

(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
2014 年 12 月 18 日 (18.12.2014)



WIPO | PCT



(10) 国际公布号
WO 2014/198237 A1

- (51) 国际专利分类号:
A61B 6/03 (2006.01) G06T 11/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/079865
- (22) 国际申请日: 2014 年 6 月 13 日 (13.06.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310234787.3 2013 年 6 月 14 日 (14.06.2013) CN
- (71) 申请人: 同方威视技术股份有限公司 (NUCTECH COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。
- (72) 发明人: 沈乐 (SHENG, Le); 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。 邢宇翔 (XING, Yuxiang); 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。 张丽 (ZHANG, Li); 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。 陈志强 (CHEN, Zhiqiang); 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。

- (74) 代理人: 中科专利商标代理有限责任公司 (CHINA SCIENCE PATENT & TRADEMARK AGENT LTD.); 中国北京市海淀区西三环北路 87 号 4-1105 室, Beijing 100089 (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, 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, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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。
- (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, 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)。

[见续页]

(54) Title: CT IMAGING METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: CT 成像方法和系统

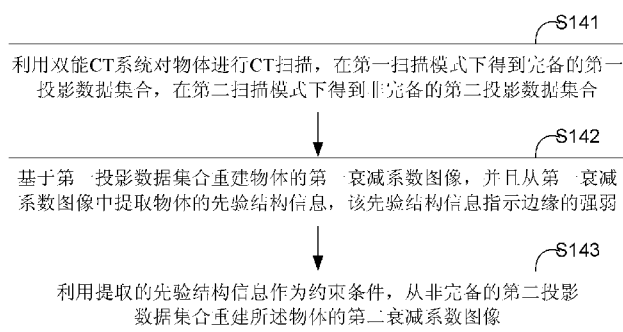


图 14 /Fig. 14

S141 Scanning an object using a dual-energy CT system, obtaining in the first scan mode a complete first set of projection data, and in the second scan mode an incomplete second set of projection data

S142 Reconstructing on the basis of first projection data set a first attenuation coefficient image of the object, and extracting from said first attenuation coefficient image a priori structural information indicating edge strength

S143 Using the extracted a priori structural information as constraint conditions while reconstructing from the incomplete second set of projection data a second attenuation coefficient image of the object

(57) Abstract: Disclosed are a method and system for CT imaging, said method comprising the following steps: CT-scanning an object using a dual-energy CT system, obtaining in the first scan mode a complete first set of projection data, and obtaining in the second scan mode an incomplete second set of projection data; reconstructing on the basis of the first set of projection data a first attenuation coefficient image of the object, and extracting from said first attenuation coefficient image a priori structural information indicating edge strength; using the extracted a priori structural information as constraint conditions while reconstructing from the incomplete second set of projection data a second attenuation coefficient image of the object. The described method uses a priori structural information of the imaged object as constraint conditions in the reconstruction process, thus greatly reducing the amount of data required for reconstruction, and also having favourable effects on limited-angle and internal-reconstruction problems of morbid states.

(57) 摘要: 公开了一种 CT 成像方法和系统。该方法包括步骤: 利用双能 CT 系统对物体进行 CT 扫描, 在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合, 在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合; 基于第一投影数据集合重建物体的第一衰减系数图像, 并且从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息, 所述先验结构信息指示边缘的强弱; 利用提取的先验结构信息作为约束条件, 从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。所述方法利用被成像物体的先验结构信息作为重建过程的约束条件, 可以大幅度降低重建所需要的数据量, 对于病态的有限角和内重建问题也具有良好的效果。

取物体的先验结构信息, 所述先验结构信息指示边缘的强弱; 利用提取的先验结构信息作为约束条件, 从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。所述方法利用被成像物体的先验结构信息作为重建过程的约束条件, 可以大幅度降低重建所需要的数据量, 对于病态的有限角和内重建问题也具有良好的效果。



本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

CT 成像方法和系统

本申请要求了 2013 年 6 月 14 日提交的、申请号为 201310234787.3、发明名称为"CT 成像方法和系统"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。

技术领域

本发明的实施例涉及辐射成像，具体涉及一种利用先验结构信息的 CT 成像方法和系统。

背景技术

X 射线 CT 成像系统在医疗、安检、工业无损检测等领域中都有着广泛的应用。射线源和探测器按照一定的轨道采集一系列的投影数据，经过图像重建算法的复原可以得到物体的某个断层的线性衰减系数的空间分布。图像重建是从线性衰减系数的线积分数据中恢复原始的衰减系数的过程，是一个反演问题。目前，在实际应用中使用最广泛的是传统的滤波反投影算(FBP)法，它是一种基于连续信号处理的解析算法。随着计算机处理速度的飞速提高，迭代重建技术也取得了迅速的发展。与解析算法相比，迭代算法适用条件更加广泛，对于各种非标准扫描轨道，低剂量，投影数据缺失，有限角度等都能取得较好的重建结果。

基于压缩感知的 CT 图像重建方法是近年来 CT 成像领域的研究热点之一。根据压缩感知理论，在满足某些条件的情况下，如果被测量的信号在某个变换下呈现稀疏性，则只需要极少的测量值就能够以极大的概率精确重建出原始信号。假设原始信号有 n 个分量，而测量数据为 m 个，则如何重建原始信号 x^* ？先验信息和“好的”测量矩阵是必不可少的。这里，先验信息就是变换 Ψ 的稀疏性，它要求信号经过稀疏变换之后的非零分量的个数不大于对信号进行不相干测量的次数：

$$\|\Psi x^*\|_0 < m \quad (1)$$

测量矩阵则要求尽量是随机的，例如高斯随机矩阵就是满足随机性条件的测量矩阵。

而原始信号通过求解一个带约束的零范数最小化问题得到，在所有满足数据测量条件的可行解集合中，求出零范数下最稀疏的解：

$$x^* = \arg \min \{ \|\Psi x\|_0 : Ax = b \} \quad (2)$$

但是，零范数优化问题难以求解，因此通常使用 1 范数来逼近上述问题：

$$x^* = \arg \min \{ \|\Psi x\|_1 : Ax = b \} \quad (3)$$

在 CT 重建中，常用全变分（TV：Total Variation）作为稀疏变换。全变分是对信号的梯度的模的积分。在所有满足 CT 投影数据测量数据保真性的可行解集合中，求出使全变分最小的解，这就是最基本的 TV 约束的重建方法：

$$\begin{aligned} & \min \|\nabla x\| \\ & s.t. Ax = b \end{aligned} \quad (4)$$

基于 TV 最小化约束的重建方法在稀疏采样、低剂量、内重建问题中都取得了很好的效果。除了稀疏性作为先验信息外，也可以利用先验图像的信息来加强重建图像的质量。例如，基于先验图像的压缩感知的重建方法(Prior image constrained compress sensing, PICCS)，利用先验图像和目标图像之间的相似性进行重建。当先验图像 x_p 与目标图像 x 的差分图像 $x_p - x$ 具有一定稀疏性，或者经过某个变换进行稀疏化时，则可以利用先验图像来加强重建效果。PICCS 在心脏动态成像，灌注成像，双能 CT，C-arm CT 中都取得了成功的应用。PICCS 要求先验图像和目标图像具有较高的相似性，尤其是两者在数值上要接近，这样差分图像才具有更好的稀疏性。当先验图像与目标图像的数值差异较大时，PICCS 算法则不再适用，例如 MeV-keV 双能 CT。

