

(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
2024 年 9 月 12 日 (12.09.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/183239 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 17/00 (2006.01) **G06T 1/20** (2006.01)

南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/113481

(22) 国际申请日: 2023 年 8 月 17 日 (17.08.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310204311.9 2023年3月6日 (06.03.2023) CN

(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市

(72) 发明人: 张旺 (ZHANG, Wang); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。秦文健 (QIN, Wenjian); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。曾光 (ZENG, Guang); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 深圳五邻知识产权代理有限公司 (普通合伙人) (SHENZHENWULININTELLECTUALPROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳市龙华区民治街道华南路深国际华南数字谷 A 栋 12F, Guangdong 518000 (CN)。

(54) Title: FPGA-BASED THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION APPARATUS, METHOD, AND SYSTEM, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 基于FPGA的三维重建装置、方法、系统及存储介质

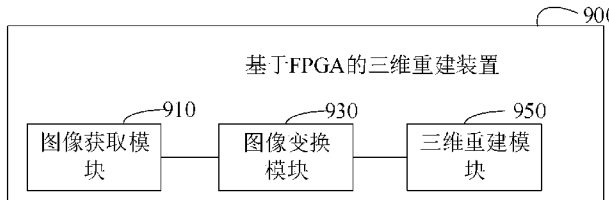


图 10

- 900 FPGA-based three-dimensional reconstruction apparatus
910 Image acquisition module
930 Image transformation module
950 Three-dimensional reconstruction module

(57) Abstract: Embodiments of the present application relate to the technical field of three-dimensional reconstruction, and provide an FPGA-based three-dimensional reconstruction apparatus, method, and system, and a storage medium. The apparatus comprises: an image acquisition module configured to acquire at least one two-dimensional image of a target to be reconstructed, wherein each two-dimensional image corresponds to one projection angle of said target; an image transformation module configured to perform parallel transformation on each two-dimensional image at each projection angle to obtain an intensity image corresponding to each projection angle; and a three-dimensional reconstruction module configured to perform parallel three-dimensional reconstruction on the basis of the intensity image at each projection angle to obtain a three-dimensional image of said target. The embodiments of the present application solve the problems in the related art of high costs and large size of three-dimensional reconstruction systems.

(57) 摘要: 本申请实施例提供了一种基于FPGA的三维重建装置、方法、系统及存储介质, 涉及三维重建技术领域。其中, 该装置包括: 图像获取模块, 用于获取待重建目标的至少一张二维图像; 其中, 各所述二维图像分别对应于所述待重建目标的一个投影角度; 图像变换模块, 用于对各所述投影角度的所述二维图像并行进行变换, 得到对应于各投影角度的强度图像; 三维重建模块, 用于基于各投影角度的强度图像并行进行三维重建, 得到所述待重建目标的三维图像。本申请实施例解决了相关技术中三维重建系统成本高、体积大的问题。

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))。

基于 FPGA 的三维重建装置、方法、系统及存储介质

技术领域

本申请涉及三维重建技术领域，具体而言，本申请涉及一种基于 FPGA 的三维重建
5 装置、方法、系统及存储介质。

背景技术

三维重建是医学成像技术中的热点，目前，主要有两种方式实现对物体的三维重建，
一是基于物体大量的二维图片进行拼接，得到三维图片，二是基于物体的三维信息，进行
10 三维的频域到空域、空域到频域等变换，以得到三维图像。

然而，由于三维图像所包含的信息量大，无论利用何种方式实现对物体的三维重建，
都会产生巨大的计算开销，因此，当前的三维重建系统，主要利用高性能计算机或者 GPU
实现对物体的三维重建，但是，通过高性能计算机或者 GPU 实现三维重建，存在许多缺
点，一方面，高性能计算机或者 GPU 的成本高，另一方面，高性能计算机或者 GPU 的体
15 积大，不便于嵌入到方便移植的设备。

发明内容

本申请各实施例提供了一种基于 FPGA 的三维重建装置、方法、系统及存储介质，
可以解决相关技术中存在的三维重建系统成本高、体积大的问题。所述技术方案如下：

20 根据本申请实施例的一个方面，一种基于 FPGA 的三维重建装置，所述装置包括：
图像获取模块，用于获取待重建目标的至少一张二维图像；其中，各所述二维图像分别对
应于所述待重建目标的一个投影角度；图像变换模块，用于对各所述投影角度的所述二维
图像并行进行变换，得到对应于各投影角度的强度图像；三维重建模块，用于基于各投影
角度的强度图像并行进行三维重建，得到所述待重建目标的三维图像。

25 根据本申请实施例的一个方面，一种基于 FPGA 的三维重建方法，所述方法包括：
获取待重建目标的至少一张二维图像；其中，各所述二维图像分别对应于所述待重建目标
的一个投影角度；对各所述投影角度的所述二维图像并行进行变换，得到对应于各投影角
度的强度图像；基于各投影角度的强度图像并行进行三维重建，得到所述待重建目标的三
维图像。

30 根据本申请实施例的一个方面，一种基于 FPGA 的三维重建系统，所述系统包括如
上所述的基于 FPGA 的三维重建装置。

根据本申请实施例的一个方面，一种存储介质，其上存储有计算机程序，计算机程序
被处理器执行时实现如上所述的基于 FPGA 的三维重建方法。

根据本申请实施例的一个方面，一种计算机程序产品，计算机程序产品包括计算机程
35 序，计算机程序存储在存储介质中，计算机设备的处理器从存储介质读取计算机程序，处

理器执行计算机程序，使得计算机设备执行时实现如上所述的基于 FPGA 的三维重建方法。

本申请提供的技术方案带来的有益效果是：

在上述技术方案中，基于待重建目标的各二维图像，利用三维重建系统中的 FPGA 单元进行并行重建，得到待重建目标的三维图像；一方面，基于 FPGA 单元的并行加速处理机制，减少了三维重建的功耗，保证了三维重建的速度，另一方面，FPGA 单元的成本低、体积小，便于嵌入到方便移植的设备，有效地解决相关技术中存在的三维重建系统成本高、体积大的问题。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对本申请实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍。

图 1 是根据本申请所涉及一种基于 FPGA 的三维重建系统的结构框图；

图 2 是根据一示例性实施例示出的一种基于 FPGA 的三维重建方法的流程图；

图 3 是图 2 对应实施例所涉及的三维重建的具体实现示意图；

图 4 是图 2 对应实施例所涉及的利用各二维图像得到强度图像的原理图；

图 5 是图 2 对应实施例中步骤 330 在一个实施例的流程图；

图 6 是图 2 对应实施例中步骤 350 在一个实施例的流程图；

图 7 是图 7 对应实施例所涉及的一个截面强度数据的具体实现示意图；

图 8 至图 9 是一种基于 FPGA 的三维重建方法的具体实现示意图；

图 10 是根据一示例性实施例示出的一种基于 FPGA 的三维重建装置的结构框图；

图 11 是根据一示例性实施例示出的一种电子设备的结构框图。

具体实施方式

下面详细描述本申请的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本申请，而不能解释为对本申请的限制。

