

(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 2 月 22 日 (22.02.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/036760 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 11/00 (2006.01)

南山区深圳大学城学苑大道 1068 号,
Guangdong 518055 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/129561

(22) 国际申请日: 2022 年 11 月 3 日 (03.11.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202210990678.3 2022年8月18日 (18.08.2022) 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: 李印生 (LI, Yinsheng); 中国广东省深圳市
南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong
518055 (CN)。梁栋 (LIANG, Dong); 中国广东省
深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号,
Guangdong 518055 (CN)。刘新 (LIU, Xin); 中国广
东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068
号, Guangdong 518055 (CN)。郑海荣 (ZHENG,
Hairong); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城
学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京三友知识产权代理
有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL
PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市金融街 35
号国际企业大厦 A 座 16 层, Beijing 100033 (CN)。

(54) Title: ENERGY SPECTRUM IMAGE PROCESSING METHOD, APPARATUS, COMPUTER DEVICE, AND STORAGE
MEDIUM

(54) 发明名称: 能谱图像处理方法、装置、计算机设备及存储介质

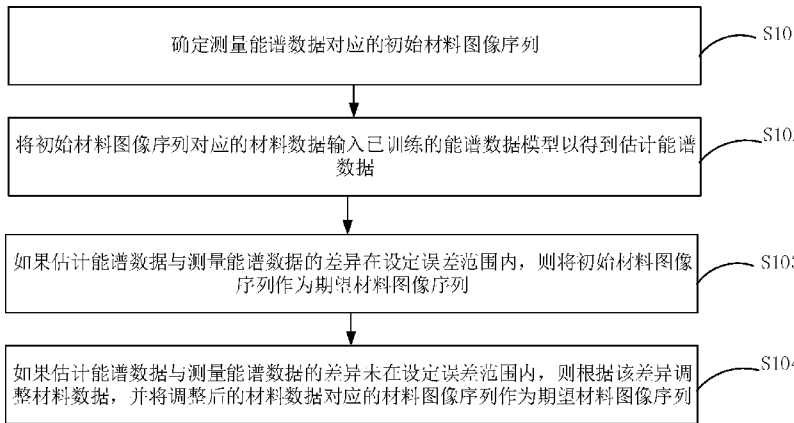


图 1

- S101 Determine an initial material image sequence corresponding to measured energy spectrum data
- S102 Input into a trained energy spectrum data model the material data corresponding to the initial material image sequence so as to obtain estimated energy spectrum data
- S103 If the difference between the estimated energy spectrum data and the measured energy spectrum data is within a set error range, use the initial material image sequence as a desired material image sequence
- S104 If the difference between the estimated energy spectrum data and the measured energy spectrum data is out of the set error range, adjust the material data according to the difference, and use a material image sequence corresponding to the adjusted material data as a desired material image sequence

(57) Abstract: An energy spectrum image processing method, an apparatus, a computer device, and a storage medium. The method comprises: determining an initial material image sequence corresponding to measured energy spectrum data (S101); inputting into a trained energy spectrum data model the material data corresponding to the initial material image sequence so as to obtain estimated energy spectrum data (S102); if the difference between the estimated energy spectrum data and the measured energy spectrum data is within a set error range, using the initial material image sequence as a desired material image sequence (S103); and otherwise, adjusting

(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, 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))。

the material data according to the difference, and using a material image sequence corresponding to the adjusted material data as a desired material image sequence (S104). The problem that existing energy spectrum image processing methods have low quantitative substance decomposition precision is solved.

(57) 摘要: 一种能谱图像处理方法、装置、计算机设备及存储介质, 该方法包括: 确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列(S101), 将初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型得到估计能谱数据(S102); 如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异在设定误差范围内, 则将初始材料图像序列作为期望材料图像序列(S103); 反之, 则根据该差异调整材料数据, 并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列(S104)。解决了现有能谱图像处理方法存在物质分解定量精度较低的问题。

能谱图像处理方法、装置、计算机设备及存储介质

本申请要求 2022 年 08 月 18 日递交的申请号为 202210990678.3、发明名称为“能谱图像处理方法、装置、计算机设备及存储介质”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5

技术领域

本申请实施例涉及医学图像处理领域，尤其涉及一种能谱图像处理方法、装置、计算机设备及存储介质。

10 背景技术

传统 CT（Computed Tomography，即电子计算机断层扫描）成像中，具有不同物质组成的解剖结构可能表现出同样的 CT 衰减值，因此限制其区分不同物质组成的能力。通过采集两个或多个 X 线能谱数据集的能谱 CT 技术，可用于解决传统 CT 成像中这一长期存在的技术局限。能谱 CT 涉及诸多研究方向，其中数据采集技术和定量物质分解技术是最为主要的研究方向。

15

关于定量物质分解技术，模型驱动的物质分解方法主要分为不直接的物质分解方法和直接的物质分解方法。1) 不直接物质分解方法。这类方法中的第一个子类别首先进行投影空间物质分解，而后对材料基线积分数据进行解析或者迭代图像重建。由于物质分解是一个不稳定过程，这类方法对噪声比较敏感，特别是在低剂量条件下，难以获得精准的物质分解。这类方法中的第二个子类别首先对能谱数据进行迭代重建，而后进行图像空间物质分解。这类方法相对简单，但无法消除线束硬化伪影和金属伪影等。2) 直接物质分解方法。直接从能谱数据中重建材料基图像方法，对数据采集物理过程进行建模，并引入关于基材料图像的先验知识，提高物质分解的定量准确度。然而，非线性多能 X 线测量模型使得直接物质分解问题的病态程度很高，尤其是低剂量数据采集条件下。另外，对数据采集物理过程进行完整、精确的建模往往是十分困难的，由此可能在材料基图像中引入误差。近年来，数据驱动的方法开始应用于能谱 CT 物质分解，其中包括图像空间分解网络、投影空间分解网络、投影-图像端对端分解网络。这些方法通过匹配的训练样本有监督地学习输入输出数据空间之间的变换，近似在给定能谱数据下，关于材料基图像的后验分布函数，从而求解物质分解逆问题。一旦训练结束，在预测阶段，相较于模型驱动的直接物质分解方法，这类方法的计算复杂度更低。

20

25

30

本申请人在实现本申请实施例的过程中发现，现有数据驱动能谱成像技术过于依赖寻找输入数据与输出数据之间的统计相关性，因此其物质分解定量精度有待提高。

发明内容

本申请实施例提供了一种能谱图像处理方法、装置、计算机设备及存储介质，解决了现有能谱图像处理方法存在物质分解定量精度较低的问题。

第一方面，本申请实施例提供了一种能谱图像处理方法，包括：

确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列；

5 将所述初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计能谱数据；

如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将所述初始材料图像序列作为期望材料图像序列；

10 如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整所述材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列。

第二方面，本申请实施例还提供了一种能谱图像处理方法，包括：

材料图像模块，用于确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列；

15 能谱数据估计模块，将所述初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计能谱数据；

第一输出模块，用于如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将所述初始材料图像序列作为期望材料图像序列；

20 第二输出模块，用于如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整所述材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列。

第三方面，本申请实施例还提供了一种计算机设备，所述计算机设备包括：

一个或多个处理器；

存储装置，用于存储一个或多个程序；

25 当所述一个或多个程序被所述一个或多个处理器执行，使得所述一个或多个处理器实现如任意实施例所述的能谱图像处理方法。

第四方面，一种包含计算机可执行指令的存储介质，所述计算机可执行指令在由计算机处理器执行时用于执行如任意实施例所述的能谱图像处理方法。

30 本申请实施例提供的能谱图像处理方法的技术方案，确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列；将初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计能谱数据；如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将初始材料图像序列作为期望材料图像序列；如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列，该材料数据调整方式可保证材料数据调整的速度和有效性；估计能谱数据与测量能谱数据之间的差异确定、材料数据调整的计算量均比较小，因此