发明内容

考虑到现有技术中的一个或多个问题，提出了一种基于先验结构信息的 CT 成像方法和系统。

在本发明的一个方面，提出了一种 CT 成像方法，包括步骤：利用双能 CT 系统对物体进行 CT 扫描，在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合，在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合；基于第一投影数据集合重建物体的第一衰减系数图像，并且从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱；将提取的先验结构信息作为约束条件，从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。

在本发明的另一方面，提出了一种 CT 成像方法，包括步骤：从反映物体的内部结构的第一图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱；

利用 CT 系统对物体进行 CT 扫描，得到投影数据集合；以及将提取的先验结构信息作为约束条件，从所述投影数据集合重建所述物体的第二图像。

在本发明的再一方面，提出了一种 CT 成像系统，包括：射线源，产生双能 X 射线；探测和采集装置，接收透射物体的双能 X 射线；控制设备，控制所述射线源以及所述探测和采集装置对物体进行 CT 扫描，在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合，在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合；重建设备，基于第一投影数据集合重建物体的第一衰减系数图像，并且从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱，以及将提取的先验结构信息作为约束条件，从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。

在本发明的又一方面，提出了一种 CT 成像系统，包括：射线源，产生 X 射线；探测和采集装置，接收透射物体的双能 X 射线；控制设备，控制所述射线源以及所述探测和采集装置对物体进行 CT 扫描，得到投影数据集合；重建设备，从反映物体的内部结构的第一图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱；以及将提取的先验结构信息作为约束条件，从所述投影数据集合重建所述物体的第二图像。

上述实施例的方案利用被成像物体的先验结构信息作为重建过程的约束条件，可以大幅度降低重建所需要的数据量。此外，该方案对于病态的有限角和内重建问题也具有良好的效果。

附图说明

下面的附图表明了本发明的实施方式。这些附图和实施方式以非限制性、非穷举性的方式提供了本发明的一些实施例，其中：

图 1A 和图 1B 分别示出了根据本发明实施例的方法和系统中涉及到的图像和先验结构信息的例子；

图 2 是描述根据本发明实施例的方法和系统采用的有限角 CT 扫描的示意图；

图 3 是描述根据本发明实施例的方法和系统中采用的角度稀疏采样 CT 扫描的示意图；

图 4 是描述根据本发明实施例的方法和系统中采用的内重建 CT 扫描的示意图；

图 5 是描述根据本发明实施例的方法和系统中采用的探测器欠采样 CT 扫描的

示意图；

图 6 是描述根据本发明实施例的方法和系统中涉及的不完备投影数据的示意图；

图 7 示出了根据本发明实施例的方法和系统在角度稀疏采样 CT 扫描情况下的仿真结果；

图 8 示出了根据本发明实施例的方法和系统在有限角度 CT 扫描情况下的仿真结果；

图 9 示出了根据本发明实施例的方法和系统在探测器欠采样 CT 扫描情况下的仿真结果；

图 10 是描述根据本发明一个实施例的有限角度扫描情况下的双能 CT 探测器的示意图；

图 11 示出了根据本发明实施例的 CT 系统的结构示意图；

图 12 是描述根据本发明另一实施例的探测器欠采样情况下的双能 CT 探测器的示意图；

图 13 是描述根据本发明再一实施例的内重建情况下的双能 CT 探测器的示意图；

图 14 示出了根据本发明实施例的 CT 成像方法的流程图；以及

图 15 示出了根据本发明另一实施例的 CT 成像方法的流程图。

具体实施方式

下面将详细描述本发明的具体实施例，应当注意，这里描述的实施例只用于举例说明，并不用于限制本发明。在以下描述中，为了提供对本发明的透彻理解，阐述了大量特定细节。然而，对于本领域普通技术人员显而易见的是：不必采用这些特定细节来实行本发明。在其他实例中，为了避免混淆本发明，未具体描述公知的电路、材料或方法。

在整个说明书中，对“一个实施例”、“实施例”、“一个示例”或“示例”的提及意味着：结合该实施例或示例描述的特定特征、结构或特性被包含在本发明至少一个实施例中。因此，在整个说明书的各个地方出现的短语“在一个实施例中”、“在实施例中”、“一个示例”或“示例”不一定都指同一实施例或示例。此外，可以以任何适当的组合和/或子组合将特定的特征、结构或特性组合在一个或多个实施例或示例中。此

外，本领域普通技术人员应当理解，这里使用的术语“和/或”包括一个或多个相关列出的项目的任何和所有组合。

为了解决现有技术中的问题，发明的实施例提出利用先验结构信息作为约束来从完备的或非完备的投影数据中重建物体的图像。例如，在 CT 重建过程中利用先验结构信息对图像进行约束，以达到在保证图像质量的条件下用完备的或非完备数据进行重建的目的。在一些实施中，图像的结构信息指的是图像中具有明显灰度差异的边界和细节信息，结构信息最常见的应用是图像的边缘提取和分割。从如图 1A 所示的图像中提取的结构信息在图 1B 中示出，例如使用拉普拉斯算子、Candy 算子、离散梯度变换、自适应阈值等来提取结构信息。在一些实施例中，先验结构信息与目标图像的结构具有较高的相似性，而不管先验图像与目标图像的数值动态范围是否相近。

在一些实施例的 CT 成像方法中，利用双能 CT 系统对物体进行 CT 扫描，在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合，在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合。基于第一投影数据集合重建物体的第一衰减系数图像，并且从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱。接下来，将提取的先验结构信息作为约束条件，从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。在上述实施例中，利用双能 CT 系统中得到的低能或者高能图像之一来得到先验结构信息，然后将该先验结构信息作为约束来重建另一能量下的图像，这样能够允许从非完备的投影数据中重建得到质量较高的图像。

在另外一些实施例的 CT 成像方法中，从反映物体的内部结构的第一图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱。利用 CT 系统对物体进行 CT 扫描，得到投影数据集合。接下来，将提取的先验结构信息作为约束条件，从所述投影数据集合重建所述物体的第二图像。在上述实施例中，第一图像可以是该物体的之前的 CT 成像过程中得到的图像，从相似的断层图像中提取，也可以是人工生成的图像，例如人工涉及的图纸图像（如计算机辅助设计图纸）等等，只要能够反映物体的内部结构，都可以用来作为产生上述的先验结构信息的图像。

一些实施例的方案可应用于无损检测、医疗诊断、安检等领域。本发明的一些实施例中利用重建物体的结构信息作为先验信息，可以大幅度降低图像重建所需要的投影数据数量的要求，同时可以对先验图像的数值动态范围不作要求。例如，该方法可用于解决如图 2 所示的有限角度 CT 扫描问题、如图 3 所示的稀疏角度采样

CT 扫描问题、如图 4 所示的内重建 CT 扫描问题、以及如图 5 所示的探测器欠采样 CT 扫描问题等等非完备数据带来的图像重建质量问题，并具有良好的效果。如本领域的普通技术人员所理解的那样，本发明实施例的方法可用于医学诊断、工业无损检测和安检领域。

在利用先验结构信息作为约束来从非完备的投影数据中重建图像的过程中，可以利用迭代计算的方法，例如使用代数重建技术（ART: Algebra reconstruction Technique）方法。设目标图像表示为 $\mathbf{f} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ ，CT 扫描得到的投影数据表示为 $\mathbf{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ ，线积分投影过程表示为 $\mathbf{H} = \{h_{ij}\}_{m \times n}$ ，投影数据的噪声方差为 $\sigma^2 = \{\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_m^2\}$ ，则直接进行统计迭代重建的问题为求解一个加权最小二乘问题，权重就是投影数据的噪声方差的倒数：

$$\min \|\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p}\|_{\mathbf{W}} = \min (\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p})^T \mathbf{W} (\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p}) \quad (5)$$