本技术领域技术人员可以理解，除非特意声明，这里使用的单数形式“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。应该进一步理解的是，本申请的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件，但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解，当我们称元件被“连接”或“耦接”到另一元件时，它可以直接连接或耦接到其他元件，或者也可以存在中间元件。此外，这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或无线耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或更多个相关联的列出项的全部或任一单元和全部组合。

细胞、组织显微成像是现代生物医学领域一项重要的成像技术，为医生、科研人员对医学和生命科学的研究提供了巨大辅助和有力证据。但是传统的二维成像方法已经不足够满足日益发展的科研和医学诊断要求，三维重建技术早已顺势发展开来。三维重建技术不仅可以全方位展示被测物体内部微观结构，还能体现被测物体内部细节之间的关系，可以提供远远大于二维图像的信息，因此三维重建技术是当前研究的一个热点。三维重建的一种经典方法是层析重建。层析法是指按层获取被测物的信息然后通过算法进行三维重建。显微成像中，按层获取物体信息的经典方法是全息成像。

全息成像是显微三维层析重建的前提，利用多角度的全息图重建三维物体的像。全息层析三维重建算法根据是否考虑衍射效应可能分为考虑衍射效应的层析重建和不考虑衍射的层析重建两种。考虑到样品衍射的层析认为光在样品中除了沿着直线传播，而且光波穿过物体时还发生衍射现象，这种算法是基于傅里叶衍射投影理论，能重建分辨率比较高的三维图像，但是它的算法理论比较复杂，基于会利用到三维傅里叶变换等，有傅里叶映射算法、滤波反传播算法等；不考虑样品的层析认为光直线穿过样品，并且没有衍射效应，这种算法基于傅里叶中心切片定理，主要算法包括滤波反投影、直接反投影、迭代重建算法等。

现有的全息层析三维重建技术大都是基于高性能计算机或者 GPU 实现的，在高性能计算机上利用 CPU 实现三维重建的方法对计算机性能要求高，而且速度慢，在 GPU 上实现能够加速计算，但是 GPU 成本高，而且功耗大，不便于嵌入到方便移植的设备中，例如，不适用于嵌入式便携显微镜。

由上可知，相关技术中仍存在三维重建系统成本高、体积大的缺陷。

为此，本申请提供的基于 FPGA 的三维重建装置，能够在保证三维重建速度的同时，有效地缩小三维重建系统的体积，减少三维重建系统的成本，解决相关技术中存在的三维重建装置成本高、体积大的问题。该基于 FPGA 的三维重建装置可部署于三维重建系统中，还可部署于配置于电子设备，例如，该电子设备可以是配置冯诺依曼体系结构的台式电脑、笔记本电脑、服务器，还可以是携带单片机的移动设备等等。进一步地，还提供了一种基于 FPGA 的三维重建方法，相应地，该基于 FPGA 的三维重建方法适用于基于 FPGA 的三维重建装置。

为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本申请实施方式作进一步地详细描述。

请参见图 1，图 1 示出了一种基于 FPGA 的三维重建系统的原理框图，如图 1 所示，三维重建系统 100 包括现场可编程逻辑门阵列 FPGA 模块 110；其中，FPGA 模块 110 可以包括多个变换单元 111、多个重建单元 113 和内存条 115、AXI 总线 117 及高速接口 119。

其中，FPGA 模块 110，用于获取待重建目标的至少一张二维图像；其中，各二维图像分别对应于待重建目标的一个投影角度；对各投影角度的二维图像并行进行变换，得到

对应于各投影角度的强度图像；基于各投影角度的强度图像并行进行三维重建，得到待重建目标的三维图像。

在一个可能的实现方式，基于 FPGA 的三维重建装置可部署于 FPGA 模块 110 中。

5 各变换单元 111，用于对各投影角度的二维图像进行傅里叶正变换，得到完成傅里叶正变换的各二维图像；基于完成傅里叶正变换的各二维图像进行傅里叶逆变换，得到各投影角度的强度图像。

10 各重建单元 113，用于将待重建目标划分为若干个截面；基于各截面以及各投影角度的强度图像，得到对应于各截面的截面强度数据；其中，截面强度数据包括一个截面对应的各投影角度的强度图像；分别对各截面强度数据并行进行滤波反投影，得到各截面对应的切片图像；基于各切片图像进行三维重建，得到待重建目标的三维图像。

在一个实施例中，重建单元 113，还用于基于各截面强度数据中的一个截面强度数据，对一个截面对应的各投影角度的强度图像并行进行滤波反投影，得到对应于截面强度数据的切片图像。

15 进一步地，在一个实施例中，三维重建系统还可以包括图像扫描模块，用于基于不同投影角度扫描待重建目标，得到各投影角度对应的二维图像。

20 现结合图 1 的三维重建系统，对三维重建的流程进行说明，具体地，如图 1 所示，待重建目标的二维图像通过高速接口 119 传入 FPGA 模块 110，每个投影角度的二维图像进入一个变换单元 111，在各变换单元 111 中并行进行变换，其中，FPGA 模块 110 的变换单元 111 的数量取决于二维图像生成的速度、以及变换单元 111 处理的速度，可以对其数量进行适应性调整，保证最大化变换效率。

在一个实施例中，变换单元还可以包括一个第一变换单元和一个第二变换单元，第一变换单元用于对二维图像进行傅里叶正变换，得到完成傅里叶正变换的二维图像；第二变换单元用于基于完成傅里叶正变换的二维图像进行傅里叶逆变换，得到强度图像。

25 随后，变换单元 111 生成的各强度图像通过 FPGA 模块 110 片内 AXI 总线 117 存于内存条 115 中，当全部投影角度的强度图像存储完毕，各重建单元 113 基于各强度图像并行进行重建，以得到待重建目标的三维图像。

30 在一个实施例中，重建单元 113 可以包括数据索引单元、滤波单元和插值反投影单元，索引模块用于将待重建目标划分为若干个截面，以得到各截面对应的截面强度数据；滤波单元用于对各截面强度数据进行滤波，以去除噪音；插值反投影单元用于对各截面强度数据进行滤波反投影，以得到各截面对应的切片图像，并根据各截面对应的切片图像，得到待重建目标的三维图像。

