

(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
2020 年 6 月 18 日 (18.06.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/118894 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 11/60 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/075580
- (22) 国际申请日: 2019 年 2 月 20 日 (20.02.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811529828.0 2018 年 12 月 14 日 (14.12.2018) CN
- (71) 申请人: 深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTE 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: 胡战利 (HU, Zhanli); 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)。 梁栋 (LIANG, Dong); 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)。 杨永峰

(YANG, Yongfeng); 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)。 刘新 (LIU, Xin); 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)。 郑海荣 (ZHENG, Hairong); 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: 深圳市铭粤知识产权代理有限公司 (MING & YUE INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM); 中国广东省深圳市南山区南山街道前海路泛海城市广场 2 栋 604 室, Guangdong 518066 (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, JO, 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,

(54) **Title:** IMAGE RECONSTRUCTION METHOD, COMPUTER DEVICE AND COMPUTER READABLE STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 图像重建方法、计算机设备及计算机可读存储介质

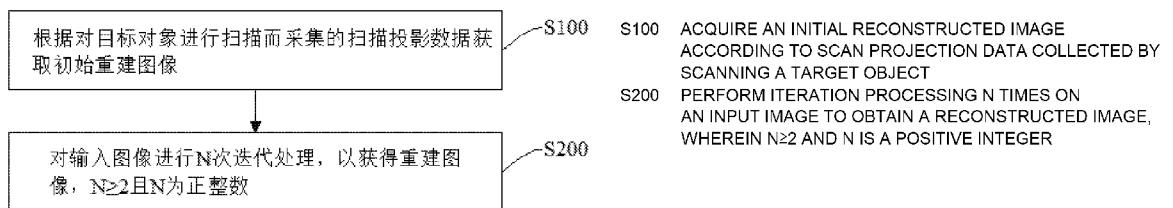


图 1

(57) **Abstract:** Disclosed by the present invention is an image reconstruction method, the image reconstruction method comprising: acquiring an initial reconstructed image according to scan projection data collected by scanning a target object; and performing iteration processing N times on an input image to obtain a reconstructed image. An iteration processing sequence comprises: performing noise reduction optimization on the input image; generating a transitional dictionary and a sparse coefficient corresponding to each image block according to each image block of the input image after noise reduction optimization; generating a new image block according to the transitional dictionary and the sparse coefficient; and updating the input image by using each new image block to obtain an output image. Further disclosed by the present invention is a computer device. Further disclosed by the present invention is a computer readable storage medium. In the present invention, a method of iteration processing is optimized by means of acquiring an initial reconstructed image according to scan projection data collected by scanning a target object and by using noise reduction optimization on the initial image in combination with dictionary learning for iteration processing, thereby achieving a better reconstruction effect.

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。

- (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))。

(57) 摘要: 本发明公开了一种图像重建方法, 所述图像重建方法包括: 根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像; 对输入图像进行N次迭代处理, 以获得重建图像。其中, 所述迭代处理顺序包括: 对输入图像进行降噪优化处理; 根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数; 根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块; 利用各新图像块更新输入图像, 以得到输出图像。本发明还公开了一种计算机设备。本发明还公开了一种计算机可读存储介质。本发明通过对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像, 并对初始图像采用降噪优化结合字典学习进行迭代处理, 从而优化迭代处理的方法, 获得更好的重建效果。

图像重建方法、计算机设备及计算机可读存储介质

5 技术领域

本发明属于图像重建的技术领域，具体地，涉及一种图像重建方法、计算机设备及计算机可读存储介质。

背景技术

10 CT（计算机断层成像）能够在毫米尺度上清晰的获得人体不同组织对于 X 射线的衰减信息，从而为临床医生的诊断和预防提供丰富的三维人体器官组织信息。今天，作为一种技术成熟并在临床上被普遍认可的检查方法，CT 已经成为放射诊断领域内不可缺少的主要工具之一。然而，由于 CT 扫描过程中需要使用 X 射线，随着人们对辐射潜在危害的逐步了解，CT 辐射剂量问题越来越受到人们的重视。

在 CT 扫描时，进行欠采样数据采集可以有效缩短 CT 扫描时间、减少图像伪影并降低 CT 的辐射剂量，低剂量 CT 可以通过调低 X 射线的能量来减少带给病人的辐射。

20 中国专利申请号 201210140841.3 提出的“一种稀疏角度 CT 图像的重建方法”。获取 CT 机的系统参数和一周期内的稀疏角度投影数据，并应用重建模型采用辅助函数法求解得到要求的迭代运算方法进行循环迭代运算，当循环次数达到预设的次数时即停止迭代运算，并将当前所得到的迭代运算结果作为重建图像。但是该方法仅采用辅助函数法对待重建图像进行迭代计算，重建效果仍存在一定的误差。

