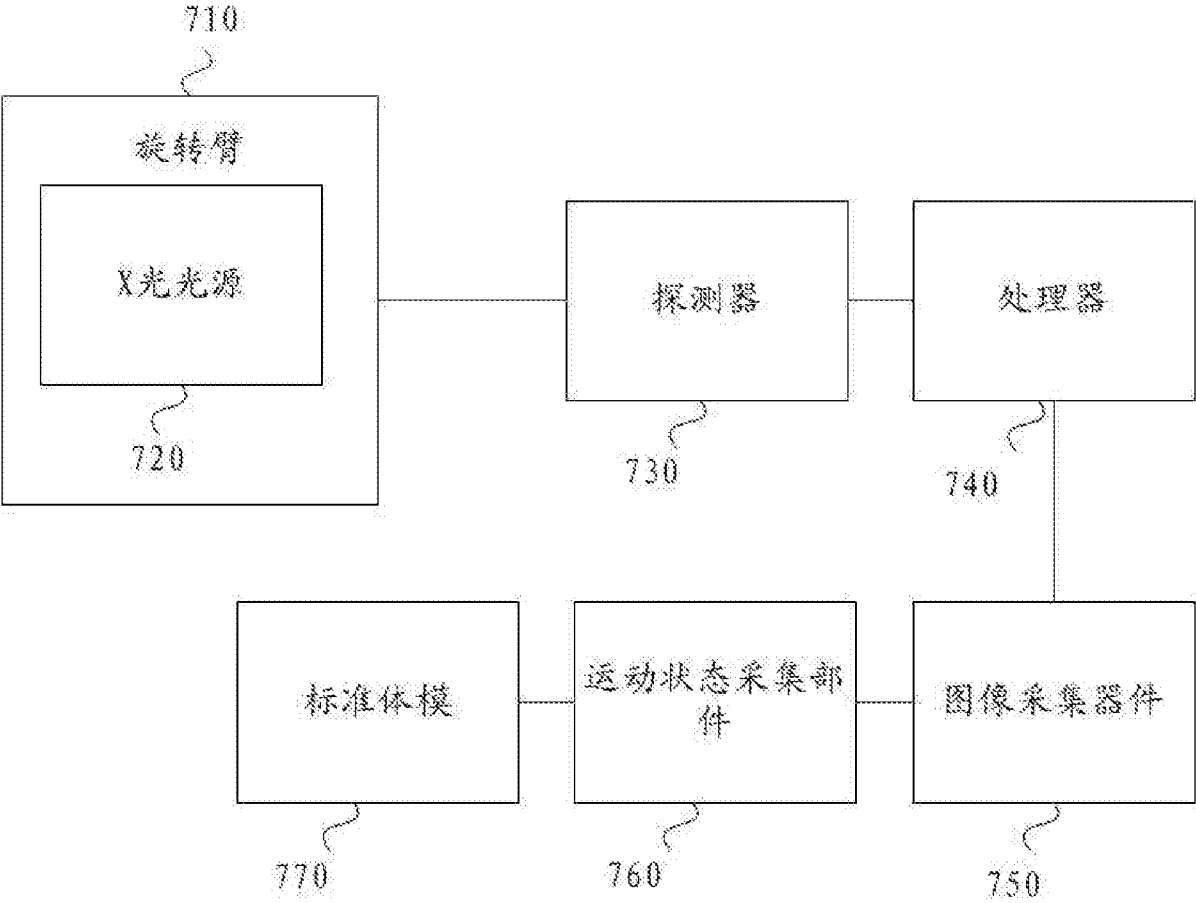


图 7

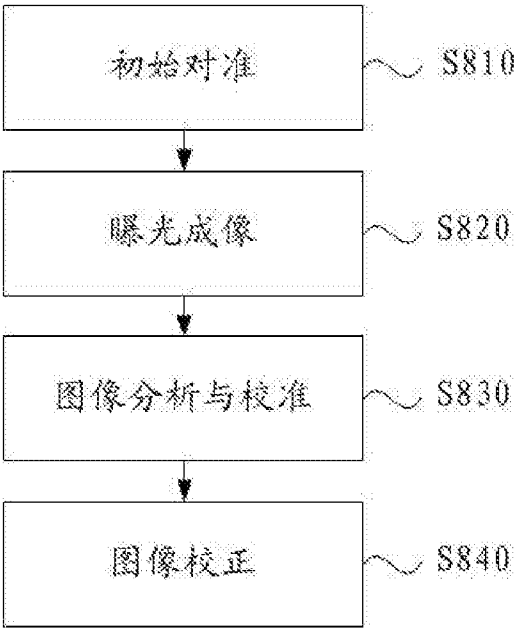


图 8

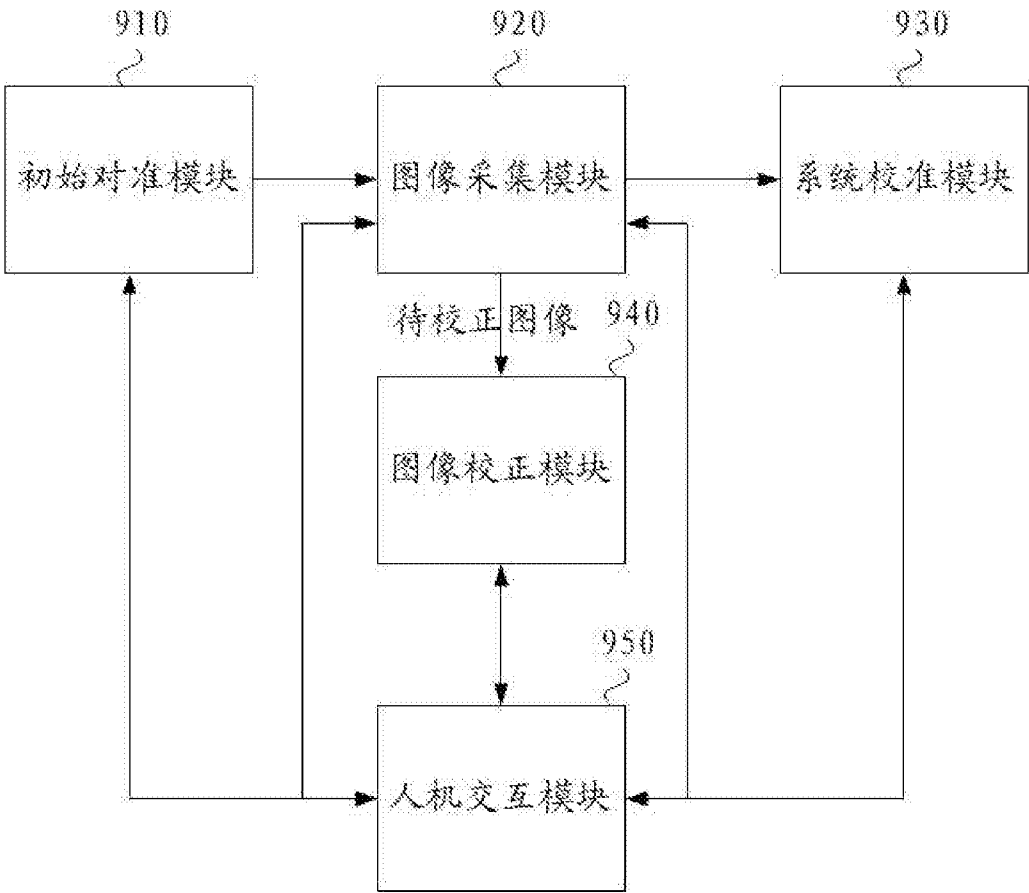


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2017/072177

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 23/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N 23/-; A61B 6/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS COTTT VEN CNKI GOOGLE: X 射线, CT, 断层, 伪影, 位移, 旋转, 角, 误差, 偏差, 标定, 校正, 校准, 矩阵, X ray, computed tomography, artifact?, displacement, rotat+, angle, drift, error, deviat+, correct+, calibrat+, matrix