请参阅图 2，本申请实施例提供了一种基于 FPGA 的三维重建方法，该方法适用于图 1 所示出原理框图中的三维重建系统 100。

35 在下述方法实施例中，为了便于描述，以该方法各步骤的执行主体为三维重建系统为

例进行说明，但是并非对此构成具体限定。

如图 2 所示，该方法可以包括以下步骤：

步骤 310，获取待重建目标的至少一张二维图像。

关于二维图像，可以来源于对待重建目标实时扫描得到的二维图像，也可以是预先存储于电子设备的一历史时间段的二维图像。那么，对于电子设备而言，在扫描得到二维图像之后，可以实时处理二维图像，还可以预先存储了再处理，例如，在电子设备的占用低的时候处理二维图像，或者，根据工作人员的指示处理二维图像。由此，本实施例中的三维重建可以针对实时获取到的二维图像，也可以针对历史时间段获取到的二维图像，在此并未进行具体限定。

其中，各二维图像分别对应于待重建目标的一个投影角度，待重建目标可以是指需要进行三维重建的物体。可以利用图像扫描模块，基于不同投影角度扫描待重建目标，得到各投影角度对应的二维图像。

需要说明的是，投影角度是指在三维重建过程中，X 射线、电子束或激光束等成像技术从不同方向照射待重建目标时的角度。在三维重建过程中，为了获得足够的二维图像，需要从不同方向照射待重建目标，收集多个投影角度的二维图像。每个投影角度的二维图像可以看做是待重建目标在该方向上的二维投影，是重建三维图像的重要信息。

在确定投影角度时，需要考虑多个因素，例如待重建目标的形状、尺寸和成像要求等。一般而言，选择更多的投影角度会提高三维图像的精度和质量，但同时也会增加三维重建的时间和成本。因此，需要在时间和质量之间进行权衡，选择最合适的投影角度。例如，选择 30 到 200 个投影角度可以获得较好的重建效果。

关于改变投影角度，可以通过旋转待重建目标改变投影角度，也可以旋转光线改变投影角度，在此不作限定。

图 3 中示出了一个三维重建的具体实现示意图，如图 3 所示，光线和其相干光照射在待重建目标上，在 CCD 或 CMOS 传感器上记录到一个二维图像，此时投影角度为 0° ，绕 Z 轴旋转光线或者待重建目标，使得光线相对待重建目标产生一个投影角度 θ ，继续获得此 θ 投影角度下的二维图像，依次旋转，使 θ 为 $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, \dots, 179^\circ$ ，这样就可以获得待重建目标在 180 个角度的二维图像。

步骤 330，对各投影角度的二维图像并行进行变换，得到对应于各投影角度的强度图像。

关于对二维图像进行变换，可以通过角谱法实现，图 4 中示出了利用各二维图像得到强度图像的原理图，如图 4 所示，在直角坐标系中，令物平面坐标为 x_0, y_0 ，光波场为 $U_0(x_0, y_0)$ ，经某一空间距离 d 衍射后的衍射屏坐标为 x, y ，衍射场为 $U(x, y)$ 。引用傅里叶变换及逆变换符号 $\mathcal{F}$ 和 $\mathcal{F}^{-1}$ ，角谱衍射积分可以写为式 (1) 和式 (2)：

$$U(x, y) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \mathcal{F} \{ U_0(x_0, y_0) \} H(f_x, f_y) \right\} \dots \text{式 (1)}$$

$$H(f_x, f_y) = \exp \left[jkd \sqrt{1 - (\lambda f_x)^2 - (\lambda f_y)^2} \right] \dots \text{式 (2)}$$

其中，式中 f_x, f_y 为频域坐标， j 是虚数单位， $k=2\pi/\lambda$ ， λ 为光波长。根据上式反向求解 $U_0(x_0, y_0)$ 即为强度图像，如式 (3)：

$$U_0(x_0, y_0) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \mathcal{F} \{ U(x, y) \} * \exp \left[-j2\pi d \sqrt{k^2 - (f_x)^2 - (f_y)^2} \right] \right\} \dots \text{式 (3)}$$

其中，式中 j 是虚数单位， $k=1/\lambda$ ， λ 为光波长。

由上可知，角谱法中应用了一次二维傅里叶正变换和一次二维傅里叶逆变换。

在一个实施例中，可以通过 FPGA 单元中的变换单元实现傅里叶变换，具体地，包括以下步骤：对各投影角度的二维图像进行傅里叶正变换，得到完成傅里叶正变换的各二维图像；基于完成傅里叶正变换的各二维图像进行傅里叶逆变换，得到各投影角度的强度图像。

进一步说明的是，由于 FPGA 单元中有多个变换单元，通过多个变换单元，可以并行变换多个二维图像，具体地，在一个实施例中，如图 5 所示，包括以下步骤：

步骤 331，由各所述投影角度的二维图像中选取设定数量的二维图像进行并行变换。

步骤 333，若各所述二维图像完成所述并行变换，则由其的二维图像中选取设定数量的二维图像进行并行变换，直至完成对各所述投影角度的二维图像的并行变换。

首先说明的是，可以根据二维图像输入的速度、以及 FPGA 单元的计算资源适量并行使用多个变换单元。例如，若第一张二维图像在第一变换单元中还未处理结束，又输入了第二张二维图像，那么就可以使用一个处于空闲状态的第二变换单元来处理第二张二维图像。

基于此，设定数量可以根据三维系统中变换单元的数量决定，以达到最大并行变换效率，例如，设定数量等于变换单元的数量，在此不作限定。

通过上述实施例，利用 FPGA 单元中多个变换单元并行计算，可以减少二维图像处理时的延时，加快二维图像处理的速度，从而提高三维重建的效率。

步骤 350，基于各投影角度的强度图像并行进行三维重建，得到待重建目标的三维图像。

其中，可以利用三维系统中的各重建单元进行三维重建，如图 6 所示，包括以下步骤：

步骤 351，将待重建目标划分为若干个截面。

步骤 353，基于各截面以及各投影角度的强度图像，得到对应于各截面的截面强度数据。

步骤 355，分别对截面强度数据并行进行滤波反投影，得到各截面对应的切片图像。

步骤 357, 基于各切片图像进行三维重建, 得到待重建目标的三维图像。

其中, 截面强度数据包括一个截面对应的各投影角度的强度图像。

关于截面强度数据, 回请参见图 3, 如图 3 所示, $z=0$ 时待重建目标的截面, 可以对应各个投影角度的强度图像, 从而组成一个 180 个投影角度的强度图像, 进而, 该 180 个投影角度的强度图像就是截面强度数据。