25 因此，如何优化现有技术重建图像的方法以获得更好的重建效果是本领域技术人员亟待解决的技术问题。

发明内容

为解决上述现有技术存在的问题，本发明提供了一种结合降噪优化处理和字典学习进行图像重建的图像重建方法、计算机设备及计算机可读存储介质。

为了达到上述发明目的，本发明采用了如下的技术方案：

5 根据本发明的一方面，提供了一种图像重建方法，所述图像重建方法包括：

根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像；

对输入图像进行 N 次迭代处理，以获得重建图像， $N \geq 2$ 且 N 为正整数；

其中，第一次迭代处理中的输入图像为所述初始重建图像，第 q 次迭代处理中的输入图像为第 q-1 次迭代处理后的输出图像， $N \geq q \geq 2$ 且 q 为正整数；

10 其中，所述迭代处理顺序包括：对输入图像进行降噪优化处理；根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数；根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块；利用各新图像块更新输入图像，以得到输出图像。

可选地，利用下面的式子对输入图像进行降噪优化处理，

$$15 \quad \overline{x}_q = x_{q-1} - \beta \cdot \Delta x \cdot \frac{\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}}{\|\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}\|};$$

其中， $\overline{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像， x_{q-1} 表示第 q-1 次迭代处理后的输出图像， β 表示梯度下降的步长， $\Delta x = x_{q-1} - x_0$ 。

可选地，根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数：

20 根据降噪优化处理的输入图像的各图像块获得各图像块的过渡字典；

根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块和各图像块的过渡字典并采用以下公式获得各图像块的稀疏约束系数；

$$\min_{w_j} \|R_q^j \bar{x}_q - D_q^j w_q^j\|_2^2, \text{ subject to } \|w_q^j\|_0 \leq \rho;$$

其中, $\bar{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像, $\bar{x}_q$ 由 n 行 m 列的像素点组成, $n > 0$, $m > 0$, n 、 m 为整数, $\bar{x}_q$ 被按列顺序分割成 m 个图像块, R_q^j 表示提取矩阵, 用于提取 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块, $m > j > 0$, j 为整数; w_q^j 为 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块的稀疏约束系数; ρ 为稀疏度限制因子; D_q^j 为 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块的过渡字典。

可选地, 根据过渡字典和稀疏系数并利用下面的式子生成新图像块,

$$x_q^j = D_q^j \omega_q^j;$$

其中, 第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像由 n 行 m 列的像素点组成, $n > 0$, $m > 0$, n 、 m 为整数, 第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像被按列顺序分割成 m 个图像块, x_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个新图像块, D_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的过渡字典; ω_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的稀疏系数。

可选地, 根据各新图像块并利用下面的式子更新输入图像,

$$x_q = (\sum_j R_j^T R_j)^{-1} \sum_j R_j^T x_q^j$$

其中, x_q 表示第 q 次迭代处理后的输出图像, R_j 表示从降噪优化处理后的输入图像中提取第 j 列的图像块的提取矩阵; R_j^T 表示 R_j 的转置矩阵, $\sum_j R_j^T R_j$ 表示对角矩阵。

另外, 可选地, $200 \leq N \leq 500$ 。

可选地, 根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像的方法包括:

以不同角度对目标对象进行扫描，以采集扫描投影数据；

采用滤波反投影的方法对采集的扫描投影数据进行处理，以获取初始重建图像。

可选地，采用 CT 扫描对所述目标对象进行扫描以获取所述扫描投影数据。

- 5 根据本发明的另一方面，还提供了一种计算机设备，所述计算机设备包括：存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的图像重建程序，所述图像重建程序被所述处理器执行时实现如上述的图像重建方法的步骤。

- 10 根据本发明的另一方面，还提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质上存储有图像重建程序，所述图像重建程序被处理器执行时实现如上述的图像重建方法的步骤。

本发明的有益效果：本发明通过对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像，并对初始图像采用降噪优化结合字典学习进行迭代处理，从而优化迭代处理的方法，获得更好的重建效果。

15 附图说明

通过下面结合附图进行的对实施例的描述，本发明的上述和/或其它目的和优点将会变得更加清楚，其中：

图 1 是根据本发明的实施例的图像重建方法的流程图；

- 20 图 2 是根据本发明的实施例的图像重建方法的输出图像与现有技术的图像重建方法的输出图像的对比图。

具体实施方式

- 25 以下，将参照附图来详细描述本发明的实施例。然而，可以以许多不同的形式来实施本发明，并且本发明不应该被解释为限制于这里阐述的具体实施例。相反，提供这些实施例是为了解释本发明的原理及其实际应用，从而使本领域的其他技术人员能够理解本发明的各种实施例和适合于特定预期应用的各种修改。在附图中，为了清楚起见，可以夸大元件的形状和尺寸，并且相同

的标号将始终被用于表示相同或相似的元件。

在本发明中，如涉及“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中，“多个”的含义至少两个，例如两个、三个等，除非另有明确具体的限定。