“ T ”表示转置操作，加权矩阵 $\mathbf{W}$ 反映了投影数据的噪声特性，通常可取：

$$\mathbf{W} = \text{diag}^{-1}(\sigma^2) = \text{diag}\left(\frac{1}{\sigma_1^2}, \frac{1}{\sigma_2^2}, \dots, \frac{1}{\sigma_m^2}\right) \quad (6)$$

若以上方程组的方程数小于未知数，则方程组的解不唯一，此时需要添加额外的约束条件来限制得到唯一解。若使用 TV 最小化作为约束条件，则得到以下优化问题：

$$\min TV(\mathbf{f}) = \min \|\nabla \mathbf{f}\| \quad s.t. \quad \|\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p}\|_{\mathbf{W}} \leq \varepsilon \quad (7)$$

其中，全变分可以通过计算图像各点的离散梯度模之和来近似：

$$TV(\mathbf{f}) = \|\nabla \mathbf{f}\| = \sum_{s,t} \sqrt{(f_{s,t} - f_{s,t-1})^2 + (f_{s,t} - f_{s-1,t})^2} \quad (8)$$

本发明实施例的方法引入了先验结构信息作为约束条件，这里所涉及的图像的结构信息指的是图像中具有明显灰度差异的边界和细节信息。提取结构信息最常见的应用是图像的边缘提取和分割，例如利用自适应阈值提取的图像边缘。设图像先验结构信息为 $\mathbf{g} = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ，由先验结构信息生成加权矩阵 $\mathbf{G} = \text{diag}(\mathbf{g}) = \text{diag}\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ 。权重的大小反映了边缘的强弱。权重越大，表示

该区域越是平坦，因此 TV 平滑的强度更大；权重越小，表示该区域是边缘，不应该被 TV 磨平。这样，优化问题具有以下形式：

$$\begin{aligned} \min \|\mathbf{G}\nabla\mathbf{f}\|_1 + \lambda \|\nabla\mathbf{f}\|_1 = \min \|\mathbf{(G + \lambda I)}\nabla\mathbf{f}\|_1 \\ s.t. \quad \|\mathbf{Hf} - \mathbf{p}\|_w \leq \varepsilon \end{aligned} \quad (9)$$

这里， ε 是与投影数据噪声总体水平有关的量， λ 则是用来平衡先验结构信息约束和 TV 约束，当 $\lambda \leq 1$ 时以先验结构信息为主要约束，而当 $\lambda > 1$ 时以 TV 最小化为主要约束，加权矩阵 $\mathbf{W}$ 反映了投影数据的噪声特性， $\mathbf{I}$ 为单位矩阵。

作为一个实施例，实现以上式 (9) 问题求解的主要步骤如下：

1) 提取先验结构信息。先验结构信息可以由先验图像通过边缘提取得到，并进行必要的预处理，如平滑去噪，剔除孤立点等，计算出 $\mathbf{G}$ ；

2) 从投影数据中估计噪声方差，计算出 $\mathbf{W}$ 和 ε （在无法估计噪声的情况下也可以取 $\mathbf{W}$ 为单位阵）；选择 TV 约束的权重 λ ；

3) 设定迭代初值为 $\mathbf{f}^0$ ；

4) 进行保真项更新，例如可以使用 ART 迭代重建算法进行一轮更新：

$$\mathbf{f}_{fit}^{k+1} = \mathbf{f}_{fit}^k + w_{jj} \frac{p_j - \mathbf{H}_j \mathbf{f}_{fit}^k}{\|\mathbf{H}_j\|^2} \mathbf{H}_j^T \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

在其他实施例中，也可以使用联合代数重建算法 (SART: Simultaneous Algebra reconstruction Technique) 进行一轮更新：

5) 非负性约束更新，将 ART 迭代结果中所有小于零的点置为零：

$$\mathbf{f}_{pos}^{k+1} = \max(\mathbf{0}, \mathbf{f}^{k+1}) \quad (11)$$

6) 结构先验约束更新，降低图像的加权 TV 值：

$$\mathbf{f}_{cons}^{k+1} = \mathbf{f}_{cons}^{k+1} + \alpha \cdot \nabla \left(\|\mathbf{(G + \lambda I)}\nabla\mathbf{f}_{pos}^{k+1}\|_1 \right) \quad (12)$$

其中 “ α ” 表示加权 TV 最速下降步长。

7) 令 $\mathbf{f}_{fit}^{k+1} = \mathbf{f}_{cons}^{k+1}$ ，再进行 (4)~(6) 步，直到满足收敛条件（如 $\|\mathbf{f}_{fit}^* - \mathbf{f}_{cons}^*\| \leq \varepsilon_{stop}$ ，其中 ε_{stop} 表示停止迭代阈值）停止迭代。

其中，上述 4) 步中 $\mathbf{H}_j$ 表示矩阵 $\mathbf{H}$ 的第 j 行， w_{jj} 则是矩阵 $\mathbf{W}$ 的第 j 个对角元。

除了边缘提取的方式，先验结构信息也可以通过其他方式得到，如计算机辅助设计图纸。

本发明实施例的方法利用被成像物体的先验结构信息作为重建过程的约束条件，可以大幅度降低重建所需要的数据量，对于病态的有限角和内重建问题也具有良好的效果。本发明的实施例可降低探测器数量以减少 CT 系统制造成本，可用于减少角度覆盖范围以降低 z 轴层厚和提高时间分辨率，也可进行局部成像以降低辐射剂量，具有较强的实用性和广泛的适用范围。图 2 至图 5 展示了四种可以使用本方法进行重建的 CT 扫描方式。图 6 是这些扫描方式下的数据在投影域的实际采样位置。图 7 是使用本方法对角度稀疏采样情况仿真的重建结果，图 8 是使用本方法对有限角扫描方式的仿真数据进行重建的结果。图 9 示出了根据本发明实施例的方法和系统在探测器欠采样 CT 扫描情况下的仿真结果。

图 2 是描述根据本发明实施例的方法和系统采用的有限角 CT 扫描的示意图。

如图 2 所示，从射线源 10 发出的 X 射线透射视野 45 中的物体 40 后被探测器 30 接收，转换成电信号并进而转换成表示衰减值的数字信号，作为投影数据，在计算机中进行重建。在已知物体的先验结构信息的情况下，即使对物体 40 进行有限角度的 CT 扫描（例如 130 度），也能够重建得到质量较高的图像。

图 3 是描述根据本发明实施例的方法和系统中采用的角度稀疏采样 CT 扫描的示意图。

如图 3 所示，从射线源 10 发出的 X 射线透射视野 45 中的物体 40 后被探测器 30 接收，转换成电信号并进而转换成表示衰减值的数字信号，作为投影数据，在计算机中进行重建。在已知物体的先验结构信息的情况下，即使对物体 40 进行若干旋转位置下的 CT 扫描（例如 130 度），也能够重建得到质量较高的图像。这样，即使对物体进行稀疏角度 CT 扫描，也能够从非完备的投影数据中重建得到质量较高的图像。

图 4 是描述根据本发明实施例的方法和系统中采用的内重建 CT 扫描的示意图。

如图 4 所示，从射线源 10 发出的 X 射线透射视野 45 中的物体 40 的一部分后被探测器 30 接收，转换成电信号并进而转换成表示衰减值的数字信号，作为投影数据，在计算机中进行重建。在已知物体的先验结构信息的情况下，即使对物体 40 进行内重建 CT 扫描，也能够重建得到质量较高的图像。