可满足临床图像处理速度的要求。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图做一简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本申请实施例提供的能谱图像处理方法的流程图；

图 2A 是本申请实施例提供的双源双探测器获取能谱数据的示意图；

图 2B 是本申请实施例提供的快速管电压切换方法获取能谱数据的示意图；

图 2C 是本申请实施例提供的线束过滤方法获取能谱数据的示意图；

图 2D 是本申请实施例提供的光子计数探测器获取能谱数据的示意图；

图 2E 是本申请实施例提供的双层探测器获取能谱数据的示意图；

图 3 是本申请实施例提供的能谱图像处理方法的流程示意图；

图 4A 是本申请实施例提供的体模示意图；

图 4B 是本申请实施例提供的实验结果示意图；

图 5A 是本申请实施例提供的能谱数据模型训练方法的流程图；

图 5B 是本申请实施例提供的能谱数据模型的示意图；

图 6 是本申请实施例提供的材料模型训练方法的流程图；

图 7 是本申请实施例提供的材料模型的架构示意图；

图 8A 是本申请实施例提供的能谱图像处理装置的结构示意图；

图 8B 是本申请实施例提供的又一能谱图像处理装置的结构示意图；

图 9 是本申请实施例提供的 C 臂 CT 系统的结构示意图；

图 10A 是本申请实施例提供的 CT 系统的立体图；

图 10B 是本申请实施例提供的 CT 系统的左视图；

图 11 是本申请实施例提供的计算机设备的结构框图。

具体实施方式

为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，以下将参照本申请实施例中的附图，通过实施方式清楚、完整地描述本申请的技术方案，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

实施例

图 1 是本申请实施例提供的能谱图像处理方法的流程图。本实施例的技术方案适用于确定能谱图像对应的材料图像的情况。该方法可以由本申请实施例提供的能谱图像处理装置来执行，该装置可以采用软件和/或硬件的方式实现，并配置在计算机设备的处理器中应用。该方法具体包括如下步骤：

5 S101、确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列。

在一个实施例中，测量能谱数据包括至少两级射线能量的投影数据帧。示例性的，测量能谱数据包括对应于第一 X 射线能量的至少一个第一投影数据帧和对应于第二 X 射线能量的至少一个第二投影数据帧，以及该至少一个第一投影数据帧和该至少一个第一投影数据帧分别对应的投影角度和探测器探元位置，第一 X 射线能量高于第二 X 射线能量。

10 在一个实施例中，测量能谱数据可通过双源双探测器（图 2A）、快（或慢）速管电压切换（图 2B）、线束过滤（图 2C）、光子计数探测器（图 2D）或双层探测器（图 2E）中的一种方式或多种方式的组合来获取。

15 在一个实施例中，初始材料图像序列基于已训练的材料模型得到，具体为：确定测量能谱数据对应的能谱图像序列；将该能谱图像序列输入已训练的材料模型以得到初始材料图像序列，参见图 3。该实施例中，已训练的材料模型具有图像空间的泛化先验，可将能谱图像序列变化为其相应的初始图像序列。

20 需要说明的是，该步骤中，基于测量能谱数据确定的初始材料图像序列，一般具有较高的图像质量，但局部定量精度可能有所不足，并且可能无法准确地描述每个样本的材料性质，因此该初始材料图像序列对应的材料数据也存在局部定量精度可能不足的问题。

S102、将初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计能谱数据。

25 其中，材料数据包括初始图像序列中的初始材料图像对应的材料基数据，以及材料基数据中的每个数据对应的探测器探元位置和投影角度。在一个实施例中，材料数据包括至少两个材料基数据。

30 如图 3 所示，初始材料图像序列得到后，将初始材料图像序列中各初始材料图像沿对应的一个或多个投影角度进行前向投影以得到一个或多个材料数据帧；确定属于期望材料图像的所有投影角度，所有投影角度对应的材料数据帧以及所有材料数据帧分别对应的探测器探元位置以得到期望材料图像的材料数据。

本实施例中已训练的能谱数据模型具有在数据空间描述数据采集过程的先验知识，因此可将材料数据合成对应的能谱数据。

S103、如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将初始材料图像序列作为期望材料图像序列。

可以理解的是，如果估计能谱数据与测量能谱数据之间的差异在设定误差范围内，则说明该估计能谱数据的准确度非常接近测量能谱数据，因此用于确定估计能谱数据的材料数据具有较高的准确性，用于确定材料数据的初始材料图像序列的定量精度在用户的可接受范围内，因此将初始图像序列作为期望材料图像序列。

5 S104、如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列。

由于材料数据的局部定量精度可能不足，因此已训练的能谱数据模型基于该材料数据预测的估计能谱数据的质量可能低于期望的能谱数据质量，为此本实施例以测量能谱数据为基准来衡量估计能谱数据的准确性，并根据估计能谱数据与测量能谱数据之间的
10 差异调整材料数据，然后将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列。

在一个实施例中，估计能谱数据包括的估计能谱数据帧与测量能谱数据包括的测量能谱数据帧一一对应。确定各估计能谱数据帧与对应的各测量能谱数据帧之间的误差，然后计算所有误差的总和，并根据该所有误差的总和对材料数据进行调整，然后将调整
15 后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列。

由于测量能谱数据为原始投影数据，其携带有准确的物质信息，因此以测量能谱数据与估计能谱数据的差值为基准可以准确地指导材料数据的调整。

需要说明的是，本实施例仅根据估计能谱数据与测量能谱数据之间的差异调整材料数据，但并不调整任何模型的网络参数，即在模型使用阶段，所有模型的网络参数保持
20 不变。

图 4A 和图 4B 为本申请实施例提供的基于物理体模实验确定的定量实验结果。如图 4A 所示，该实验体模包含 4 个不同浓度的碘溶液试管和 2 个不同浓度氯化钙溶液试管。能谱 CT 实验平台对其在 100 kV 下扫描。光子技术探测器使用两个能谱阈值采集穿过实验体模的射线，以得到测量能谱数据，该测量能谱数据包括对应高能量的投影数据和对
25 应低能量的投影数据。如图 4B 所示，本申请技术产生相应的碘基图像。将该碘基图像确定的 4 个碘溶液试管浓度（碘基图像上标注的浓度数据）并与金标准（浓度颜色变化示意图）进行比较，比较结果表明，四个碘溶液试管浓度均定量准确。该实验说明了本申请实施例所述的能谱图像处理方法具有较高的物质定量准确性。

本申请实施例提供的能谱图像处理方法的技术方案，确定测量能谱数据对应的初始
30 材料图像序列；将初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计能谱数据；如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将初始材料图像序列作为期望材料图像序列；如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列，该材料数据调整方式可保证材料数据调整的速度和有效性；

估计能谱数据与测量能谱数据之前的差异确定、材料数据调整的计算量均比较小，因此可满足临床图像处理速度的要求。

图 5A 是本申请又一实施例提供能谱数据模型训练方法的流程图。本申请实施例所述的模型训练方法应用于前述实施例所述的能谱图像处理方法之前。具体方法步骤包括：

S201、将设定数量的材料数据输入能谱数据模型以得到估计能谱数据。

其中，如图 5A 所示，材料数据包括至少两个材料基数据以及材料基数据中的每个数据对应的探测器探元位置和投影角度。

获取设定数量患者的测量能谱数据以及每个能谱数据对应的材料数据，并将该测量能谱数据和材料数据作为训练样本。在能谱数据模型训练时，将材料数据输入能谱数据模型中，以得到估计能谱数据。

S202、根据测量能谱数据与估计能谱数据之间的差异，反复调整能谱数据模型的网络参数，根据反向传播算法最小化测量能谱数据与网络参数调整后的能谱数据模型输出的估计能谱数据之间的差异。