举例来说, 如图 7 所示, 圆代表一个截面, 光线绕着截面扫描, 每个投影角度的强度图像可以得到一条一维的强度图像, 多个角度的强度图像按角度排列, 就组成了一个截面强度数据。

进而, 可以根据滤波反投影法, 由截面强度数据重建得到待重建目标的 $z=0$ 的切片图像。因此, 遍历所有的 z 就可以重建出各截面对应的切片图像, 将所有切片图像组合在一起进行三维重建, 则可以得到待重建目标的三维图像。

关于将所有切片图像组合在一起进行三维重建, 可以使用计算机算法实现, 例如模型拟合算法、体素化算法、基于视角的体素化算法或基于点云的算法, 在此不作限定。

进一步地, 由于 FPGA 单元包括多个重建单元, 因此, 通过多个重建单元, 可以并行变换多个截面强度数据。可以根据截面强度数据输入的速度、以及 FPGA 单元的计算资源适量并行使用多个重建单元。例如, 若第一张截面强度数据在第一重建单元中还未处理结束, 又输入了第二张截面强度数据, 那么就可以使用一个处于空闲状态的第二重建单元来处理第二张截面强度数据。

当然, 由于截面强度数据包括一个截面对应的各投影角度的强度图像, 那么, 利用 FPGA 单元中重建单元的并行计算特点, 在一个可能的实现方式, 基于各截面强度数据中的一个截面强度数据, 对一个截面对应的各投影角度的强度图像并行进行滤波反投影, 得到对应于截面强度数据的切片图像。

可以理解, 由于一个截面强度数据包括一个截面中各投影角度对应的强度图像, 那么, 若重建单元同时对各投影角度对应的强度图像进行并行重建, 那么, 能够大大加快由该截面强度数据得到对应的切片图像的速度。

通过上述过程, 一方面, 通过多个重建单元并行处理多个截面强度数据, 实现了对多个截面强度数据的帧并行加速处理, 加快了三维重建的效率; 另一方面, 通过一个重建单元多行并行地, 对一个截面强度数据进行滤波反投影, 实现了对截面强度数据的行并行加速处理, 从而提升了每个重建单元的处理速度和处理能力。

综上所述, 在上述实施例的结合下, 基于待重建目标的各二维图像, 利用三维重建系统中的 FPGA 单元进行并行重建, 得到待重建目标的三维图像; 一方面, 基于 FPGA 单元的并行加速处理机制, 减少了三维重建的功耗, 保证了三维重建的速度, 另一方面, FPGA 单元的成本低、体积小, 便于嵌入到方便移植的设备, 有效地解决相关技术中存在的三维重建系统成本高、体积大的问题。

图 8 是一种基于 FPGA 的三维重建方法的具体实现示意图，图 9 为该三维重建方法的流程图，现结合图 9 对图 8 进行说明：

通过步骤 701，利用图像扫描单元获取待检测目标各投影角度的二维图像。

5 通过步骤 703，利用 FPGA 单元中的各变换单元，对各二维图像并行进行傅里叶变换，得到各强度图像。

通过步骤 705，利用 FPGA 单元中的各重建单元，基于各强度图像进行行、帧双并行三维重建，得到待重建目标的三维图像。

10 由上可知，本方案的三维重建系统，基于 FPGA 单元的行、帧双并行加速的思路，实现对待重建目标的三维重建；一方面，可以达到类比 GPU 的三维重建速度，另一方面，该三维系统的体积小、成本低、功耗少，从而解决了相关技术中存在的三维重建系统成本高、体积大的缺陷。

15 下述为本申请装置实施例，可以用于执行本申请所涉及的基于 FPGA 的三维重建方法。对于本申请装置实施例中未披露的细节，请参照本申请所涉及的基于 FPGA 的三维重建方法的方法实施例。

请参阅图 10，本申请实施例中提供了一种基于 FPGA 的三维重建装置 900，包括但不限于：图像获取模块 910、图像变换模块 930、以及三维重建模块 950。

20 其中，图像获取模块 910，用于获取待重建目标的至少一张二维图像；其中，各二维图像分别对应于待重建目标的一个投影角度。

图像变换模块 930，用于对各投影角度的二维图像并行进行变换，得到对应于各投影角度的强度图像。

三维重建模块 950，用于基于各投影角度的强度图像并行进行三维重建，得到待重建目标的三维图像。

25 在一个实施例中，图像变换模块 930 还包括多个变换单元，各变换单元，用于对各投影角度的二维图像进行傅里叶正变换，得到完成傅里叶正变换的各二维图像；基于完成傅里叶正变换的各二维图像进行傅里叶逆变换，得到各投影角度的强度图像。

30 在一个实施例中，三维重建模块 950 还包括多个重建单元，各重建单元，用于将待重建目标划分为若干个截面；基于各截面以及各投影角度的强度图像，得到对应于各截面的截面强度数据；其中，截面强度数据包括一个截面对应的各投影角度的强度图像；分别对各截面强度数据并行进行滤波反投影，得到各截面对应的切片图像；基于各切片图像进行三维重建，得到待重建目标的三维图像。

35 在一个实施例中，重建单元，还用于基于各截面强度数据中的一个截面强度数据，对一个截面对应的各投影角度的强度图像并行进行滤波反投影，得到对应于截面强度数据的切片图像。

需要说明的是，上述实施例所提供的基于 FPGA 的三维重建装置和基于 FPGA 的三维重建系统在进行基于 FPGA 的三维重建时，仅以上述各功能模块的划分进行举例说明，实际应用中，可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能模块完成，即基于 FPGA 的三维重建装置、以及基于 FPGA 的三维重建系统的内部结构将划分为不同的功能模块，以完成以上描述的全部或者部分功能。

另外，上述实施例所提供的基于 FPGA 的三维重建装置、基于 FPGA 的三维重建系统与基于 FPGA 的三维重建方法的实施例属于同一构思，其中各个模块执行操作的具体方式已经在方法实施例中进行了详细描述，此处不再赘述。

请参阅图 11，本申请实施例中提供了一种电子设备 4000，该电子设备 4000 可以包括：台式电脑、笔记本电脑、服务器、携带单片机的移动设备等，适用于图 1 实施环境中的三维重建系统 100。

在图 11 中，该电子设备 4000 包括至少一个处理器 4001、至少一条通信总线 4002 以及至少一个存储器 4003。

其中，处理器 4001 和存储器 4003 相连，如通过通信总线 4002 相连。可选地，电子设备 4000 还可以包括收发器 4004，收发器 4004 可以用于该电子设备与其他电子设备之间的数据交互，如数据的发送和/或数据的接收等。需要说明的是，实际应用中收发器 4004 不限于一个，该电子设备 4000 的结构并不构成对本申请实施例的限定。