另外，在本发明的各个实施例之间的技术方案可以相互结合，但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础，当技术方案的结合出现相互矛盾或无爱实现时应当认为这种技术方案的结合不存在，也不在本发明要求的保护范围之内。

实施例一

图 1 是根据本发明的实施例的图像重建方法的流程图。

参照图 1 所示，本发明的第一实施例公开了一种图像重建方法，所述方法包括步骤：

S100、根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像；

S200、对输入图像进行 N 次迭代处理，以获得重建图像， $N \geq 2$ 且 N 为正整数；

其中，第一次迭代处理中的输入图像为所述初始重建图像，第 q 次迭代处理中的输入图像为第 $q-1$ 次迭代处理后的输出图像， $N \geq q \geq 2$ 且 q 为正整数；

其中，所述迭代处理顺序包括：对输入图像进行降噪优化处理；根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数；根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块；利用各新图像块更新输入图像，以得到输出图像。

本发明通过对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像，并对初始图像采用降噪优化结合字典学习进行迭代处理，从而优化迭代处

理的方法，获得更好的重建效果。

作为本发明的一种实施方式，本发明的实施例采用 CT 扫描对目标对象进行扫描以获取所述扫描投影数据。CT（计算机断层成像）能够在毫米尺度上清晰的获得人体不同组织对于 X 射线的衰减信息，从而为临床医生的诊断和预防提供丰富的三维人体器官组织信息。但是 CT 扫描过程中需要使用 X 射线，CT 辐射剂量越大和时长越多对人的辐射潜在危害越大。

为了降低扫描检测过程中射线对目标对象的潜在危害，作为本发明的一种实施方式，本发明的实施例的根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像的方法包括：

10 以不同角度对目标对象进行扫描，以采集扫描投影数据。具体地，CT 扫描仪器会以目标对象为中心，围绕目标对象的一周，以等间隔角度对目标对象进行扫描，并采集扫描投影数据。如此，可以有效缩短 CT 扫描时间，减少图像伪影并降低 CT 的辐射剂量，从而降低 CT 扫描射线对目标对象的潜在危害。

15 然后，采用滤波反投影的方法（Filtered Back-Projection, FBP）对采集的扫描投影数据进行处理，以获取初始重建图像。但是由于采集的扫描投影数据是不完整的，初始重建图像的质量会受到很大的影响，初始重建图像会存在条纹状伪影，图像细节信息完全模糊，由于缺失部分角度范围的投影数据，初始重建图像在数据缺失方向存在伪影，信息严重缺失。

20 因此，为了获得较好的重建图像，本发明的实施例进一步对初始重建图像进行迭代处理。

作为本发明的一种实施方式，迭代处理顺序包括：对输入图像进行降噪优化处理；根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数；根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块；利用各新图像块更新输入图像，以得到输出图像。

25 作为本发明的一种实施方式，采用下面的式子对输入图像进行降噪优化处理，

$$\overline{x}_q = x_{q-1} - \beta \cdot \Delta x \cdot \frac{\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}}{\|\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}\|};$$

其中, $\overline{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像, x_{q-1} 表示第 $q-1$ 次迭代处理后的输出图像, β 表示梯度下降的步长, $\Delta x = x_{q-1} - x_0$ 。

其中, $\nabla \| \cdot \|_{TV}$ 表示 TV 最小化其中的梯度下降方法中的最陡下降法公式, 具体地,

$$\nabla \|x_{q-1}\|_{TV} = \frac{\partial \|x_{q-1}\|_{TV}}{\partial x_{q-1}^{i,j}} \approx \frac{(x_{q-1}^{i,j} - x_{q-1}^{i-1,j}) + (x_{q-1}^{i,j} - x_{q-1}^{i,j-1})}{\tau_{q-1}^{i,j} + \varepsilon} - \frac{x_{q-1}^{i+1,j} - x_{q-1}^{i,j}}{\tau_{q-1}^{i+1,j} + \varepsilon} - \frac{x_{q-1}^{i,j+1} - x_{q-1}^{i,j}}{\tau_{q-1}^{i,j+1} + \varepsilon};$$

其中, $\overline{x}_q$ 及 x_{q-1} 均由 n 行 m 列的像素点组成, $n > 0$, $m > 0$, n 、 m 为整数, $x_{q-1}^{i,j}$ 表示 x_{q-1} 中第 i 行第 j 列的像素点的像素值, $n \geq j > 0$, $m \geq i > 0$; $x_{q-1}^{i-1,j}$ 、 $x_{q-1}^{i,j-1}$ 、 $x_{q-1}^{i+1,j}$ 的含义以此类推。 ε 表示分母中的一个很小的正数, 用于避免任何奇点, 优选地, $0 < \varepsilon < 10^{-5}$ 。 $\tau_{q-1}^{i,j}$ 表示 x_{q-1} 中第 i 行第 j 列的像素点的梯度的大小, $\tau_{q-1}^{i,j} \approx \sqrt{(x_{i,j} - x_{i-1,j})^2 + (x_{i,j} - x_{i,j-1})^2}$ 。