在一个实施例中，能谱数据模型的具体架构如图 5B 所示，其包括 4 层全连接层。

确定测量能谱数据与估计能谱数据之间的差异，并根据该差异反复调整能谱数据模型的网络参数，直至测量能谱数据与网络参数调整后的能谱数据模型输出的估计能谱数据之间的差异在设定阈值范围内。可以理解的是，当测量能谱数据与当前的估计能谱数据之间的差异在设定阈值范围内，则认为二者近似相同，模型训练结束。该能谱数据模型可以建模完整的数据采集物理过程，具体为，从大规模的训练数据中学习到数据空间描述数据采集过程的物理先验知识，以此将材料数据合成为其对应的能谱数据。

在上述模型训练过程中，采用能谱数据空间均方误差作为训练损失函数调整能谱数据模型的网络参数。

图 6 是本申请又一实施例提供的材料模型训练方法的流程图。该材料模型的训练方法包括：

S301、将能谱图像序列输入材料模型以得到估计材料图像序列。

获取设定数量患者的能谱图像序列以及能谱图像序列对应的材料图像序列，以得到设定数量的样本。将能谱图像序列输入材料模型以得到估计材料序列。

S302、根据材料图像序列真值与估计材料图像序列之间的差异，反复调整材料模型的网络参数，根据反向传播算法最小化材料图像序列真值与网络参数调整后的材料模型输出的估计材料图像序列之间的差异。

将初始能谱图像序列和初始材料图像序列作为训练样本。将该初始能谱图像序列输入材料模型以得到估计材料图像序列，根据初始材料图像序列和材料模型输出的估计材料图像序列之间的差异调整材料模型的网络参数，直至初始材料图像序列与当前的估计

材料图像序列之间的差异在设定误差范围内。该模型训练过程中，使用图像空间均方误差作为训练损失函数。该实施例中，材料模型从大规模训练数据中学习到图像空间的泛化先验，以此将能谱图像变换为其相应的初始材料图像序列。

5 在一个实施例中，材料模型的网络结构如图 7 所示，该神经网络共有 24 层卷积神经网络层，该 24 层卷积神经网络层包括三类卷积网络层，这些卷积网络层中的参数均为可学习的。第一类卷积网络层使用 3×3 卷积核，间隔为 1，在图 7 中标记为“Conv (3×3) S1”，之后为批归一化操作 (Bnorm) 和整流线性单元 (ReLU) 激活函数。第二类卷积网络层使用 3×3 卷积核，间隔为 2，并在图 7 中标记为“Conv (3×3) S2”，之后为 Bnorm 和 ReLU。第三类卷积网络层使用 1×1 卷积核，间隔为 1，并在图 7 中标记为“Conv (1×1) S1”，之后为线性激活函数。所有卷积层都有相应的可学偏差项。
10 每个卷积层均保持该层的输入输出为同样的空间维度。采样层使用 2×2 卷积核，并在图 7 中标记为 Up-sample 2×2 。所有采样层使用双线性插值算法。捷径链接 (skip+concatenate，图 7 中黑色实箭头) 用以促进网络训练过程。网络参数中的卷积核使用 Glorot 均匀分布随机数作为初始化，偏差项使用 0 作为初始化值。其余参数设置与
15 初始化值均选择默认方式。

需要说明的是，本申请技术方案中对患者影像数据的获取、存储、使用和处理等均符合国家法律法规的相关规定。

图 8A 是本申请又一实施例提供的能谱图像处理装置的结构框图。该装置用于执行上述任意实施例所提供的能谱图像处理方法，该装置可选为软件或硬件实现。该装置包
20 括：

材料图像模块 11，用于确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列；

能谱数据估计模块 12，用于将所述初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计能谱数据；

25 第一输出模块 13，用于如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将所述初始材料图像序列作为期望材料图像序列；

第二输出模块 14，用于如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整所述材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列。

30 可选地，材料图像模块 11 用于确定所述测量能谱数据对应的能谱图像序列；将所述能谱图像序列输入已训练的材料模型以得到初始材料图像序列。

可选地，能谱数据估计模块 11 用于确定所述初始材料图像序列中各初始材料图像对应的一个或多个投影角度；将所述初始材料图像序列中各初始材料图像沿对应的一个或多个投影角度进行前向投影以得到一个或多个材料数据帧；确定属于期望材料图像的所有投影角度、所有投影角度分别对应的材料数据帧以及所有材料数据帧分别对应的探测

器探元位置以得到所述期望材料图像的材料数据。

可选地，所述测量能谱数据包括至少两级射线能量的投影数据帧；所述测量能谱数据对应至少两个材料基数据。

5 可选地，如图 8B 所示，该装置还包括模型训练模块 10，该模型训练模块用于将设定数量的材料数据输入能谱数据模型以得到估计能谱数据；

根据所述测量能谱数据与所述估计能谱数据之间的差异，反复调整所述能谱数据模型的网络参数，根据反向传播算法最小化所述测量能谱数据与网络参数调整后的能谱数据模型输出的估计能谱数据之间的差异。

10 可选地，所述材料数据包括所述初始图像序列中的初始材料图像对应的材料基数据，以及所述材料基数据中的每个数据对应的探测器探元位置和投影角度。

可选地，所述能谱数据可通过双源双探测器、快速管电压切换、慢速管电压切换、线束过滤、光子计数探测器、双层探测器中的一种方式或多种方式的组合来获取。

本申请实施例提供的能谱图像处理装置的技术方案，确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列；将初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到
15 估计能谱数据；如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将初始材料图像序列作为期望材料图像序列；如果估计能谱数据与测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列，该材料数据调整方式可保证材料数据调整的速度和有效性；估计能谱数据与测量能谱数据之间的差异确定、材料数据调整的计算量均比较小，因此
20 可满足临床图像处理速度的要求。

本申请实施例所提供的能谱图像处理装置可执行本申请任意实施例所提供的能谱图像处理方法，具备执行方法相应的功能模块和有益效果。

图 9 是本申请又一实施例提供的 C 臂 CT 系统的结构示意图。该系统包括机架 1211、
25 探测器 1212、床板 1214、X 线光管 1215、C 臂驱动轴 1216、转轴 1217 以及基座 1219。X 线光管 1215 和探测器 1212 装备在 C 型机架 1211 的两端，两者中心连接线与其旋转中轴线 1218 垂直。C 型机架 1211 带动探测器和 X 线光管绕旋转中轴线 1218 旋转，从而通过探测器和 X 线光管在不同的投影角度拍摄床板上的患者 1213 的影像数据。X 线光管 1215 由 X 线发生器 123 控制其电流、电压和曝光时间等，探测器 1212 采集到的投影数据由通信系统 126 传输给计算机设备 2，机架 1211 与 C 臂驱动轴 1216 相连，其动力由转轴 1217 提供。基座 1219 负责承重。C 臂控制单元 121 控制机架 1211 的旋转速度、
30 角度、位置等。主轴控制单元 122 连接基座 1219，并为整个 C 臂系统提供电力支持。X 线发生器 123 控制 X 线光管 1215 的电流、电压和曝光时间。数据采集系统 124 协调机架 1211、探测器 1212 和 X 线发生器 1215，并收集采集到的数据。床板控制系统 125 控

制床板 1214 的位置和运动速度，以实现对患者 1213 的不同扫描轨道。通信系统 126 连接 C 臂控制单元 121、主轴控制单元 122、X 线发生器 124、数据采集系统 124 和床板控制系统 125，并将采集到的投影数据传输给计算机系统 2 的存储器。

图 10A 和图 10B 示出了又一 CT 系统的结构示意图。该 CT 系统为螺旋 CT，相较于 C 臂 CT，其机架 1211 为环形，探测器 1212 和 X 线光管 1215 均设置于机架上，且相对分布，床板 1214 在床板控制器 125 的控制下进出机架孔径，机架带动探测器 1212 和 X 线光管 1215 绕床板 1214 运动。