处理器 4001 可以是 CPU（Central Processing Unit，中央处理器），通用处理器，DSP（Digital Signal Processor，数字信号处理器），ASIC（Application Specific Integrated Circuit，专用集成电路），FPGA（Field Programmable Gate Array，现场可编程门阵列）或者其他可编程逻辑器件、晶体管逻辑器件、硬件部件或者其任意组合。其可以实现或执行结合本申请公开内容所描述的各种示例性的逻辑方框，模块和电路。处理器 4001 也可以是实现计算功能的组合，例如包含一个或多个微处理器组合，DSP 和微处理器的组合等。

通信总线 4002 可包括一通路，在上述组件之间传送信息。通信总线 4002 可以是 PCI（Peripheral Component Interconnect，外设部件互连标准）总线或 EISA（Extended Industry Standard Architecture，扩展工业标准结构）总线等。通信总线 4002 可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示，图 11 中仅用一条粗线表示，但并不表示仅有一根总线或一种类型的总线。

存储器 4003 可以是 ROM（Read Only Memory，只读存储器）或可存储静态信息和指令的其他类型的静态存储设备，RAM（Random Access Memory，随机存取存储器）或者可存储信息和指令的其他类型的动态存储设备，也可以是 EEPROM（Electrically Erasable Programmable Read Only Memory，电可擦可编程只读存储器）、CD-ROM（Compact Disc Read Only Memory，只读光盘）或其他光盘存储、光碟存储（包括压缩光碟、激光碟、光碟、数字通用光碟、蓝光光碟等）、磁盘存储介质或者其他磁存储设备、或者能够用于携

带或存储具有指令或数据结构形式的期望的程序代码并能够由计算机存取的任何其他介质，但不限于此。

存储器 4003 上存储有计算机程序，处理器 4001 通过通信总线 4002 读取存储器 4003 中存储的计算机程序。

5 该计算机程序被处理器 4001 执行时实现上述各实施例中的基于 FPGA 的三维重建方法。

此外，本申请实施例中提供了一种存储介质，该存储介质上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述各实施例中的基于 FPGA 的三维重建方法。

10 本申请实施例中提供了一种计算机程序产品，该计算机程序产品包括计算机程序，该计算机程序存储在存储介质中。计算机设备的处理器从存储介质读取该计算机程序，处理器执行该计算机程序，使得该计算机设备执行上述各实施例中的基于 FPGA 的三维重建方法。

15 与相关技术相比，本方案利用三维重建系统中的 FPGA 单元进行并行重建，得到待重建目标的三维图像；一方面，基于 FPGA 单元的并行加速处理机制，减少了三维重建的功耗，可以达到类比 GPU 的三维重建速度，另一方面，FPGA 单元的成本低、体积小、能耗小，便于嵌入到方便移植的设备，例如，显微镜，有效地解决相关技术中存在的三维重建系统成本高、体积大的问题。

20 应该理解的是，虽然附图的流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示，但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明，这些步骤的执行并没有严格的顺序限制，其可以以其他的顺序执行。而且，附图的流程图中的至少一部分步骤可以包括多个子步骤或者多个阶段，这些子步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成，而是可以在不同的时刻执行，其执行顺序也不必然是依次进行，而是可以与其他步骤或者其他步骤的子步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

25 以上所述仅是本申请的部分实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本申请的保护范围。

权利要求书

1、一种基于 FPGA 的三维重建装置，其特征在于，应用于 FPGA，所述 FPGA 包括三维重建装置、总线单元和存储单元，所述装置包括：

图像获取模块，用于获取待重建目标的至少一张二维图像；其中，各所述二维图像分别对应于所述待重建目标的一个投影角度；

5 图像变换模块，所述图像变换模块包括多个变换单元；各所述变换单元用于对各所述投影角度的所述二维图像并行进行变换，得到对应于各投影角度的强度图像，并通过所述总线单元将各所述强度图像存储于所述存储单元中；

10 三维重建模块，所述三维重建模块包括多个重建单元；各所述重建单元，用于获取所述存储单元中的各所述强度图像，将所述待重建目标划分为若干个截面；基于各所述截面以及各所述投影角度的强度图像，得到对应于各所述截面的截面强度数据；其中，所述截面强度数据包括一个所述截面对应的各所述投影角度的强度图像；分别对各所述截面强度数据并行进行滤波反投影，得到各所述截面对应的切片图像；基于各所述切片图像进行三维重建，得到所述待重建目标的三维图像。

15 2、如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述图像变换模块包括多个变换单元；各所述变换单元，用于对各所述投影角度的二维图像进行傅里叶正变换，得到完成所述傅里叶正变换的各二维图像；基于完成所述傅里叶正变换的各所述二维图像进行傅里叶逆变换，得到各所述投影角度的强度图像。

20 3、如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述重建单元，还用于基于各所述截面强度数据中的一个截面强度数据，对一个所述截面对应的各投影角度的强度图像并行进行滤波反投影，得到对应于所述截面强度数据的切片图像。

4、一种基于 FPGA 的三维重建方法，其特征在于，应用于 FPGA 模块，所述 FPGA 包括三维重建装置、总线单元和存储单元，所述方法包括：

25 获取待重建目标的至少一张二维图像；其中，各所述二维图像分别对应于所述待重建目标的一个投影角度；

对各所述投影角度的所述二维图像并行进行变换，得到对应于各投影角度的强度图像；并通过所述总线单元将各所述强度图像存储于所述存储单元中；

获取所述存储单元中的各所述强度图像，将所述待重建目标划分为若干个截面；

30 基于各所述截面以及各所述投影角度的强度图像，得到对应于各所述截面的截面强度数据，其中，所述截面强度数据包括一个所述截面对应的各投影角度的强度图像；

分别对所述截面强度数据并行进行滤波反投影，得到各所述截面对应的切片图像；基于各所述切片图像进行三维重建，得到所述待重建目标的三维图像。

5、如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述对各所述投影角度的所述二维图像并行进行变换，得到对应于各投影角度的强度图像，包括：

35 由各所述投影角度的二维图像中选取设定数量的二维图像进行并行变换；

若各所述二维图像完成所述并行变换,则由其余的二维图像中选取设定数量的二维图像进行并行变换,直至完成对各所述投影角度的二维图像的并行变换。

6、一种基于 FPGA 的三维重建系统,其特征在于,所述系统包括 FPGA,所述 FPGA
5 包括如权利要求 1 至 3 任一项所述的三维重建装置。

7、如权利要求 6 所述的系统,其特征在于,所述系统还包括图像扫描模块;