图 5 是描述根据本发明实施例的方法和系统中采用的探测器欠采样 CT 扫描的示意图。

如图 5 所示，从射线源 10 发出的 X 射线透射视野 45 中的物体 40 后被探测器 30 接收，转换成电信号并进而转换成表示衰减值的数字信号，作为投影数据，在计算机中进行重建。在该例子中，探测器 30 被设置成欠采样的情形，例如将各个探测器单元间隔预定的距离来实现欠采样。这样，在已知物体的先验结构信息的情况下，即使对物体 40 进行探测器欠采样 CT 扫描，也能够重建得到质量较高的图像。

图 6 是描述根据本发明实施例的方法和系统中涉及的不完备投影数据的示意图。如图 6 所示，角度稀疏采样 CT 扫描、有限角度 CT 扫描、探测器欠采样 CT 扫描和内重建 CT 扫描得到的投影数据都是不完备的。尽管投影数据不完备，在已知先验结构信息的情况下，也能够从这些不完备的投影数据中重建得到质量较高的图像。

图 7 中的右侧图是利用本发明的方法在角度稀疏采样 CT 扫描情况下的仿真结果，左侧图是利用传统的重建方法得到的仿真结果。图 8 中的右侧图是利用本发明的方法在有限角度 CT 扫描情况下的仿真结果，左侧图是利用传统的重建方法得到的仿真结果。图 9 中的右侧图是利用本发明的方法在探测器欠采样 CT 扫描情况下的仿真结果，左侧图是利用传统的重建方法得到的仿真结果。

图 10 是描述根据本发明一个实施例的有限角度扫描情况下的双能 CT 探测器的示意图。

该双能 CT 系统包括多排低能探测器 20 和在部分排的低能探测器后设置的高能探测器 30。在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描，得到完备的第一投影数据集合。在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行有限角度 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。例如，如图 10 所示的低成本双能螺旋 CT 系统中，探测器为多排探测器，其中高能探测器的排数少于低能探测器，以节省系统成本。以低能 3 排，高能 1 排为例。当低能探测器采集到的数据为完备数据时，高能探测器采集到的数据只有完备数据的三分之一，即只能覆盖 120 度有限角度范围。以低能完备数据重建得到的低能衰减系数结果作为先验图像提取结构信息，利用本发明实施例的方法约束高能有限角重建问题，

可以得到高能衰减系数重建结果。此外，双能数据分解所得到的光电效应积分和康普顿效应积分也是不完备的有限角度数据。仍然可以利用本发明所述方法重建光电系数和康普顿系数，继而得到物质的原子序数和电子密度信息。

根据一些实施例的 CT 成像系统中，射线源 10 产生双能 X 射线。探测和采集装置 20 和 30 接收透射物体的双能 X 射线。控制设备控制射线源以及探测和采集装置对物体进行 CT 扫描，在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合，在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合。重建设备基于第一投影数据集合重建物体的第一衰减系数图像，并且从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱，以及将提取的先验结构信息作为约束条件，从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。

图 11 是描述根据本发明实施例的 CT 设备的结构示意图。根据本实施例的 CT 设备包括 X 射线源 10、机械运动装置和控制器、探测器和数据采集系统。

X 射线源 10 例如为 X 光机，根据成像的分辨率选择合适的 X 光机焦点尺寸。机械运动装置和控制器包括载物台 50 和 X 光机和探测器的机架以及控制系统。载物台 50 可平移调整旋转中心的位置，机架可平移使 X 光机及探测器 20 和 30 对准旋转中心。本实施例中按照旋转载物台、固定机架的圆周扫描轨迹或者螺旋轨迹进行描述。由于载物台与机架的运动属于相对运动，也可采用载物台静止、机架旋转的方式实现本实施例的方法。

探测器及数据采集系统 20 和 30 包括低能 X 射线探测器 20 与设置在部分的低能探测器后的高能探测器 30。数据采集包括读出电路、采集触发电路及数据传输电路等。

控制和重建装置 60 包括控制器和重建设备，控制器负责完成 CT 系统运行过程的控制，包括机械转动、电气控制、安全联锁控制等。重建装置负责从投影数据重建图像等。

虽然上述实施例中描述的是双能的情况，但是本发明并不局限于此，在已知先验结构信息的情况下可以不使用双能。在这个实施例的 CT 成像系统中，射线源产生 X 射线。探测和采集装置接收透射物体的双能 X 射线。控制设备控制射线源以及所述探测和采集装置对物体进行 CT 扫描，得到投影数据集合。重建设备从反映物体的内部结构的第一图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱；以及将提取的先验结构信息作为约束条件，从所述投影数据集合重建所述

物体的第二图像。

如图 12 所示为另一种低成本双能 CT 系统的实现方式。所述双能 CT 系统包括至少一排低能探测器和多个高能探测器，所述多个高能探测器均匀设置在部分低能探测器后。在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描，得到完备的第一投影数据集合。在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行探测器欠采样 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。例如，系统的探测器可以为单排，也可以为多排。系统扫描方式可以为圆轨道，也可以为螺旋轨道。低能探测器单元数量满足采集完备低能数据的需求。高能探测器可以降低单元数量，例如每间隔 10 个低能探测器单元装配 1 个高能探测器单元。这样，高能探测器单元数量仅为低能的 10%，可以节省系统成本。在此种探测器设计方案下，低能数据是完备的，可以重建得到高质量的低能衰减系数图像，并从中提取出先验结构信息。高能数据是欠采样的，需要利用本专利所述方法求解探测器欠采样重建问题，以得到高能衰减系数重建结果。此外，双能数据分解所得到的光电效应积分和康普顿效应积分也和高能数据是同一类型的不完备数据，也可以利用本专利所述方法重建出光电系数和康普顿系数，继而得到物质的原子序数和电子密度信息。

如图 13 所示为另一种低成本双能 CT 系统的实现方式。所述双能 CT 系统包括至少一排低能探测器和多个高能探测器，所述多个高能探测器集中设置在部分低能探测器后。在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描。在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行内重建 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。该系统的探测器可以为单排，也可以为多排。系统扫描方式可以为圆轨道，也可以为螺旋轨道。其中低能探测器单元数量满足采集完备低能数据的需求。高能探测器可以降低单元数量，例如将两边外侧的探测器单元去掉，只保留中间内侧的部分探测器单元。例如仅在靠近中心的 25% 的低能探测器单元后方对应装配高能探测器单元。这样，高能探测器单元数量仅为低能的 25%，可以节省系统成本。在此种探测器设计方案下，低能数据是完备的，可以重建得到高质量的低能衰减系数图像，并从中提取出先验结构信息。高能数据是两侧都截断的，属于内重建问题，需要利用本专利所述方法求解内重建问题，以得

到高能衰减系数重建结果。此外，双能数据分解所得到的光电效应积分和康普顿效应积分也是两侧截断的，也可以利用本专利所述方法重建出光电系数和康普顿系数，继而得到物质的原子序数和电子密度信息。

对于以上的几种实施例，都可以将高能探测器中的部分单元替换成不同晶体材料的探测器，并在高低能探测器之间假如不同材料的滤波片，例如铜、锡、钽等金属。这样，不同晶体材料和滤波材料搭配产生的探测器能谱响应也不相同，从而可以得到两种以上的不同系统能谱的数据。在这种探测器设计方案下，系统采集到的低能数据是完备的，两种以上的高能数据都是不完备的。可以选择一种高能数据与低能数据，按照实施例的方法进行重建。可以将所有数据同时使用，进行三能及三能以上的衰减系数重建。