图 11 为本申请又一实施例提供的计算机设备的结构框图，如图 11 所示，该计算机设备 2 包括处理器 201、存储器 202、输入装置 203 以及输出装置 204；设备中处理器 201 的数量可以是一个或多个，图 11 中以一个处理器 201 为例；设备中的处理器 201、存储器 202、输入装置 203 以及输出装置 204 可以通过总线或其他方式连接，图 11 中以通过总线连接为例。

存储器 202 作为一种计算机可读存储介质，可用于存储软件程序、计算机可执行程序以及模块，如本申请实施例中的能谱图像处理方法对应的程序指令/模块（例如，材料图像模块 11、第一输出模块 13 以及第二输出模块 14）。处理器 201 通过运行存储在存储器 202 中的软件程序、指令以及模块，从而执行设备的各种功能应用以及数据处理，即实现上述的能谱图像处理方法。

存储器 202 可主要包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序；存储数据区可存储根据终端的使用所创建的数据等。此外，存储器 202 可以包括高速随机存取存储器，还可以包括非易失性存储器，例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非易失性固态存储器件。在一些实例中，存储器 202 可进一步包括相对于处理器 201 远程设置的存储器，这些远程存储器可以通过网络连接至设备。上述网络的实例包括但不限于互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

输入装置 203 可用于接收输入的数字或字符信息，以及产生与设备的用户设置以及功能控制有关的键信号输入。

输出装置 204 可包括显示屏等显示设备，例如，用户终端的显示屏。

本申请实施例还提供了一种包含计算机可执行指令的存储介质，所述计算机可执行指令在由计算机处理器执行时用于执行一种能谱图像处理方法，该方法包括：

确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列；

将所述初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计能谱数据；

如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将所述初始材料图像序列作为期望材料图像序列；

如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整所述材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列。

当然，本申请实施例所提供的一种包含计算机可执行指令的存储介质，其计算机可执行指令不限于如上所述的方法操作，还可以执行本申请任意实施例所提供的能谱图像处理方法中的相关操作。

通过以上关于实施方式的描述，所属领域的技术人员可以清楚地了解到，本申请可借助软件及必需的通用硬件来实现，当然也可以通过硬件实现，但很多情况下前者是更佳的实施方式。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品可以存储在计算机可读存储介质中，如计算机的软盘、只读存储器（Read-Only Memory，简称 ROM）、随机存取存储器（Random Access Memory，简称 RAM）、闪存（FLASH）、硬盘或光盘等，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）执行本申请各个实施例所述的能谱图像处理方法。

值得注意的是，上述能谱图像处理装置的实施例中，所包括的各个单元和模块只是按照功能逻辑进行划分的，但并不局限于上述的划分，只要能够实现相应的功能即可；另外，各功能单元的具体名称也只是为了便于相互区分，并不用于限制本申请的保护范围。

注意，上述仅为本申请的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解，本申请不限于这里所述的特定实施例，对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本申请的保护范围。因此，虽然通过以上实施例对本申请进行了较为详细的说明，但是本申请不仅仅限于以上实施例，在不脱离本申请构思的情况下，还可以包括更多其他等效实施例，而本申请的范围由所附的权利要求范围决定。

权 利 要 求 书

1.一种能谱图像处理方法，包括：

确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列；

将所述初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计

5 能谱数据；

如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将所述初始材料图像序列作为期望材料图像序列；

如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整所述材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像

10 序列。

2.根据权利要求1所述的方法，其中，所述确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列包括：

确定所述测量能谱数据对应的能谱图像序列；

将所述能谱图像序列输入已训练的材料模型以得到初始材料图像序列。

15 3.根据权利要求1所述的方法，其中，根据以下步骤确定所述初始材料图像序列对应的材料数据：

确定所述初始材料图像序列中各初始材料图像对应的一个或多个投影角度；

将所述初始材料图像序列中各初始材料图像沿对应的一个或多个投影角度进行前向投影以得到一个或多个材料数据帧；

20 确定属于期望材料图像的所有投影角度、所有投影角度分别对应的材料数据帧以及所有材料数据帧分别对应的探测器探元位置以得到所述期望材料图像的材料数据。

4.根据权利要求1所述的方法，其中，所述测量能谱数据包括至少两级射线能量的投影数据帧，所述测量能谱数据对应至少两个材料基数据。

25 5.根据权利要求1所述的方法，其中，通过以下步骤完成所述能谱数据模型的训练，包括：

将设定数量的材料数据输入能谱数据模型以得到估计能谱数据；

根据所述测量能谱数据与所述估计能谱数据之间的差异，反复调整所述能谱数据模型的网络参数，根据反向传播算法最小化所述测量能谱数据与网络参数调整后的能谱数据模型输出的估计能谱数据之间的差异；

30 通过以下步骤完成所述材料模型的训练，包括：

将所述能谱图像序列输入材料模型以得到估计材料图像序列；

根据所述材料图像序列真值与所述估计材料图像序列之间的差异，反复调整所述材料模型的网络参数，根据反向传播算法最小化所述材料图像序列真值与网络参数调整后的材料模型输出的估计材料图像序列之间的差异。

35 6.根据权利要求1所述的方法，其中，所述材料数据包括所述初始图像序列中的初

始材料图像对应的材料基数据，以及所述材料基数据中的每个数据对应的探测器探元位置和投影角度。

- 7.根据权利要求 1-6 任一所述的方法，其中，所述能谱数据可通过双源双探测器、快速管电压切换、慢速管电压切换、线束过滤、光子计数探测器、双层探测器中的一种方式或多种方式的组合来获取。

8.一种能谱图像处理装置，包括：

材料图像模块，用于确定测量能谱数据对应的初始材料图像序列；

能谱数据估计模块，将所述初始材料图像序列对应的材料数据输入已训练的能谱数据模型以得到估计能谱数据；

- 10 第一输出模块，用于如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异在设定误差范围内，则将所述初始材料图像序列作为期望材料图像序列；

第二输出模块，用于如果所述估计能谱数据与所述测量能谱数据的差异未在设定误差范围内，则根据该差异调整所述材料数据，并将调整后的材料数据对应的材料图像序列作为期望材料图像序列。