通过上述公式依次计算出降噪优化处理后的输入图像的各个像素点的像素值从而形成降噪处理后的输入图像。

进一步地, 对输入图像进行降噪优化处理后, 根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数。

具体地, 根据降噪优化处理的输入图像的各图像块获得各图像块的过渡字典。降噪优化处理后的输入图像被按列顺序分割成 j 个图像块。分别计算每个图像块对应的过渡字典。进一步地, 通过在图像块中随机抽取若干像素点, 再计算所抽取的若干像素点中, 每个抽取的像素点到图像块中的每个像素点之间的距离, 选取一组到图像块中的每个像素点之间的距离最小的所抽取的像素点形成局部过渡字典。作为本发明的另一种实施方式, 形成过渡字典的方法可以预先训练成字典模型, 迭代计算时, 将降噪优化处理的输入图像的各图像块输入字典模型可得到各图像块的过渡字典。

进一步地, 获得降噪优化处理后的输入图像的各图像块和各图像块的过渡字典后, 采用正交匹配追踪算法获得降噪优化处理后的输入图像的各图像块的稀疏约束系数, 具体地, 采用以下公式计算稀疏系数:

$$\min_{w_j} \|R_q^j \overline{x_q} - D_q^j w_j\|_2^2, \text{ subject to } \|w_j\|_0 \leq \rho;$$

5 其中, $\overline{x_q}$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像, $\overline{x_q}$ 由 n 行 m 列的像素点组成, $n > 0$, $m > 0$, n 、 m 为整数, $\overline{x_q}$ 被按列顺序分割成 m 个图像块, R_q^j 表示提取矩阵, 用于提取 $\overline{x_q}$ 的第 j 个图像块, $m > j > 0$, j 为整数; w_q^j 为 $\overline{x_q}$ 的第 j 个图像块的稀疏约束系数; ρ 为稀疏度限制因子; D_q^j 为 $\overline{x_q}$ 的第 j 个图像块的过渡字典。

10 进一步地, 获得降噪优化处理后的输入图像的各图像块的过渡字典和稀疏系数后, 根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块的过渡字典和稀疏系数生成新图像块, 具体地, 采用以下公式生成新图像块:

$$x_q^j = D_q^j \omega_q^j$$

15 其中, 第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像由 n 行 m 列的像素点组成, $n > 0$, $m > 0$, n 、 m 为整数, 第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像被按列顺序分割成 m 个图像块, x_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个新图像块, D_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的过渡字典; ω_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的稀疏系数。

20 进一步地, 生成各个新图像块之后, 采用下面的式子更新输入图像, 以获得输出图像:

$$x_q = (\sum_j R_j^T R_j)^{-1} \sum_j R_j^T x_q^j$$

其中, x_q 表示第 q 次迭代处理后的输出图像, R_j 表示从降噪优化处理后的

输入图像中提取第 j 列的图像块的提取矩阵； R_j^T 表示 R_j 的转置矩阵， $\Sigma_j R_j^T R_j$ 表示对角矩阵，对角元素表示给定位置处的重叠补丁的数量。

通过 N 次迭代处理使得输入图像不断优化、去噪、去伪影，逼近原始图像。优选地，迭代次数的取值为： $200 \leq N \leq 500$ 。

5 图 2 是根据本发明的实施例的图像重建方法的输出图像与现有技术的图像重建方法的输出图像的对比图。

图 2 中，(a) 为传统统计迭代方法进行图像重建的输出图像；(b) 为传统统计迭代方法与机器学习结合进行图像重建的输出图像；图 (c) 为传统迭代方法结合惩罚项进行图像重建的输出图像；图 (d) 为根据本发明的实施例的
10 图像重建方法的输出图像。为了便于观察，每幅图的左小角和右上角都选取了具有代表性的区域进行放大。

由图 2 可知，本发明的实施例的图像重建方法的输出图像相比其他三种现有技术的图像重建方法在去噪、去伪影方面有较大的改善，较大地提高了成像质量。

15 本发明通过对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像，并对初始图像采用降噪优化结合字典学习进行迭代处理，从而优化迭代处理的方法，获得更好的重建效果，并且本发明所需采集的数据量小，扫描时间段，可以降低扫描时射线对目标对象的潜在危害，还可以提高图像重建速度，避免出现目标对象移动所引起的伪影。

20

实施例二

本发明还提供了另一种实施方式，即提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有图像重建程序，所述图像重建程序可被至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器执行如下步骤：

25 S100、根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像；

S200、对输入图像进行 N 次迭代处理，以获得重建图像， $N \geq 2$ 且 N 为正整数；

其中，第一次迭代处理中的输入图像为所述初始重建图像，第 q 次迭代处理中的输入图像为第 $q-1$ 次迭代处理后的输出图像， $N \geq q \geq 2$ 且 q 为正整数；