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 102692421 A (DONGYING SANYING PREC ENGINEERING RES CT), 26 September 2012 (26.09.2012), description, paragraphs [0019]-[0023], and figures 1-5	1-13
Y	CN 204520733 U (TSINGHUA UNIVERSITY LARGE V INSTRUMENT CORPORATION LIMITED), 05 August 2015 (05.08.2015), description, paragraphs [0030], [0033] and [0039]-[0074], and figures 1-6	1-13
A	CN 102652674 A (CAPITAL NORMAL UNIVERSITY), 05 September 2012 (05.09.2012), entire document	1-13
A	CN 105849537 A (NIKON METROLOGY NV), 10 August 2016 (10.08.2016), entire document	1-13
A	CN 102144927 A (TSINGHUA UNIVERSITY NUCTECH COMPANY LIMITED), 10 August 2011 (10.08.2011), entire document	1-13
A	CN 103759679 A (HANGZHOU CHANGGENG MEASURING TECHNOLOGY CO., LTD.), 30 April 2014 (30.04.2014), entire document	1-13
A	WO 2016055167 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH), 14 April 2016 (14.04.2016), entire document	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 11 August 2017	Date of mailing of the international search report 23 October 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer ZHOU, Honghui Telephone No. (86-10) 62089913

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/072177

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102692421 A	26 September 2012	CN 102692421 B	23 July 2014
CN 204520733 U	05 August 2015	None	
CN 102652674 A	05 September 2012	CN 102652674 B	19 February 2014
CN 105849537 A	10 August 2016	CN 105849537	10 August 2016
CN 102144927 A	10 August 2011	DE 112010001224 T5	26 April 2012
		JP 2012513883 A	21 June 2012
		JP 2014138908 A	31 July 2014
		US 2012014579 A1	19 January 2012
		US 8731268 B2	20 May 2014
		JP 6130811 B2	17 May 2017
		WO 2011097927 A1	18 August 2011
		HK 1160749 A1	16 May 2013
		CN 102144927 B	12 December 2012
CN 103759679 A	30 April 2014	CN 103759679 B	17 August 2016
WO 2016055167 A1	14 April 2016	GB 2546208 A	12 July 2017
		GB 201706004 D0	31 May 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/072177

A. 主题的分类

G01N 23/04(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01N23/-; A61B6/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS CNTXT VEN CNKI GOOGLE:X射线, CT, 断层, 伪影, 位移, 旋转, 角, 误差, 偏差, 标定, 校正, 校准, 矩阵, X ray, computed tomography, artifact?, displacement, rotat+, angle, drift, error, deviat+, correct+, calibrat+, matrix

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 102692421 A (东营市三英精密工程研究中心) 2012年 9月 26日 (2012 - 09 - 26) 说明书[0019]-[0023]段, 图1-5	1-13
Y	CN 204520733 U (清华大学 北京朗视仪器有限公司) 2015年 8月 5日 (2015 - 08 - 05) 说明书[0030]、[0033]、[0039]-[0074]段, 图1-6	1-13
A	CN 102652674 A (首都师范大学) 2012年 9月 5日 (2012 - 09 - 05) 全文	1-13
A	CN 105849537 A (尼康计量公众有限公司) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 全文	1-13
A	CN 102144927 A (清华大学 同方威视技术股份有限公司) 2011年 8月 10日 (2011 - 08 - 10) 全文	1-13
A	CN 103759679 A (杭州长庚测量技术有限公司) 2014年 4月 30日 (2014 - 04 - 30) 全文	1-13
A	WO 2016055167 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH) 2016年 4月 14日 (2016 - 04 - 14) 全文	1-13

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2017年 8月 11日

国际检索报告邮寄日期

2017年 10月 23日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

周宏卉

电话号码 (86-10)62089913

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/072177

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102692421	A	2012年 9月 26日	CN	102692421	B	2014年 7月 23日
CN	204520733	U	2015年 8月 5日	无			
CN	102652674	A	2012年 9月 5日	CN	102652674	B	2014年 2月 19日
CN	105849537	A	2016年 8月 10日	CN	105849537		2016年 8月 10日
CN	102144927	A	2011年 8月 10日	DE	112010001224	T5	2012年 4月 26日
				JP	2012513883	A	2012年 6月 21日
				JP	2014138908	A	2014年 7月 31日
				US	2012014579	A1	2012年 1月 19日
				US	8731268	B2	2014年 5月 20日
				JP	6130811	B2	2017年 5月 17日
				WO	2011097927	A1	2011年 8月 18日
				HK	1160749	A1	2013年 5月 16日
				CN	102144927	B	2012年 12月 12日
CN	103759679	A	2014年 4月 30日	CN	103759679	B	2016年 8月 17日
WO	2016055167	A1	2016年 4月 14日	GB	2546208	A	2017年 7月 12日
				GB	201706004	D0	2017年 5月 31日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)