- 15 9.一种计算机设备，所述计算机设备包括：

一个或多个处理器；

存储装置，用于存储一个或多个程序；

当所述一个或多个程序被所述一个或多个处理器执行，使得所述一个或多个处理器实现如权利要求 1-7 中任一所述的能谱图像处理方法。

- 20 10.一种包含计算机可执行指令的存储介质，所述计算机可执行指令在由计算机处理器执行时用于执行如权利要求 1-7 中任一所述的能谱图像处理方法。

25

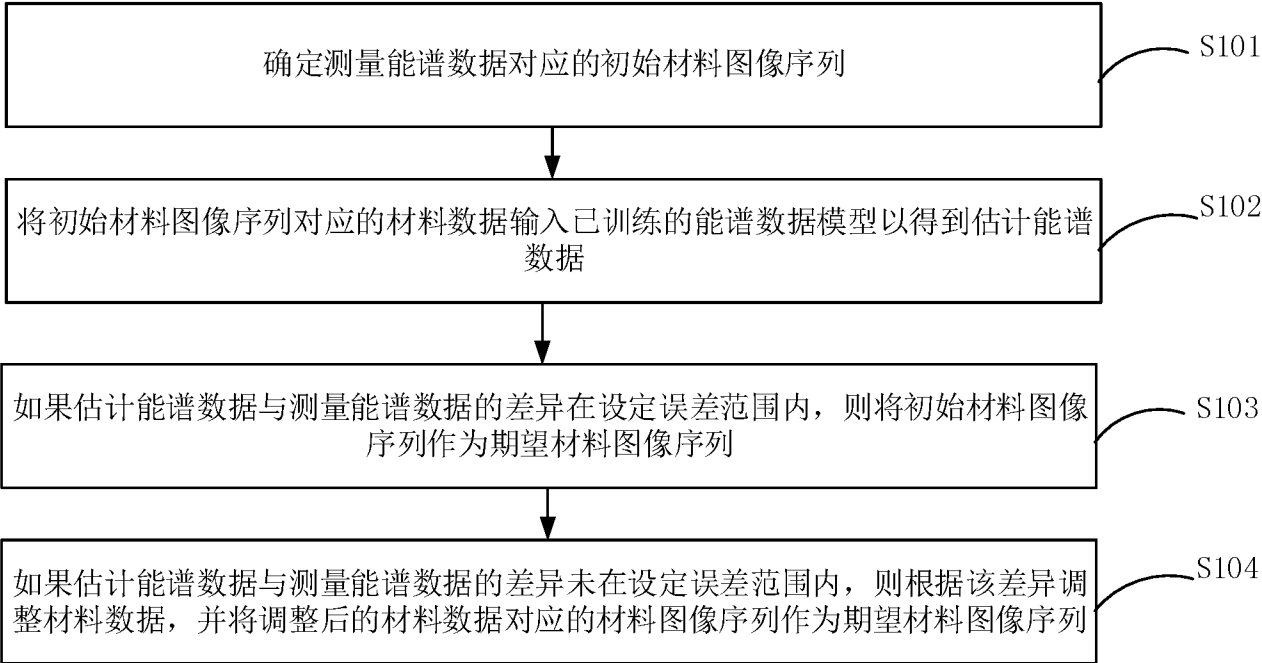


图 1

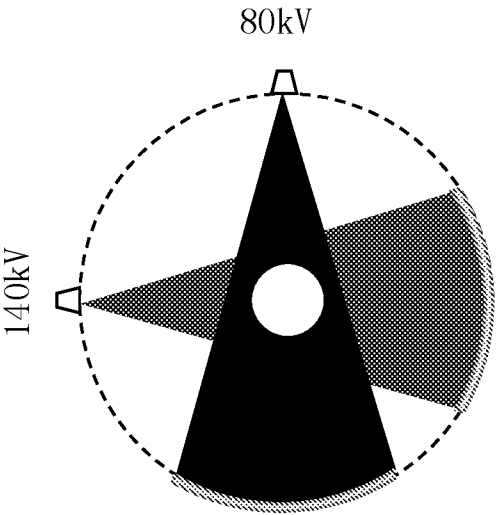


图 2A

80/140kV

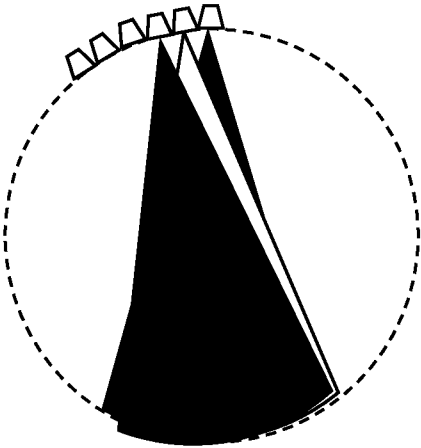


图 2B

80kV Sn

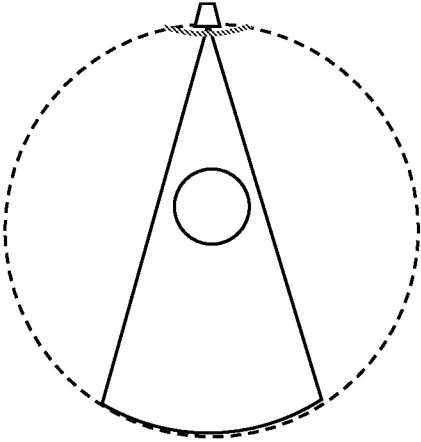


图 2C

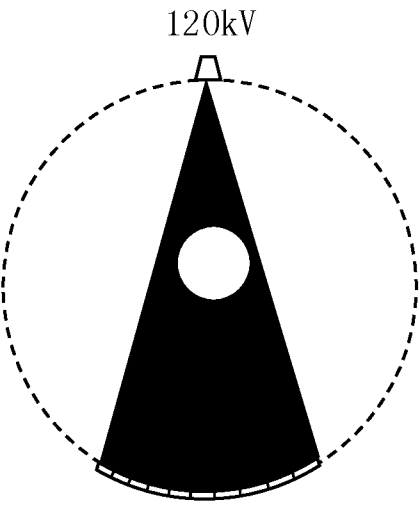


图 2D

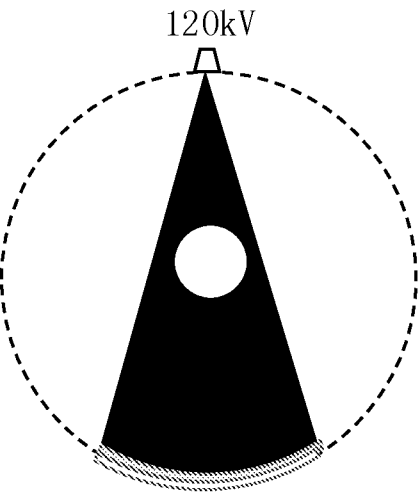


图 2E

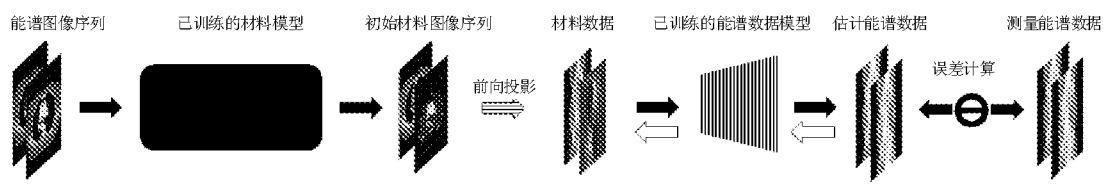


图 3

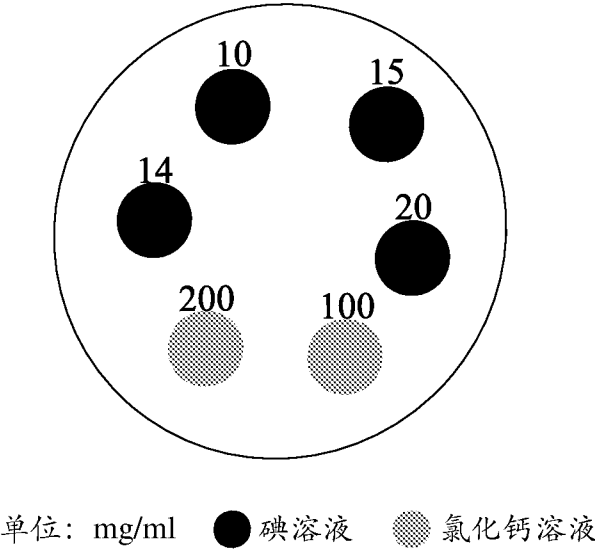


图 4A

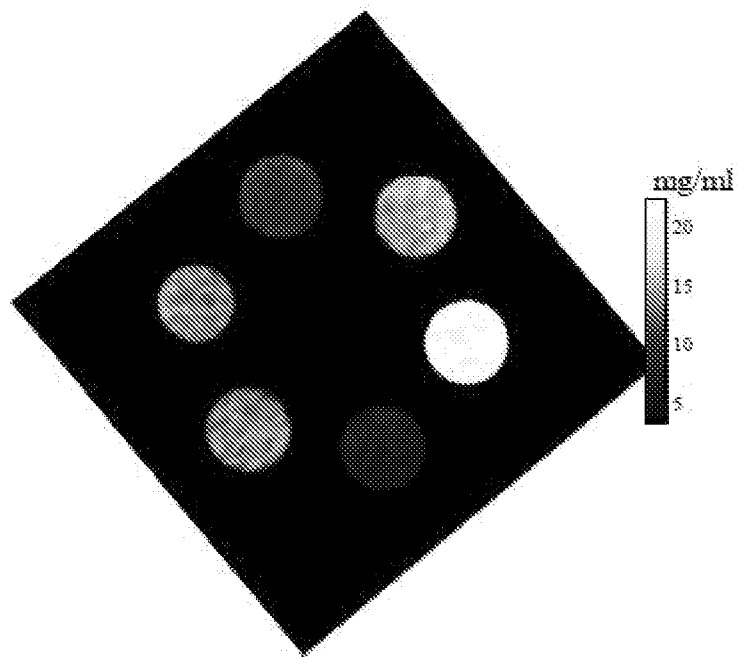


图 4B

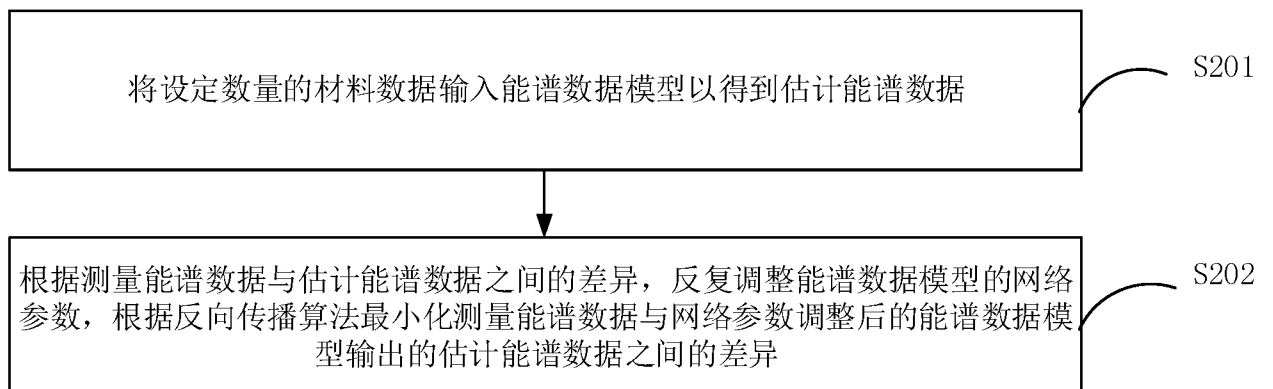


图 5A

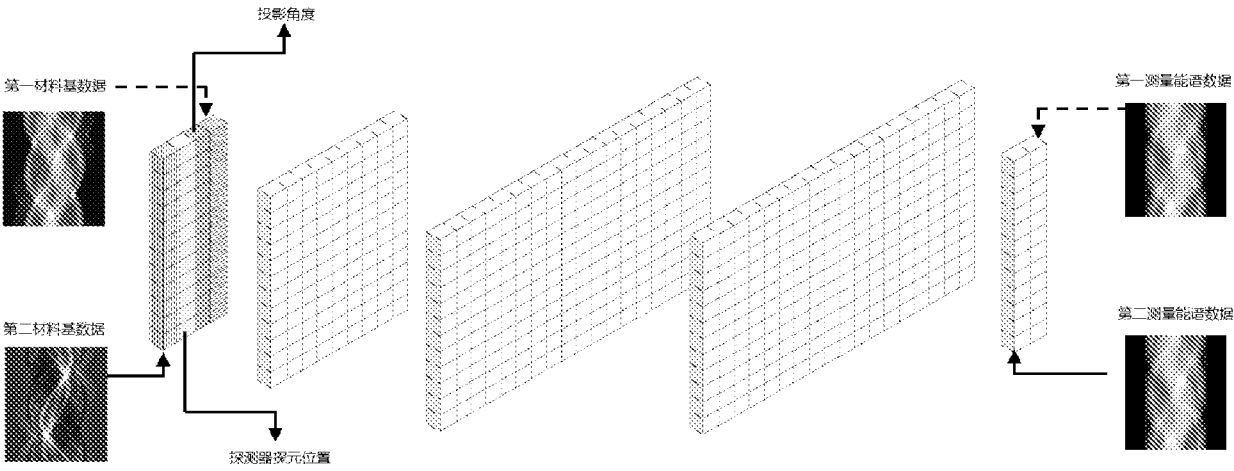


图 5B

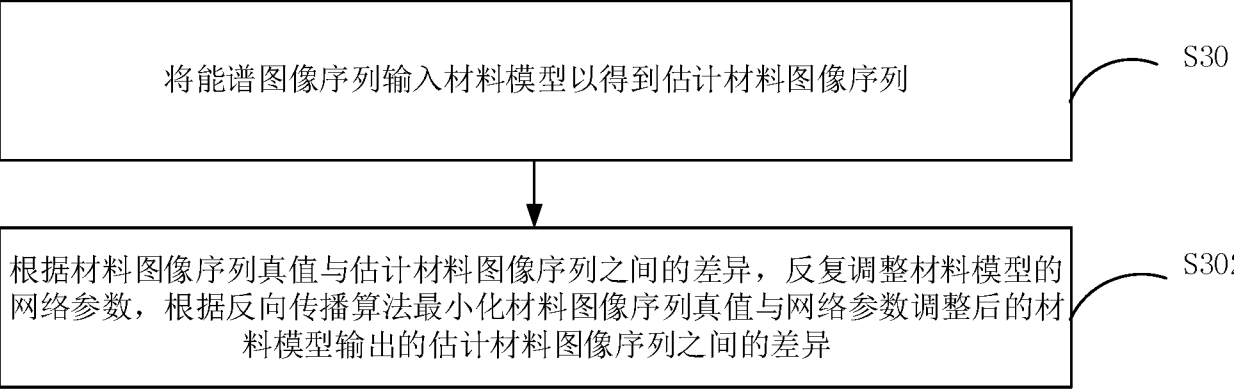


图 6

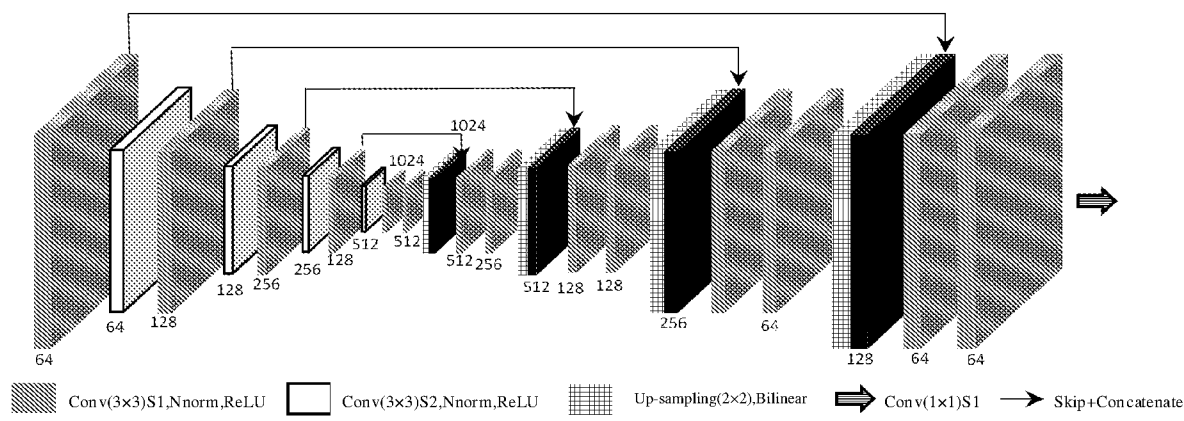


图 7

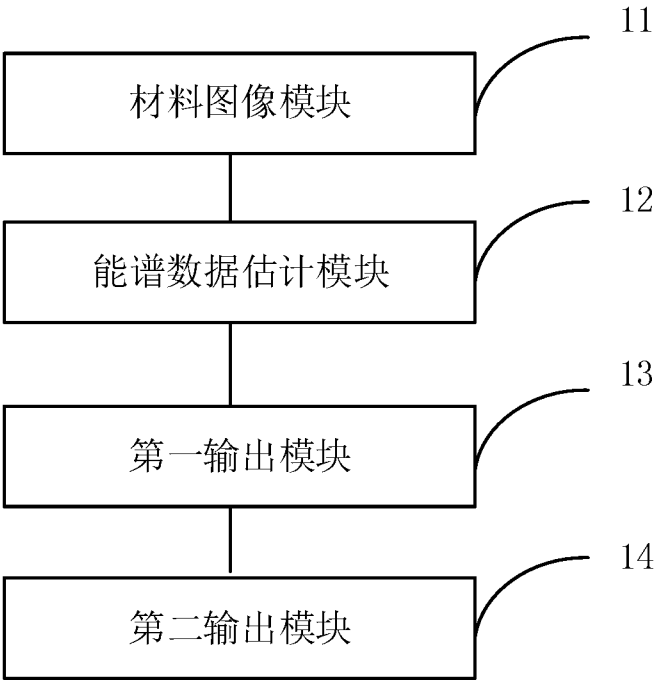


图 8A

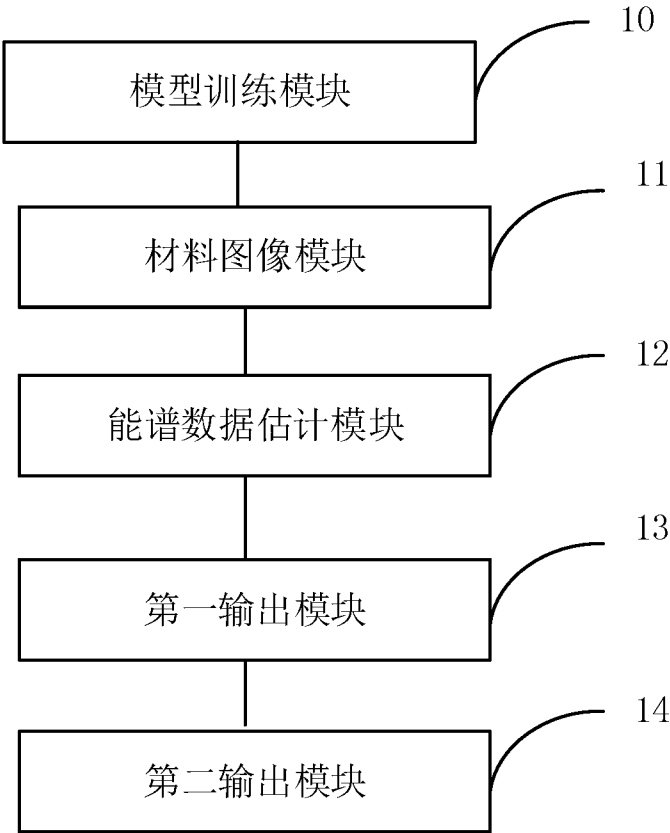


图 8B

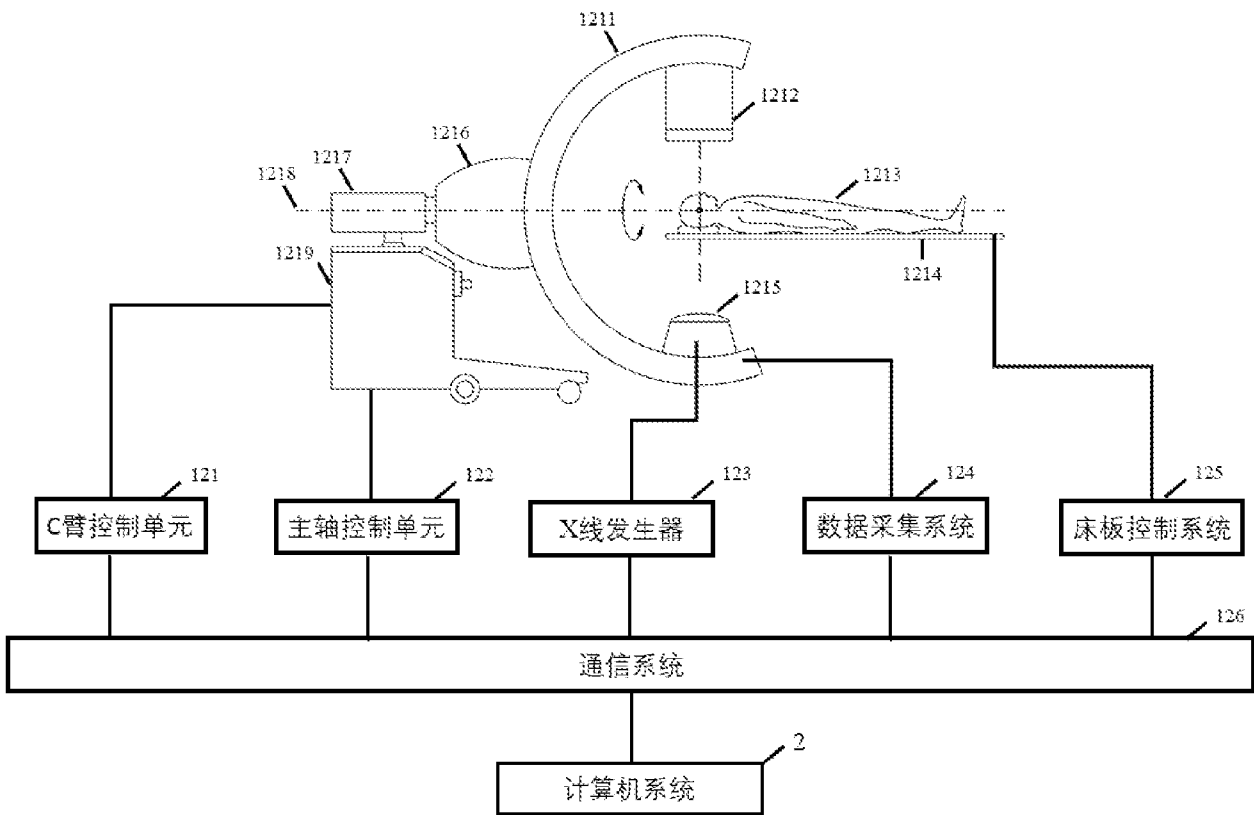


图 9

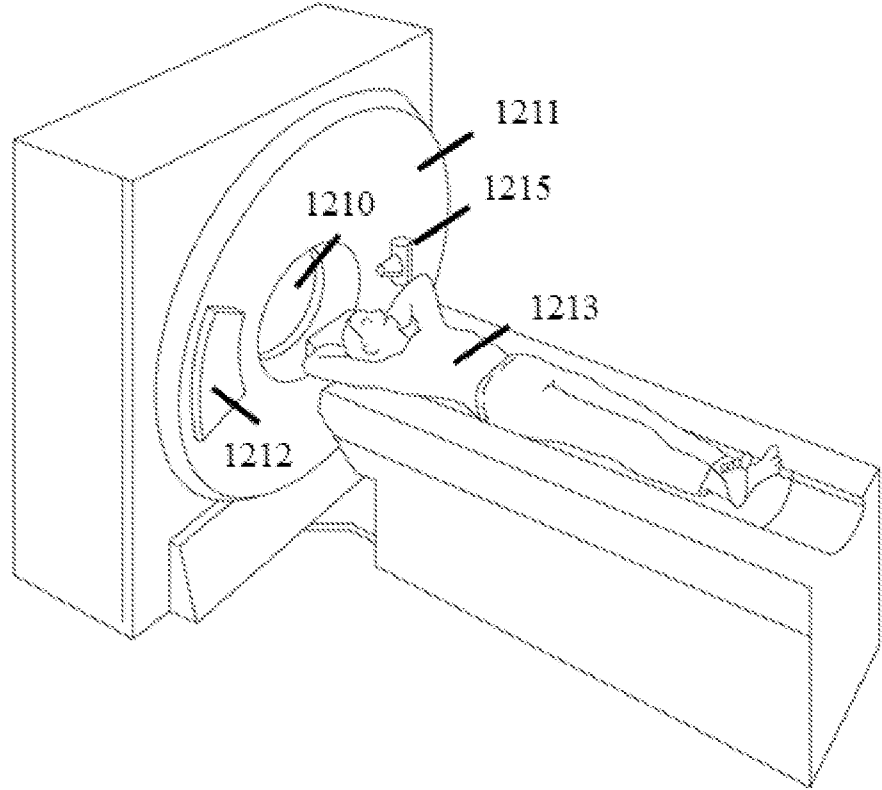


图 10A

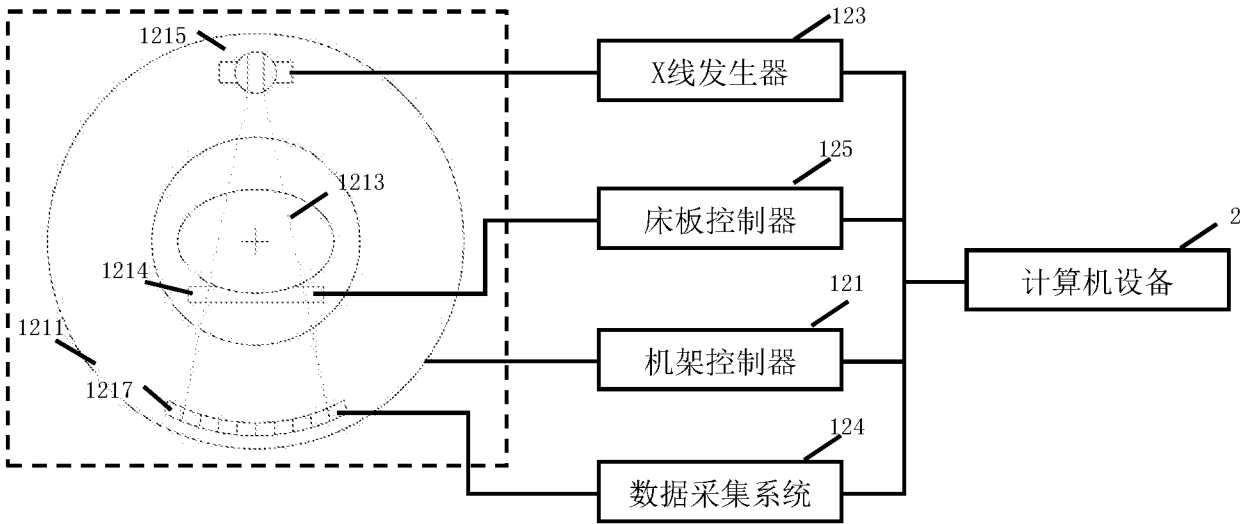


图 10B

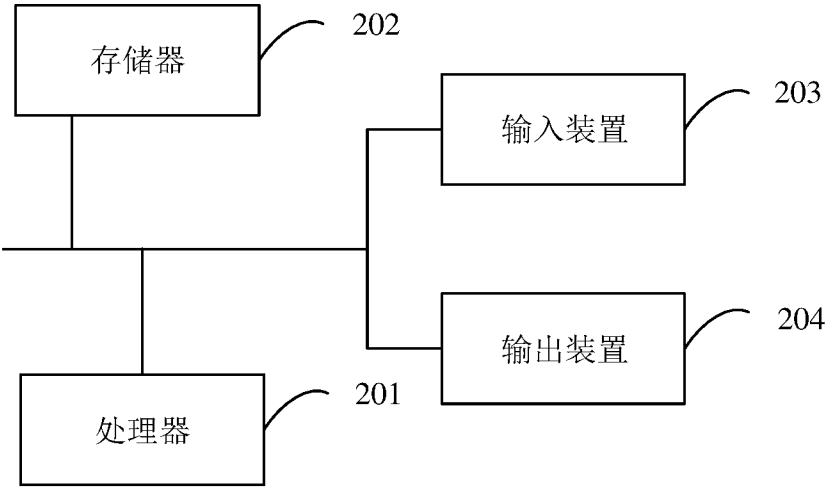


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/129561