所述图像扫描模块,用于基于不同投影角度扫描待重建目标,得到各投影角度对应的二维图像。

10 8、一种存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 4 至 5 中任一项所述的基于 FPGA 的三维重建方法。

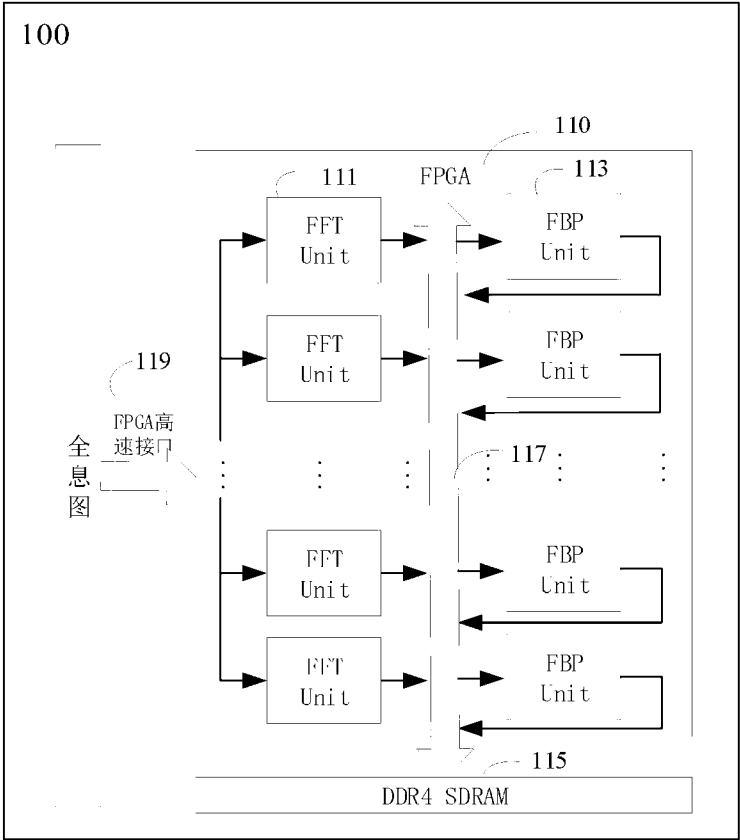


图 1

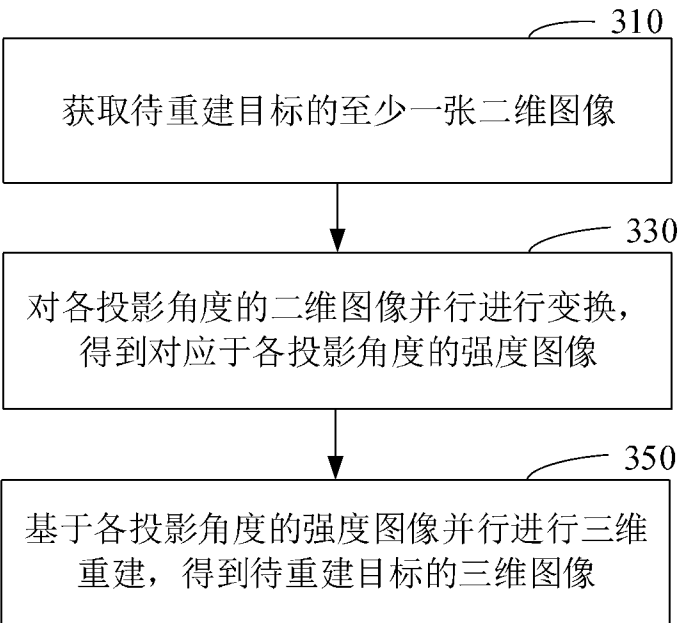


图 2

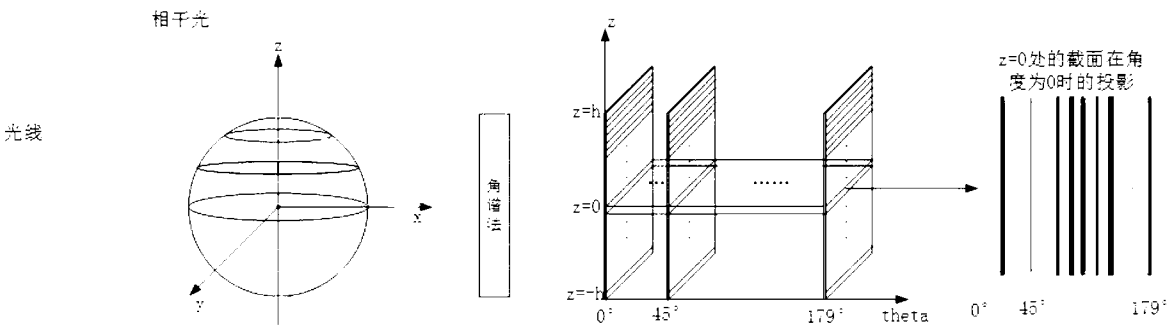


图 3

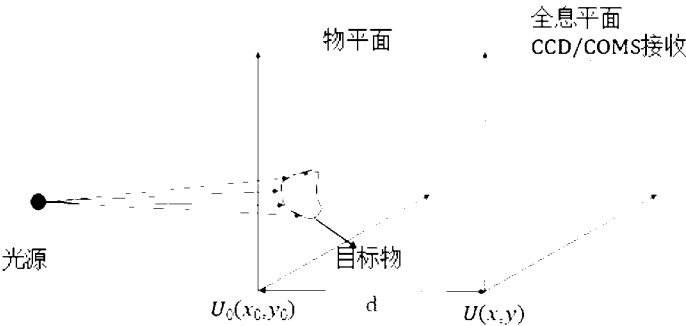


图 4

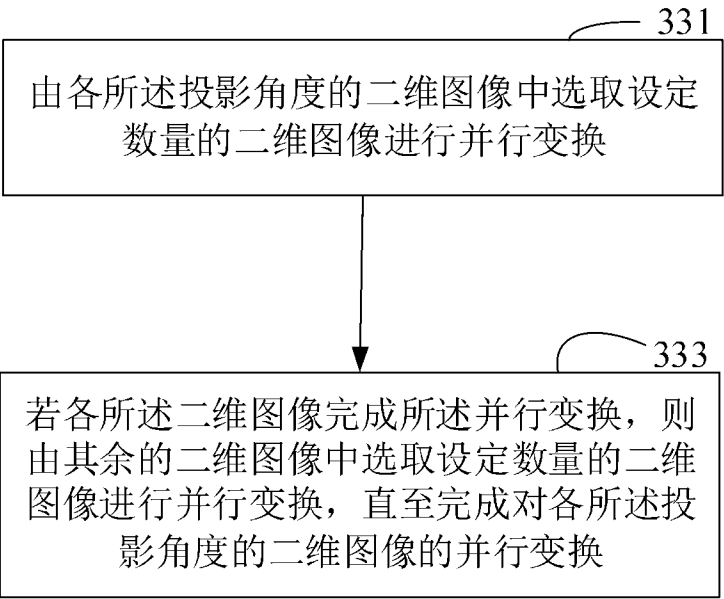


图 5

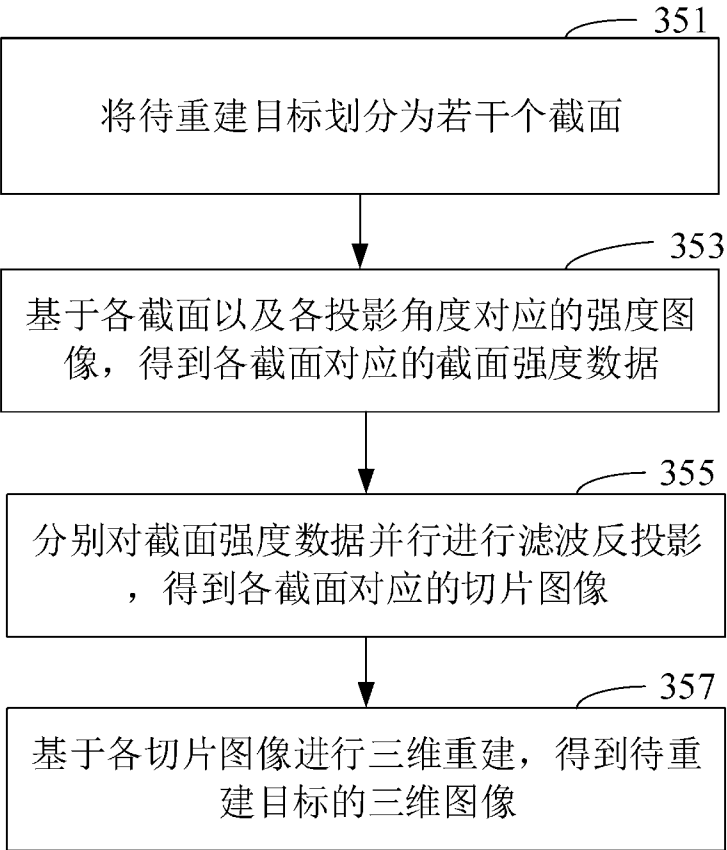


图 6

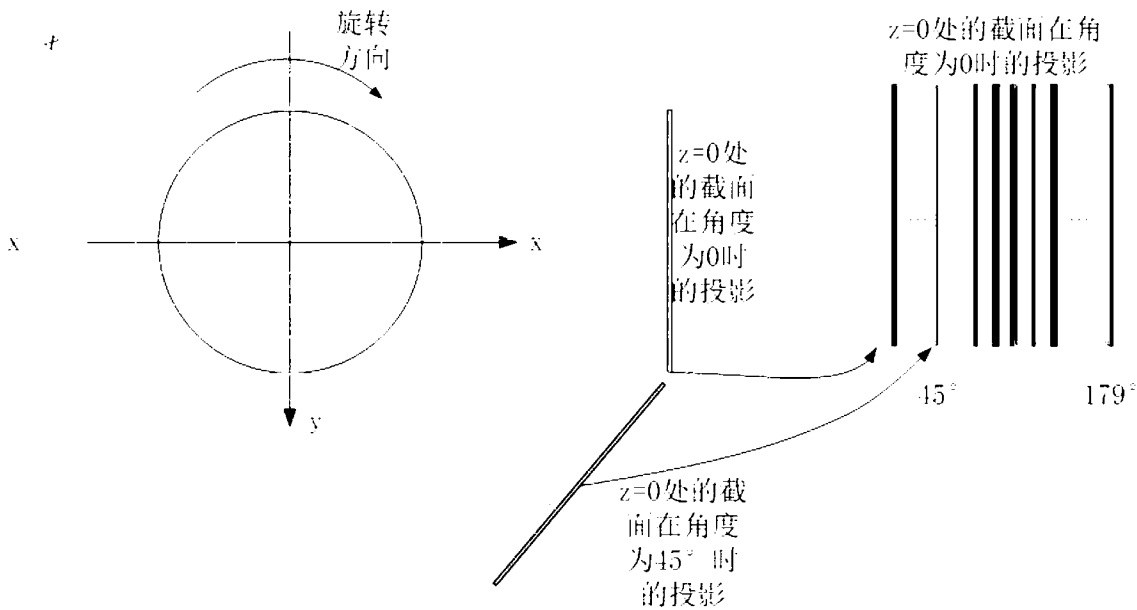


图 7

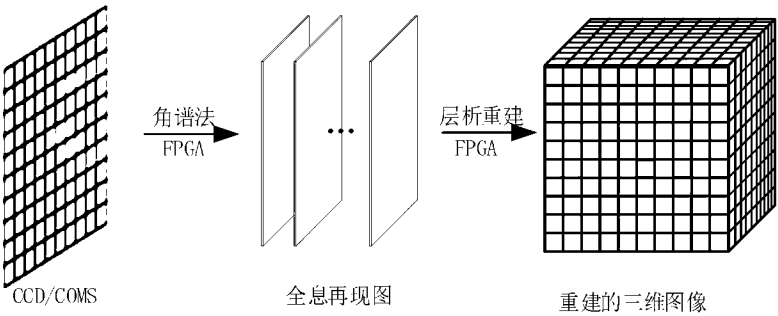


图 8

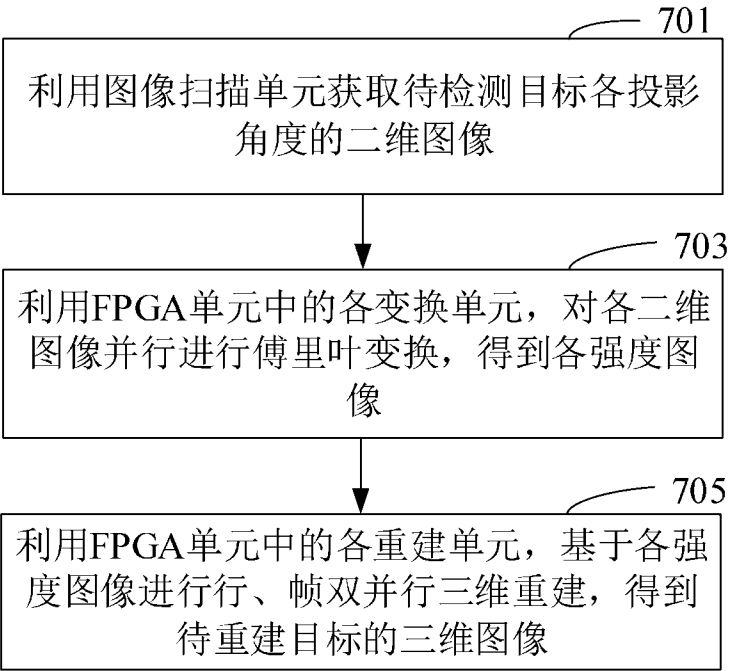


图 9

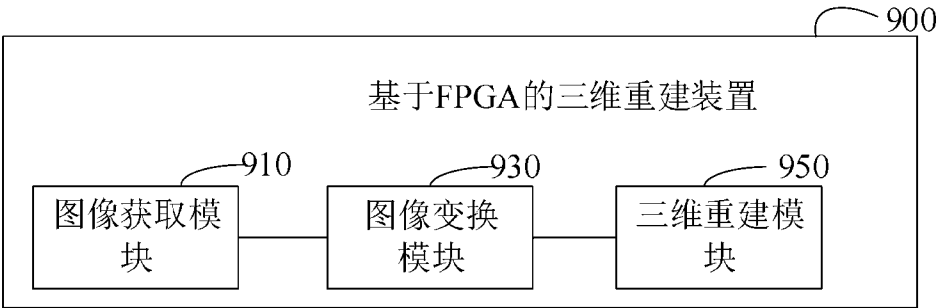


图 10

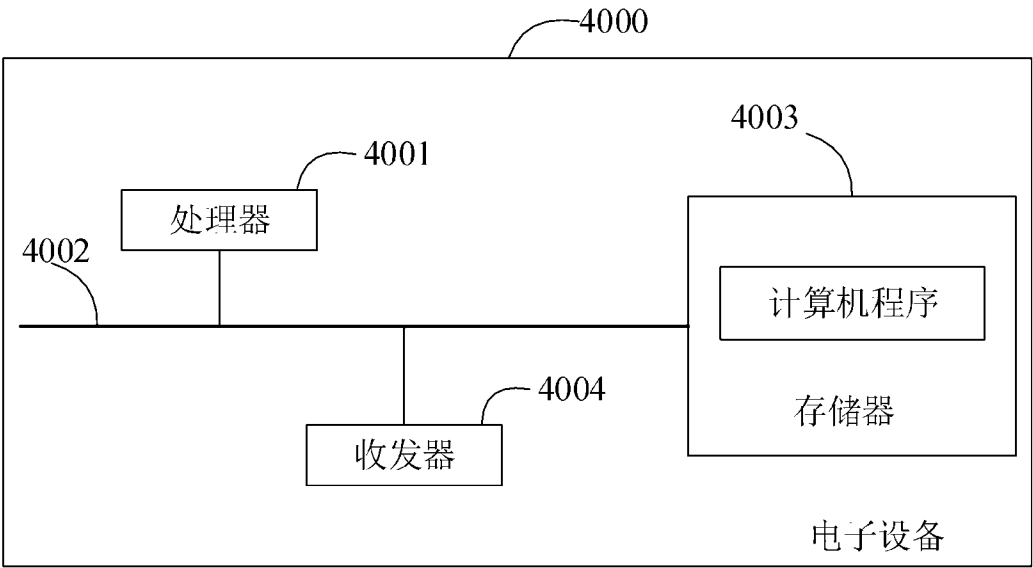


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/113481

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T17/00(2006.01)i; G06T1/20(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)

G06T17/-; G06T1/-

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, CNTXT, CNKI: 变换, 反投影, 截面, 强度, 三维, 投影, 图像, 重建, 角度, 傅里叶, 截面, 切片, 逆变换, VEN, USTXT, IEEE: FPGA, fourier, back, projection, image, 3D, rebuild, angle, section, conversion

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116051754 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 02 May 2023 (2023-05-02) description, paragraphs [0004]-[0089]	1-8