图 14 示出了根据本发明实施例的 CT 成像方法的流程图。如图 14 所示，在步骤 S141，利用双能 CT 系统对物体进行 CT 扫描，在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合，在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合。

在步骤 S142，基于第一投影数据集合重建物体的第一衰减系数图像，并且从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱。

在步骤 S143，将提取的先验结构信息作为约束条件，从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。

在一些实施例中，所述双能 CT 系统包括多排低能探测器和在部分排的低能探测器后设置的高能探测器；在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描，得到完备的第一投影数据集合；在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行有限角度 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。

在一些实施例中，所述双能 CT 系统包括多个低能探测器和设置在所述低能探测器后的多个高能探测器；在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描，得到完备的第一投影数据集合；在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行角度稀疏采样 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。

在一些实施例中，所述双能 CT 系统包括至少一排低能探测器和多个高能探测

器,所述多个高能探测器均匀设置在部分低能探测器后;在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行360度圆周CT扫描或螺旋CT扫描,得到完备的第一投影数据集合;在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行探测器欠采样CT扫描,得到非完备的第二投影数据集合。

在一些实施例中,所述双能CT系统包括至少一排低能探测器和多个高能探测器,所述多个高能探测器集中设置在部分低能探测器后;在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行360度圆周CT扫描或螺旋CT扫描;在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行内重建CT扫描,得到非完备的第二投影数据集合。

在一些实施例中,从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息的步骤包括:对所述第一衰减系数图像进行边缘提取操作,得到所述先验结构信息。

图15示出了根据本发明另一实施例的CT成像方法的流程图。如图15所示,在步骤S151,从反映物体的内部结构的第一图像中提取物体的先验结构信息,所述先验结构信息指示边缘的强弱。

在步骤S152,利用CT系统对物体进行CT扫描,得到投影数据集合。

在步骤S153,将提取的先验结构信息作为约束条件,从所述投影数据集合重建所述物体的第二图像。

在一些实施例中,所述CT系统对物体进行有限角度CT扫描,得到所述投影数据集合。

在一些实施例中,所述CT系统对物体进行角度稀疏采样CT扫描,得到所述投影数据集合。

在一些实施例中,所述CT系统对物体进行探测器欠采样CT扫描,得到所述投影数据集合。

在一些实施例中,所述CT系统对物体进行内重建CT扫描,得到所述投影数据集合。

在一些实施例中,从第一图像中提取物体的先验结构信息的步骤包括:对所述第一图像进行边缘提取操作,得到所述先验结构信息。

上述实施例的方案可应用于无损检测、医疗诊断、安检等领域。本发明的一些

实施例中利用重建物体的结构信息作为先验信息，可以大幅度降低图像重建所需要的投影数据数量的要求，同时可以对先验图像的数值动态范围不作要求。例如，该方法可用于解决有限角度 CT 扫描问题、稀疏角度采样 CT 扫描问题、内重建 CT 扫描问题、以及探测器欠采样 CT 扫描问题等等非完备数据带来的图像重建质量问题，并具有良好的效果。如本领域的普通技术人员所理解的那样，本发明实施例的方法可用于医学诊断、工业无损检测和安检领域。

以上的详细描述通过使用方框图、流程图和/或示例，已经阐述了 CT 成像方法和系统的众多实施例。在这种方框图、流程图和/或示例包含一个或多个功能和/或操作的情况下，本领域技术人员应理解，这种方框图、流程图或示例中的每一功能和/或操作可以通过各种硬件、软件、固件或实质上它们的任意组合来单独和/或共同实现。在一个实施例中，本发明的实施例所述主题的若干部分可以通过专用集成电路（ASIC）、现场可编程门阵列（FPGA）、数字信号处理器（DSP）、或其他集成格式来实现。然而，本领域技术人员应认识到，这里所公开的实施例的一些方面在整体上或部分地可以等同地实现在集成电路中，实现为在一台或多台计算机上运行的一个或多个计算机程序（例如，实现为在一台或多台计算机系统上运行的一个或多个程序），实现为在一个或多个处理器上运行的一个或多个程序（例如，实现为在一个或多个微处理器上运行的一个或多个程序），实现为固件，或者实质上实现为上述方式的任意组合，并且本领域技术人员根据本公开，将具备设计电路和/或写入软件和/或固件代码的能力。此外，本领域技术人员将认识到，本公开所述主题的机制能够作为多种形式的程序产品进行分发，并且无论实际用来执行分发的信号承载介质的具体类型如何，本公开所述主题的示例性实施例均适用。信号承载介质的示例包括但不限于：可记录型介质，如软盘、硬盘驱动器、紧致盘（CD）、数字通用盘（DVD）、数字磁带、计算机存储器等；以及传输型介质，如数字和/或模拟通信介质（例如，光纤光缆、波导、有线通信链路、无线通信链路等）。

虽然已参照几个典型实施例描述了本发明，但应当理解，所用的术语是说明和示例性、而非限制性的术语。由于本发明能够以多种形式具体实施而不脱离发明的精神或实质，所以应当理解，上述实施例不限于任何前述的细节，而应在随附权利要求所限定的精神和范围内广泛地解释，因此落入权利要求或其等效范围内的全部变化和改型都应随附权利要求所涵盖。

权 利 要 求

1、一种 CT 成像方法，包括步骤：

利用双能 CT 系统对物体进行 CT 扫描，在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合，在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合；

基于第一投影数据集合重建物体的第一衰减系数图像，并且从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱；

将提取的先验结构信息作为约束条件，从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。

2、如权利要求 1 所述的方法，其中

所述双能 CT 系统包括多排低能探测器和在部分排的低能探测器后设置的高能探测器；

在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描，得到完备的第一投影数据集合；

在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行有限角度 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。

3、如权利要求 1 所述的方法，其中

所述双能 CT 系统包括多个低能探测器和设置在所述低能探测器后的多个高能探测器；

在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描，得到完备的第一投影数据集合；

在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行角度稀疏采样 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。

4、如权利要求 1 所述的方法，其中

所述双能 CT 系统包括至少一排低能探测器和多个高能探测器，所述多个高能探测器均匀设置在部分低能探测器后；

在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描，得到完备的第一投影数据集合；

在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量

的第二能量的射线对物体进行探测器欠采样 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。

5、如权利要求 1 所述的方法，其中

所述双能 CT 系统包括至少一排低能探测器和多个高能探测器，所述多个高能探测器集中设置在部分低能探测器后；

在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合具体为用第一能量的射线对物体进行 360 度圆周 CT 扫描或螺旋 CT 扫描；

在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合具体为用不同于第一能量的第二能量的射线对物体进行内重建 CT 扫描，得到非完备的第二投影数据集合。

6、如权利要求 1 所述的方法，其中从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息的步骤包括：

对所述第一衰减系数图像进行边缘提取操作，得到所述先验结构信息。

7、如权利要求 6 所述的方法，其中从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像的步骤包括：

利用下式计算第二衰减图像 $\mathbf{f}$ ：

$$\min \|\mathbf{G}\nabla\mathbf{f}\| + \lambda \|\nabla\mathbf{f}\| = \min \|(\mathbf{G} + \lambda\mathbf{I})\nabla\mathbf{f}\|$$

$$s.t. \quad \|\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p}\|_{\mathbf{W}} \leq \varepsilon$$