- 5 其中，所述迭代处理顺序包括：对输入图像进行降噪优化处理；根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数；根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块；利用各新图像块更新输入图像，以得到输出图像。

上述步骤的详细说明请参阅上述第一实施例，在此不再赘述。

10

实施例三

本发明的第三实施例提高一种计算机设备。所述计算机设备可以是笔记本电脑等计算机设备。所述计算机设备包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的检测学生专注度的程序。

- 15 其中，所述存储器至少包括一种类型的可读存储介质，用于存储安装于所述计算机设备的操作系统和各类应用软件，例如图像重建程序的程序代码等。此外，所述存储器还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的各类数据。

- 所述处理器在一些实施例中可以是中央处理器（Central Processing Unit，CPU）、控制器、微控制器、微处理器、或其他数据处理芯片。该处理器通常
20 用于控制所述移动终端的总体操作。本实施例中，所述处理器用于运行所述存储器中存储的程序代码或者处理数据，例如运行所述图像重建程序等。

所述图像重建程序用于进行图像重建。所述图像重建程序被所述处理器执行时，实现如下步骤：

- S100、根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图
25 像；

S200、对输入图像进行 N 次迭代处理，以获得重建图像， $N \geq 2$ 且 N 为正整数；

其中，第一次迭代处理中的输入图像为所述初始重建图像，第 q 次迭代处理中的输入图像为第 $q-1$ 次迭代处理后的输出图像， $N \geq q \geq 2$ 且 q 为正整数；

5 其中，所述迭代处理顺序包括：对输入图像进行降噪优化处理；根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数；根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块；利用各新图像块更新输入图像，以得到输出图像。

10 本领域技术人员可以理解，所述计算机设备还可以包括其他必要部件，或者组合某些部件，或者不同的部件布置。

需要说明的是，在本文中，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者装置不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者装置所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括该要素的过程、方法、物品或者装置中还存在另外的相同要素。

上述本发明实施例序号仅仅为了描述，不代表实施例的优劣。

20 通过以上的实施方式的描述，本领域的技术人员可以清楚地了解到上述实施例方法可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现，当然也可以通过硬件，但很多情况下前者是更佳的实施方式。基于这样的理解，本发明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，该计算机软件产品存储在一个存储介质（如 ROM/RAM、磁碟、光盘）中，包括若干指令用以使得一台终端（可以是手机，计算机，服务器，空调器，或者网络设备）执行本发明各个实施例所述的方法。

25 上面结合附图对本发明的实施例进行了描述，但是本发明并不局限于上述的具体实施方式，上述的具体实施方式仅仅是示意性的，而不是限制性的，本领域的普通技术人员在本发明的启示下，在不脱离本发明宗旨和权利要求所保

护的范围情况下，还可做出很多形式，这些均属于本发明的保护之内

虽然已经参照特定实施例示出并描述了本发明，但是本领域的技术人员将理解：在不脱离由权利要求及其等同物限定的本发明的精神和范围的情况下，可在此进行形式和细节上的各种变化。

权利要求书

1、一种图像重建方法，其中，所述图像重建方法包括：

根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像；

5 对输入图像进行 N 次迭代处理，以获得重建图像， $N \geq 2$ 且 N 为正整数；

其中，第一次迭代处理中的输入图像为所述初始重建图像，第 q 次迭代处理中的输入图像为第 q-1 次迭代处理后的输出图像， $N \geq q \geq 2$ 且 q 为正整数；

其中，所述迭代处理顺序包括：对输入图像进行降噪优化处理；根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数；
10 根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块；利用各新图像块更新输入图像，以得到输出图像。

2、根据权利要求 1 所述的图像重建方法，其中，利用下面的式子对输入图像进行降噪优化处理，

$$\overline{x}_q = x_{q-1} - \beta \cdot \Delta x \cdot \frac{\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}}{\|\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}\|};$$

15 其中， $\overline{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像， x_{q-1} 表示第 q-1 次迭代处理后的输出图像， β 表示梯度下降的步长， $\Delta x = x_{q-1} - x_0$ 。

3、根据权利要求 1 所述的图像重建方法，其中，根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数：

根据降噪优化处理的输入图像的各图像块获得各图像块的过渡字典；

20 根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块和各图像块的过渡字典并采用以下公式获得各图像块的稀疏约束系数；

$$\min_{w_j} \|R_q^j \bar{x}_q - D_q^j w_q^j\|_2^2, \text{ subject to } \|w_q^j\|_0 \leq \rho;$$

其中, $\bar{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像, $\bar{x}_q$ 由 n 行 m 列的像素点组成, $n > 0$, $m > 0$, n 、 m 为整数, $\bar{x}_q$ 被按列顺序分割成 m 个图像块, R_q^j 表示提取矩阵, 用于提取 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块, $m > j > 0$, j 为整数; w_q^j 为 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块的稀疏约束系数; ρ 为稀疏度限制因子; D_q^j 为 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块的过渡字典。