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 11/00(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)

IPC:G06T

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)

VEN; CNABS; CNTXT; WOTXT; EPTXT; USTXT; CNKI; IEEE: 能谱, 图像, 测量, 序列, 材料, 差异, 误差, 期望, 调整, 范围, material, image, list, difference, error, range, expectation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 110675467 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 10 January 2020 (2020-01-10) description, paragraphs [0030]-[0153]	1-10
A	CN 101138501 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 12 March 2008 (2008-03-12) entire document	1-10
A	CN 110084864 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 02 August 2019 (2019-08-02) entire document	1-10
A	CN 109916933 A (PLA INFORMATION ENGINEERING UNIVERSITY) 21 June 2019 (2019-06-21) entire document	1-10
A	US 2018038970 A1 (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 08 February 2018 (2018-02-08) entire document	1-10



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

23 April 2023

Date of mailing of the international search report

28 April 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/CN2022/129561

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110675467	A	10 January 2020	None			
CN	101138501	A	12 March 2008	US	2008063135	A1	13 March 2008
				US	7760848	B2	20 July 2010
				DE	102007042296	A1	27 March 2008
				JP	2008062035	A	21 March 2008
				JP	5508667	B2	04 June 2014
CN	110084864	A	02 August 2019	None			
CN	109916933	A	21 June 2019	None			
US	2018038970	A1	08 February 2018	JP	2018021899	A	08 February 2018
				JP	6385523	B2	05 September 2018
				DE	102017208859	A1	08 February 2018
				US	10649104	B2	12 May 2020
				GB	201707858	D0	28 June 2017
				GB	2552736	A	07 February 2018
				GB	2552736	B	10 March 2021

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/129561

A. 主题的分类 G06T 11/00 (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) IPC: G06T 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)) VEN; CNABS; CNTXT; WOTXT; EPTXT; USTXT; CNKI; IEEE: 能谱, 图像, 测量, 序列, 材料, 差异, 误差, 期望, 调整, 范围, material, image, list, difference, error, range, expectation				
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		
A	CN 110675467 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2020年1月10日 (2020 - 01 - 10) 说明书第[0030]-[0153]段	1-10		
A	CN 101138501 A (通用电气公司) 2008年3月12日 (2008 - 03 - 12) 全文	1-10		
A	CN 110084864 A (南京航空航天大学) 2019年8月2日 (2019 - 08 - 02) 全文	1-10		