其中， ε 是与第二投影数据集合中的噪声总体水平有关的量， λ 则是用来平衡先验结构信息约束和全变分 TV 约束，当 $\lambda \leq 1$ 时以先验结构信息为主要约束，而当 $\lambda > 1$ 时以 TV 最小化为主要约束；第二衰减图像表示为 $\mathbf{f} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ ，CT 扫描得到的第二投影数据集合表示为 $\mathbf{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ ，线积分投影过程表示为

$\mathbf{H} = \{h_{ij}\}_{m \times n}$ ，先验结构信息表示为 $\mathbf{g} = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ， $\mathbf{W}$ 为反映投影数据的噪声特性的加权矩阵， $\mathbf{I}$ 为单位矩阵，由先验结构信息生成加权矩阵

$\mathbf{G} = \text{diag}(\mathbf{g}) = \text{diag}\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ， g_i 越大表示边缘越弱，越小表示边缘越强。

8、如权利要求 6 所述的方法，其中所述边缘提取操作是利用如下之一进行的：拉普拉斯算子、Candy 算子、离散梯度变换、自适应阈值。

9、一种 CT 成像方法，包括步骤：

从反映物体的内部结构的第一图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构

信息指示边缘的强弱；

利用 CT 系统对物体进行 CT 扫描，得到投影数据集合；以及

将提取的先验结构信息作为约束条件，从所述投影数据集合重建所述物体的第二图像。

10、如权利要求 9 所述的方法，其中所述 CT 系统对物体进行有限角度 CT 扫描，得到所述投影数据集合。

11、如权利要求 9 所述的方法，其中所述 CT 系统对物体进行角度稀疏采样 CT 扫描，得到所述投影数据集合。

12、如权利要求 9 所述的方法，其中所述 CT 系统对物体进行探测器欠采样 CT 扫描，得到所述投影数据集合。

13、如权利要求 9 所述的方法，其中所述 CT 系统对物体进行内重建 CT 扫描，得到所述投影数据集合。

14、如权利要求 9 所述的方法，其中从第一图像中提取物体的先验结构信息的步骤包括：

对所述第一图像进行边缘提取操作，得到所述先验结构信息。

15、如权利要求 14 所述的方法，其中从所述投影数据集合重建所述物体的第二图像的步骤包括：

利用下式计算第二图像 $\mathbf{f}$ ：

$$\min \|\mathbf{G}\nabla\mathbf{f}\|_1 + \lambda \|\nabla\mathbf{f}\|_1 = \min \|(\mathbf{G} + \lambda\mathbf{I})\nabla\mathbf{f}\|_1$$

$$s.t. \quad \|\mathbf{H}\mathbf{f} - \mathbf{p}\|_{\mathbf{W}} \leq \varepsilon$$

其中， ε 是与投影数据集合中的噪声总体水平有关的量， λ 则是用来平衡先验结构信息约束和全变分 TV 约束，当 $\lambda \leq 1$ 时以先验结构信息为主要约束，而当 $\lambda > 1$ 时以 TV 最小化为主要约束；第二图像表示为 $\mathbf{f} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ ，CT 扫描得到的投影数据集合表示为 $\mathbf{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ ，线积分投影过程表示为 $\mathbf{H} = \{h_{ij}\}_{m \times n}$ ，先验结构信息表示为 $\mathbf{g} = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ， $\mathbf{W}$ 为反映投影数据的噪声特性的加权矩阵， $\mathbf{I}$ 为单位矩阵，由先验结构信息生成加权矩阵 $\mathbf{G} = \text{diag}(\mathbf{g}) = \text{diag}\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ， g_i 越大表示边缘越弱，越小表示边缘越强。

16、如权利要求 14 所述的方法，其中所述边缘提取操作是利用如下之一进行

的：拉普拉斯算子、Candy 算子、离散梯度变换、自适应阈值。

17、如权利要求 9 所述的方法，其中所述第一图像为物体在之前的 CT 扫描中重建得到的图像，或者为物体的设计图。

18、一种 CT 成像系统，包括：

射线源，产生双能 X 射线；

探测和采集装置，接收透射物体的双能 X 射线；

控制设备，控制所述射线源以及所述探测和采集装置对物体进行 CT 扫描，在第一扫描模式下得到完备的第一投影数据集合，在第二扫描模式下得到非完备的第二投影数据集合；

重建设备，基于第一投影数据集合重建物体的第一衰减系数图像，并且从第一衰减系数图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱，以及将提取的先验结构信息作为约束条件，从非完备的第二投影数据集合重建所述物体的第二衰减系数图像。

19、一种 CT 成像系统，包括：

射线源，产生 X 射线；

探测和采集装置，接收透射物体的双能 X 射线；

控制设备，控制所述射线源以及所述探测和采集装置对物体进行 CT 扫描，得到投影数据集合；

重建设备，从反映物体的内部结构的第一图像中提取物体的先验结构信息，所述先验结构信息指示边缘的强弱；以及将提取的先验结构信息作为约束条件，从所述投影数据集合重建所述物体的第二图像。