4、根据权利要求 1 所述的图像重建方法, 其中, 根据过渡字典和稀疏系数并利用下面的式子生成新图像块,

$$x_q^j = D_q^j \omega_q^j;$$

其中, 第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像由 n 行 m 列的像素点组成, $n > 0$, $m > 0$, n 、 m 为整数, 第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像被按列顺序分割成 m 个图像块, x_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个新图像块, D_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的过渡字典; ω_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的稀疏系数。

5、根据权利要求 1 所述的图像重建方法, 其中, 根据各新图像块并利用下面的式子更新输入图像,

$$x_q = (\sum_j R_j^T R_j)^{-1} \sum_j R_j^T x_q^j$$

其中, x_q 表示第 q 次迭代处理后的输出图像, R_j 表示从降噪优化处理后的输入图像中提取第 j 列的图像块的提取矩阵; R_j^T 表示 R_j 的转置矩阵, $\sum_j R_j^T R_j$ 表示对角矩阵。

6、根据权利要求 1 所述的图像重建方法, 其中, 进一步地, $200 \leq N \leq 500$ 。

7、根据权利要求 1 所述的图像重建方法, 其中, 根据对目标对象进行扫

描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像的方法包括：

以不同角度对目标对象进行扫描，以采集扫描投影数据；

采用滤波反投影的方法对采集的扫描投影数据进行处理，以获取初始重建图像。

5 8、根据权利要求 1 所述的图像重建方法，其中，

采用 CT 扫描对所述目标对象进行扫描以获取所述扫描投影数据。

9、一种计算机设备，其中，所述计算机设备包括：存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的图像重建程序，所述图像重建程序被所述处理器执行时实现：

10 根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像；

对输入图像进行 N 次迭代处理，以获得重建图像， $N \geq 2$ 且 N 为正整数；

其中，第一次迭代处理中的输入图像为所述初始重建图像，第 q 次迭代处理中的输入图像为第 q-1 次迭代处理后的输出图像， $N \geq q \geq 2$ 且 q 为正整数；

其中，所述迭代处理顺序包括：对输入图像进行降噪优化处理；根据降噪
15 优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数；根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块；利用各新图像块更新输入图像，以得到输出图像。

10、根据权利要求 9 所述的计算机设备，其中，利用下面的式子对输入图像进行降噪优化处理，

$$20 \quad \overline{x}_q = x_{q-1} - \beta \cdot \Delta x \cdot \frac{\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}}{\|\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}\|};$$

其中， $\overline{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像， x_{q-1} 表示第 q-1 次迭代处理后的输出图像， β 表示梯度下降的步长， $\Delta x = x_{q-1} - x_0$ 。

11、根据权利要求 9 所述的计算机设备，其中，根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数：

根据降噪优化处理的输入图像的各图像块获得各图像块的过渡字典；

根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块和各图像块的过渡字典并采用以下公式获得各图像块的稀疏约束系数；

$$\min_{w_j} \|R_q^j \bar{x}_q - D_q^j w_j\|_2^2, \text{ subject to } \|w_j\|_0 \leq \rho;$$

其中， $\bar{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像， $\bar{x}_q$ 由 n 行 m 列的像素点组成， $n > 0$ ， $m > 0$ ，n、m 为整数， $\bar{x}_q$ 被按列顺序分割成 m 个图像块， R_q^j 表示提取矩阵，用于提取 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块， $m > j > 0$ ，j 为整数； w_q^j 为 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块的稀疏约束系数； ρ 为稀疏度限制因子； D_q^j 为 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块的过渡字典。

12、根据权利要求 9 所述的计算机设备，其中，根据过渡字典和稀疏系数并利用下面的式子生成新图像块，

$$x_q^j = D_q^j \omega_q^j;$$

其中，第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像由 n 行 m 列的像素点组成， $n > 0$ ， $m > 0$ ，n、m 为整数，第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像被按列顺序分割成 m 个图像块， x_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个新图像块， D_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的过渡字典； ω_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的稀疏系数。

13、根据权利要求 9 所述的计算机设备，其中，根据各新图像块并利用下面的式子更新输入图像，

$$x_q = (\sum_j R_j^T R_j)^{-1} \sum_j R_j^T x_q^j$$

其中, x_q 表示第 q 次迭代处理后的输出图像, R_j 表示从降噪优化处理后的输入图像中提取第 j 列的图像块的提取矩阵; R_j^T 表示 R_j 的转置矩阵, $\Sigma_j R_j^T R_j$ 表示对角矩阵。

14、根据权利要求 9 所述的计算机设备, 其中, 所述图像重建程序被所述
5 处理器执行时还实现:

以不同角度对目标对象进行扫描, 以采集扫描投影数据;