A	CN 115644811 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 31 January 2023 (2023-01-31) description, paragraphs [0003]-[0044]	1-8
A	CN 106248340 A (SOUTHWEST UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 21 December 2016 (2016-12-21) description, paragraphs [0010]-[0059]	1-8
A	CN 115393403 A (ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY) 25 November 2022 (2022-11-25) entire document	1-8
A	US 2004264634 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 30 December 2004 (2004-12-30) entire document	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 September 2023

Date of mailing of the international search report

16 September 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/113481

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116051754	A	02 May 2023	None			
CN	115644811	A	31 January 2023	None			
CN	106248340	A	21 December 2016	CN	106248340	B	18 January 2019
CN	115393403	A	25 November 2022	None			
US	2004264634	A1	30 December 2004	US	6904121	B2	07 June 2005

国际检索报告

国际申请号
 PCT/CN2023/113481

A. 主题的分类

G06T17/00 (2006.01) i; G06T1/20 (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)

G06T17/-; G06T1/-

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, CNKI: 变换, 反投影, 截面, 强度, 三维, 投影, 图像, 重建, 角度, 傅里叶, 截面, 切片, 逆变换, VEN, USTXT, IEEE: FPGA, fourier, back, projection, image, 3D, rebuild, angle, section, conversion

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
PX	CN 116051754 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2023年5月2日 (2023 - 05 - 02) 说明书[0004]-[0089]段	1-8
A	CN 115644811 A (电子科技大学) 2023年1月31日 (2023 - 01 - 31) 说明书[0003]-[0044]段	1-8
A	CN 106248340 A (西南科技大学) 2016年12月21日 (2016 - 12 - 21) 说明书[0010]-[0059]段	1-8
A	CN 115393403 A (浙江理工大学) 2022年11月25日 (2022 - 11 - 25) 全文	1-8
A	US 2004264634 A1 (GEN. ELECTRIC) 2004年12月30日 (2004 - 12 - 30) 全文	1-8

☐ 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
 “D” 申请人在国际申请中引证的文件
 “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
 2023年9月14日

国际检索报告邮寄日期
 2023年9月16日

ISA/CN的名称和邮寄地址
 中国国家知识产权局
 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员
 许哲
 电话号码 (+86) 028-62967835

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/113481

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	116051754	A	2023年5月2日	无			
CN	115644811	A	2023年1月31日	无			
CN	106248340	A	2016年12月21日	CN	106248340	B	2019年1月18日
CN	115393403	A	2022年11月25日	无			
US	2004264634	A1	2004年12月30日	US	6904121	B2	2005年6月7日