20、如权利要求 19 所述的系统，其中所述第一图像为物体在之前的 CT 扫描中重建得到的图像，或者为物体的设计图。



图 1A

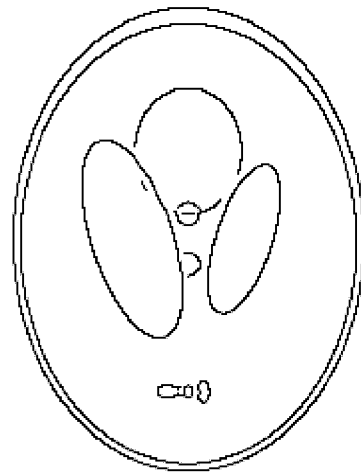


图 1B

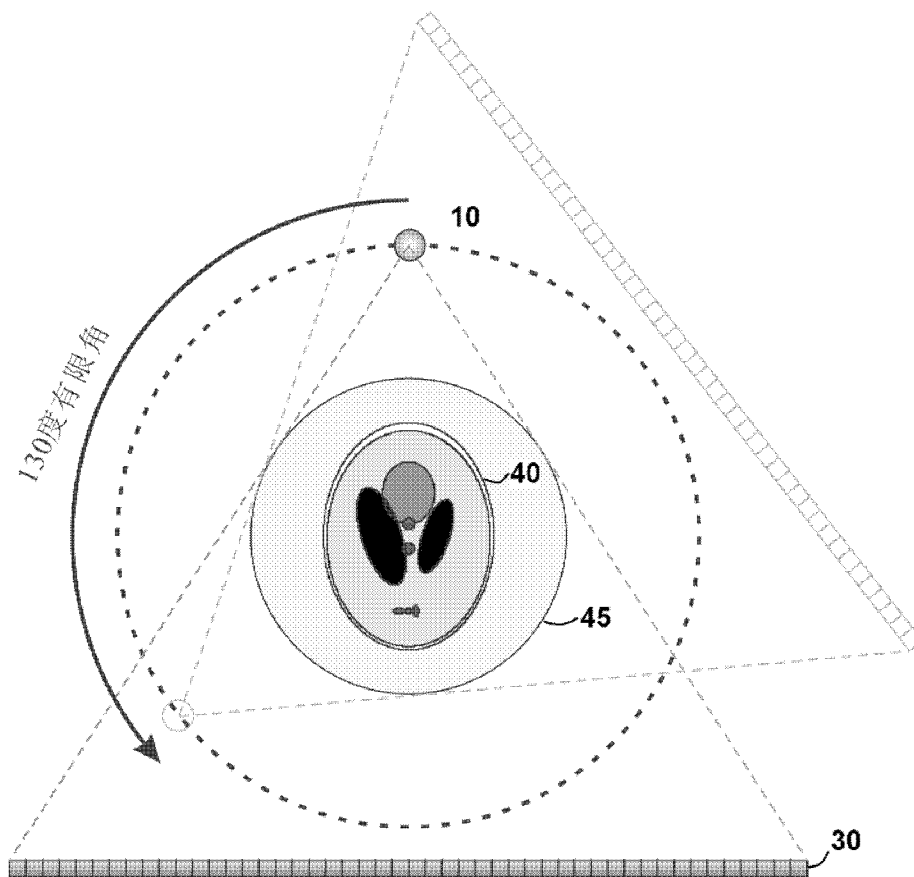


图 2

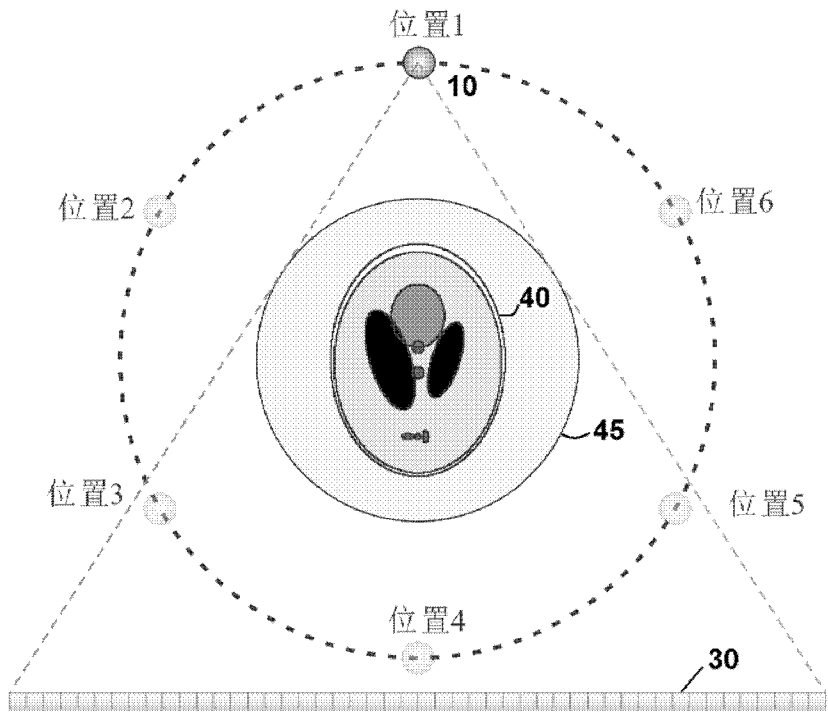


图 3

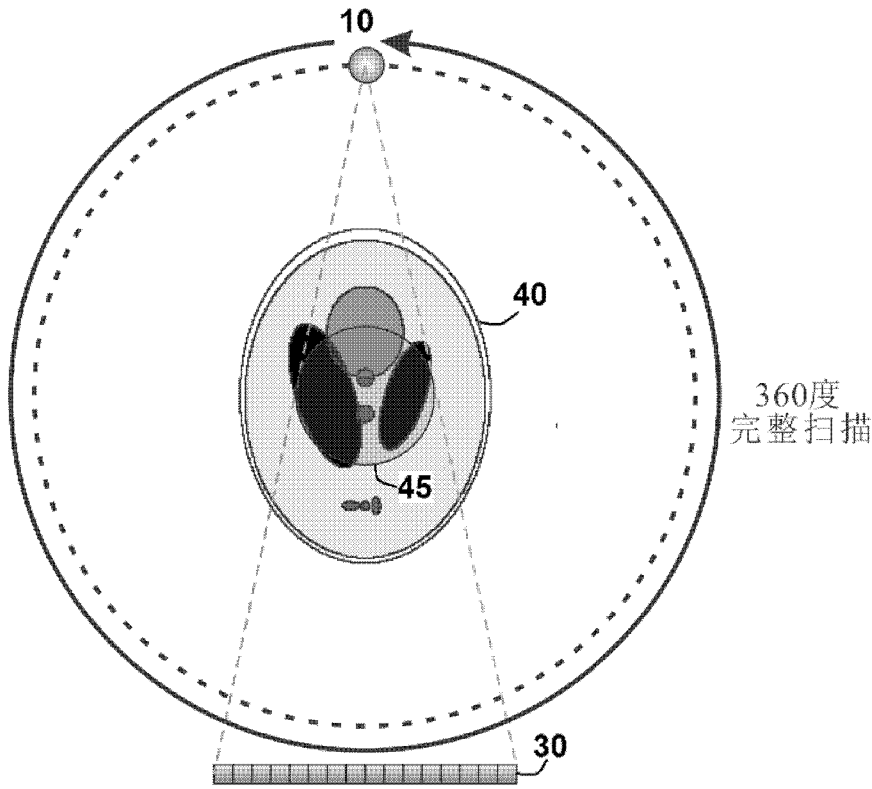