采用滤波反投影的方法对采集的扫描投影数据进行处理, 以获取初始重建图像。

15、一种计算机可读存储介质, 其中, 所述计算机可读存储介质上存储有
10 图像重建程序, 所述图像重建程序被处理器执行时实现:

根据对目标对象进行扫描而采集的扫描投影数据获取初始重建图像;

对输入图像进行 N 次迭代处理, 以获得重建图像, $N \geq 2$ 且 N 为正整数;

其中, 第一次迭代处理中的输入图像为所述初始重建图像, 第 q 次迭代处理中的输入图像为第 $q-1$ 次迭代处理后的输出图像, $N \geq q \geq 2$ 且 q 为正整数;

15 其中, 所述迭代处理顺序包括: 对输入图像进行降噪优化处理; 根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数; 根据过渡字典和稀疏系数生成新图像块; 利用各新图像块更新输入图像, 以得到输出图像。

16、根据权利要求 15 所述的计算机可读存储介质, 其中, 利用下面的式
20 子对输入图像进行降噪优化处理,

$$\overline{x}_q = x_{q-1} - \beta \cdot \Delta x \cdot \frac{\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}}{\|\nabla \|x_{q-1}\|_{TV}\|};$$

其中, $\overline{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像, x_{q-1} 表示第 $q-1$ 次迭代处理后的输出图像, β 表示梯度下降的步长, $\Delta x = x_{q-1} - x_0$ 。

17、根据权利要求 15 所述的计算机可读存储介质，其中，

根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块生成各图像块对应的过渡字典和稀疏系数：

根据降噪优化处理的输入图像的各图像块获得各图像块的过渡字典；

5 根据降噪优化处理后的输入图像的各图像块和各图像块的过渡字典并采用以下公式获得各图像块的稀疏约束系数：

$$\min_{w_j} \|R_q^j \bar{x}_q - D_q^j w_q^j\|_2^2, \text{ subject to } \|w_q^j\|_0 \leq \rho;$$

其中， $\bar{x}_q$ 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像， $\bar{x}_q$ 由 n 行 m 列的像素点组成， $n > 0$ ， $m > 0$ ，n、m 为整数， $\bar{x}_q$ 被按列顺序分割成 m 个图像块， R_q^j 表示提取矩阵，用于提取 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块， $m > j > 0$ ，j 为整数； w_q^j 为 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块的稀疏约束系数； ρ 为稀疏度限制因子； D_q^j 为 $\bar{x}_q$ 的第 j 个图像块的过渡字典。

18、根据权利要求 15 所述的计算机可读存储介质，其中，根据过渡字典和稀疏系数并利用下面的式子生成新图像块，

$$15 \quad x_q^j = D_q^j \omega_q^j;$$

其中，第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像由 n 行 m 列的像素点组成， $n > 0$ ， $m > 0$ ，n、m 为整数，第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像被按列顺序分割成 m 个图像块， x_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个新图像块， D_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的过渡字典； ω_q^j 表示第 q 次迭代处理中的降噪优化处理后的输入图像的第 j 个图像块的稀疏系数。

19、根据权利要求 15 所述的计算机可读存储介质，其中，根据各新图像块并利用下面的式子更新输入图像，

$$x_q = (\sum_j R_j^T R_j)^{-1} \sum_j R_j^T x_q^j$$

其中, x_q 表示第 q 次迭代处理后的输出图像, R_j 表示从降噪优化处理后的输入图像中提取第 j 列的图像块的提取矩阵; R_j^T 表示 R_j 的转置矩阵, $\sum_j R_j^T R_j$ 表示对角矩阵。

- 5 20、根据权利要求 15 所述的计算机可读存储介质, 其中, 所述图像重建程序被所述处理器执行时还实现:

以不同角度对目标对象进行扫描, 以采集扫描投影数据;