A	CN 109916933 A (中国人民解放军战略支援部队信息工程大学) 2019年6月21日 (2019 - 06 - 21) 全文	1-10		
A	US 2018038970 A1 (TSINGHUA UNIVERSITY 等) 2018年2月8日 (2018 - 02 - 08) 全文	1-10		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。				
<table><tr><td>* 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</td><td>“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</td></tr></table>			* 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
* 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4月23日		国际检索报告邮寄日期 2023年4月28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 李萌 电话号码 (+86) 010-53961536		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/129561

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	110675467	A	2020年1月10日	无			
CN	101138501	A	2008年3月12日	US	2008063135	A1	2008年3月13日
				US	7760848	B2	2010年7月20日
				DE	102007042296	A1	2008年3月27日
				JP	2008062035	A	2008年3月21日
				JP	5508667	B2	2014年6月4日
CN	110084864	A	2019年8月2日	无			
CN	109916933	A	2019年6月21日	无			
US	2018038970	A1	2018年2月8日	JP	2018021899	A	2018年2月8日
				JP	6385523	B2	2018年9月5日
				DE	102017208859	A1	2018年2月8日
				US	10649104	B2	2020年5月12日
				GB	201707858	D0	2017年6月28日
				GB	2552736	A	2018年2月7日
				GB	2552736	B	2021年3月10日