采用滤波反投影的方法对采集的扫描投影数据进行处理, 以获取初始重建图像。

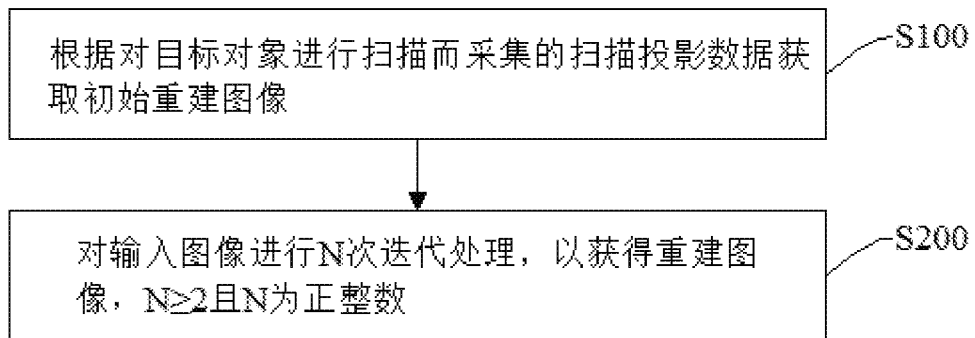


图 1

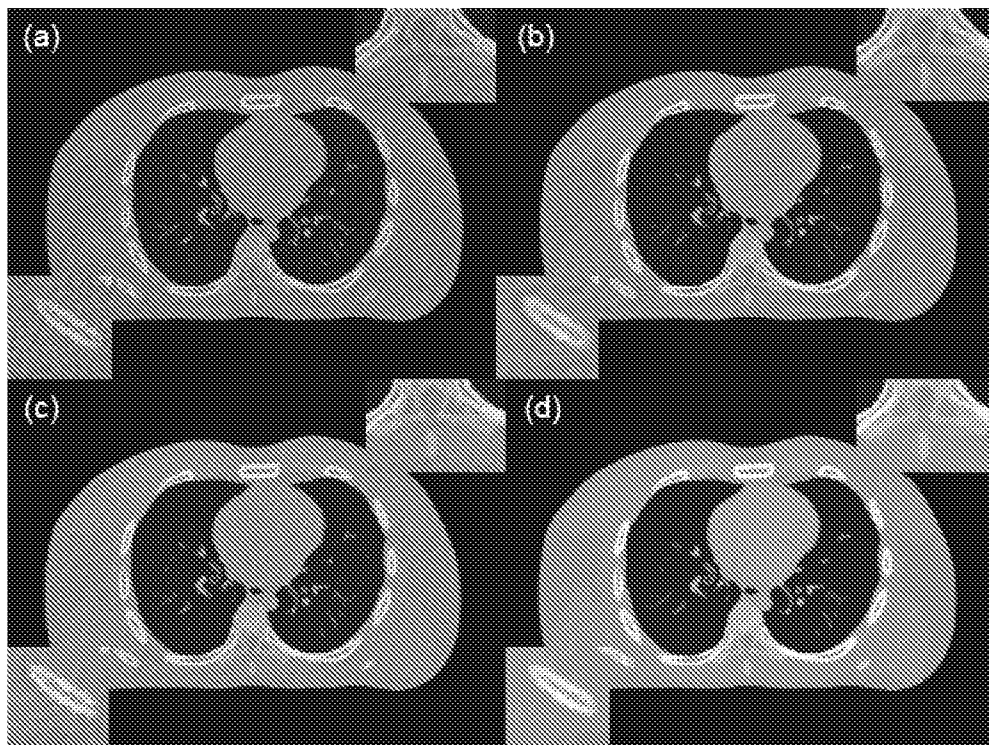


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/075580

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 11/60(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)

G06T 11/-; G01R 33/-; G06T 5/-; G06K 9/-

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; DWPI; IEEE: 图像, 稀疏, 系数, 矩阵, 字典, 噪声; image, sparse, coefficient, matrix, dictionary, noise

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 103472419 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY) 25 December 2013 (2013-12-25) description, paragraphs [0008]-[0085]	1, 3-9, 11-15, 17-20
A	CN 104751429 A (SOUTHERN MEDICAL UNIVERSITY) 01 July 2015 (2015-07-01) entire document	1-20
A	WO 2018049598 A1 (UNIV. SHENZHEN) 22 March 2018 (2018-03-22) entire document	1-20



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

“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

11 September 2019

Date of mailing of the international search report

19 September 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/075580

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103472419	A	25 December 2013	CN	103472419	B	18 May 2016
CN	104751429	A	01 July 2015	CN	104751429	B	02 February 2018
WO	2018049598	A1	22 March 2018	US	2019122350	A1	25 April 2019

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/075580

A. 主题的分类

G06T 11/60 (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)

G06T 11/-; G01R 33/-; G06T 5/-; G06K 9/-

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; DWPI; IEEE: 图像, 稀疏, 系数, 矩阵, 字典, 噪声; image, sparse, coefficient, matrix, dictionary, noise

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
X	CN 103472419 A (深圳先进技术研究院) 2013年 12月 25日 (2013 - 12 - 25) 说明书第[0008]-[0085]段	1, 3-9, 11-15, 17-20
A	CN 104751429 A (南方医科大学) 2015年 7月 1日 (2015 - 07 - 01) 全文	1-20
A	WO 2018049598 A1 (UNIV SHENZHEN) 2018年 3月 22日 (2018 - 03 - 22) 全文	1-20

☐ 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

2019年 9月 11日

国际检索报告邮寄日期

2019年 9月 19日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (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

授权官员

李原野

电话号码 62089967

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/075580

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	103472419	A	2013年 12月 25日	CN	103472419	B	2016年 5月 18日
CN	104751429	A	2015年 7月 1日	CN	104751429	B	2018年 2月 2日
WO	2018049598	A1	2018年 3月 22日	US	2019122350	A1	2019年 4月 25日