图 4

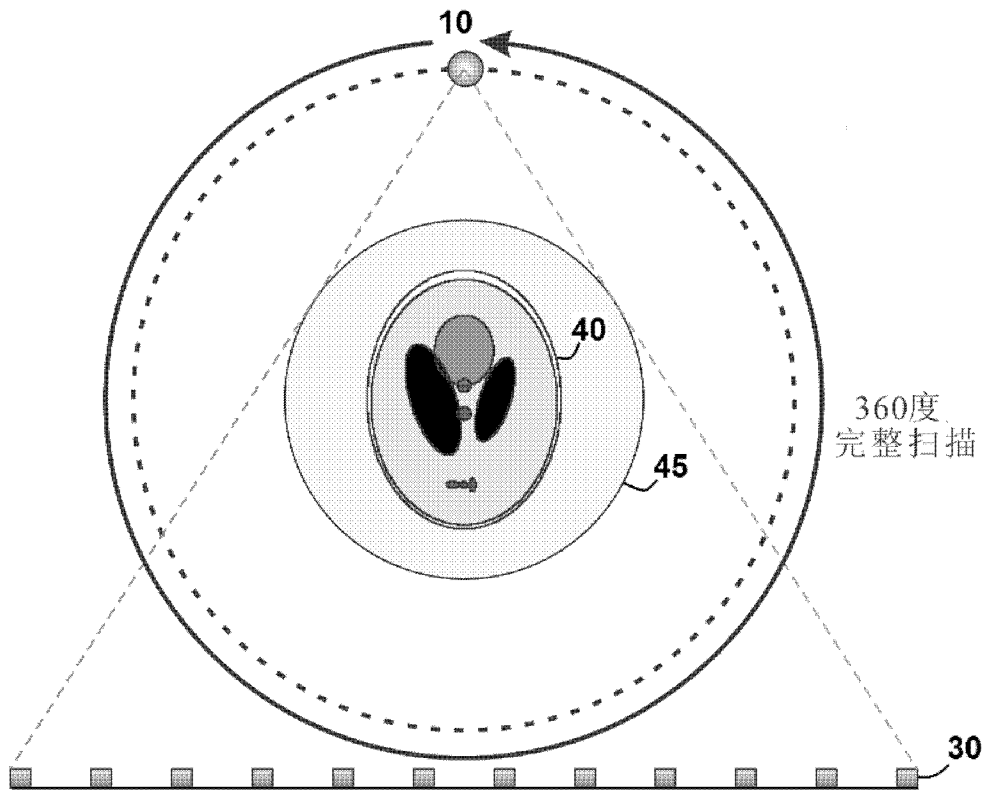


图 5

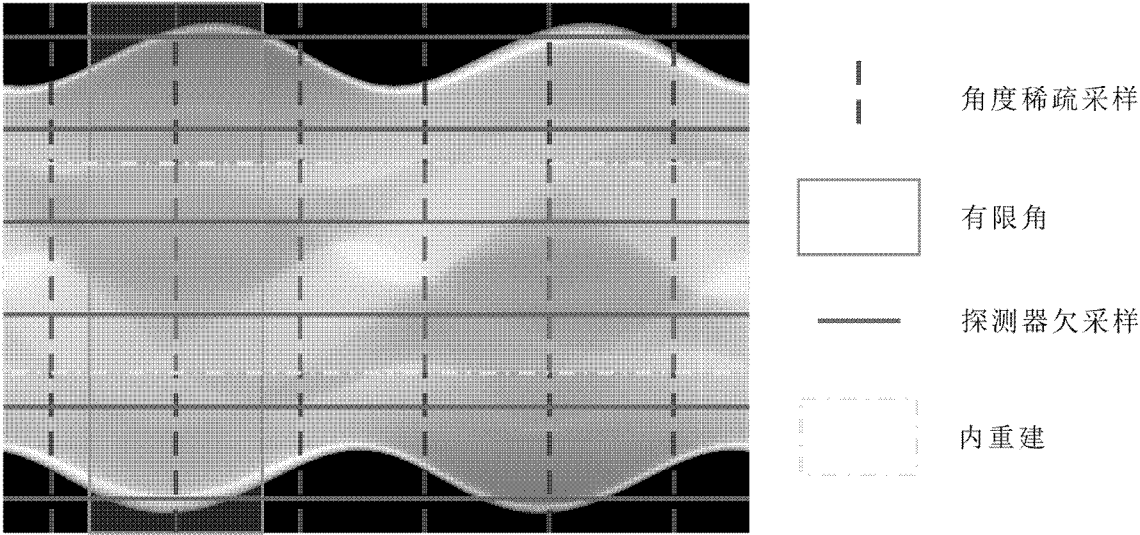


图 6

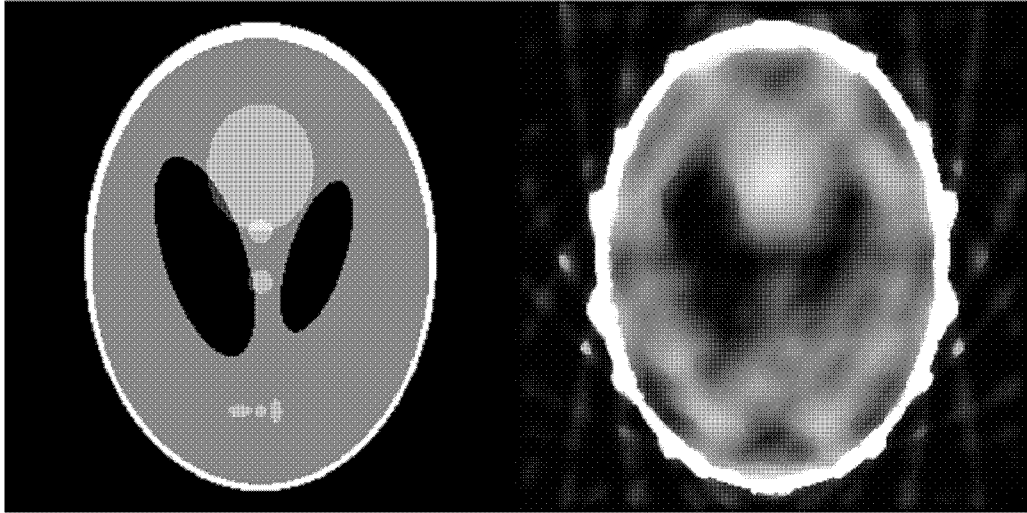


图 7

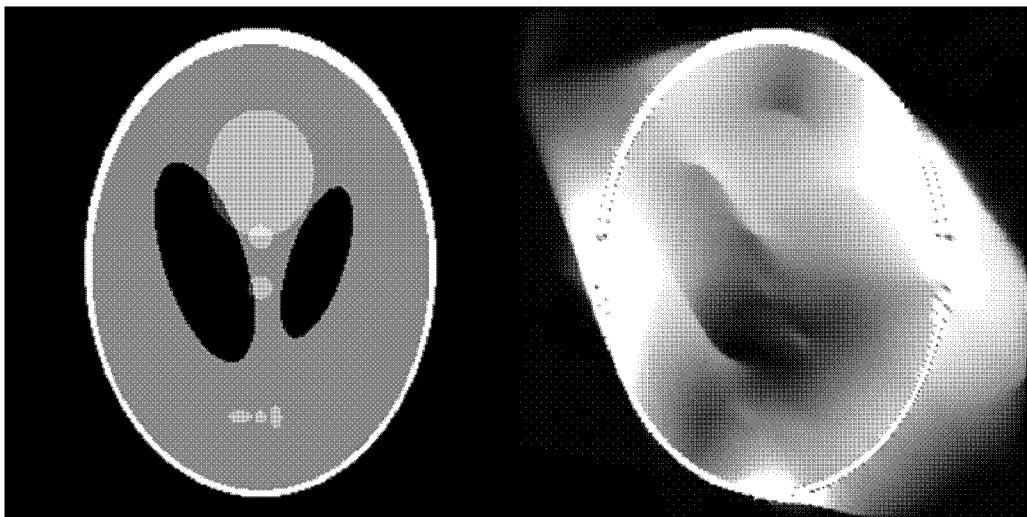


图 8

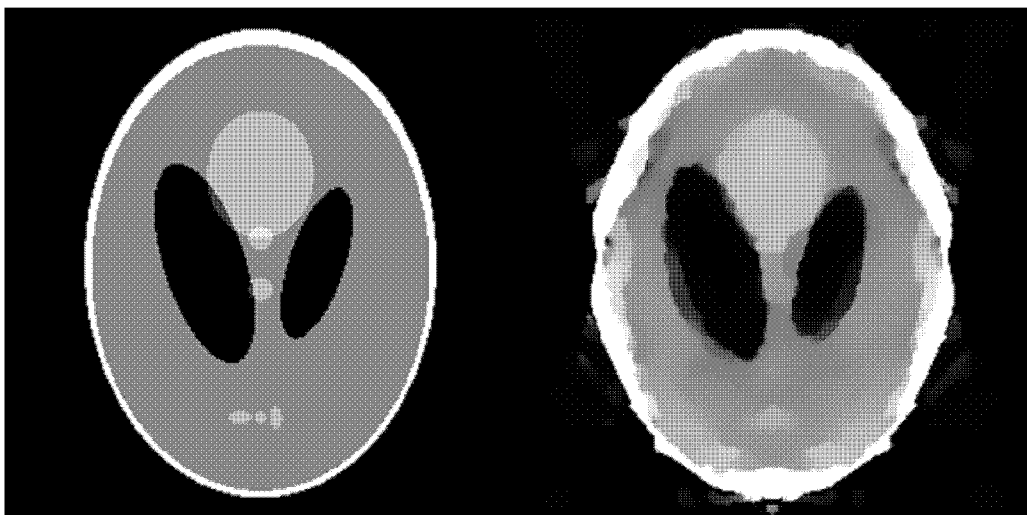


图 9

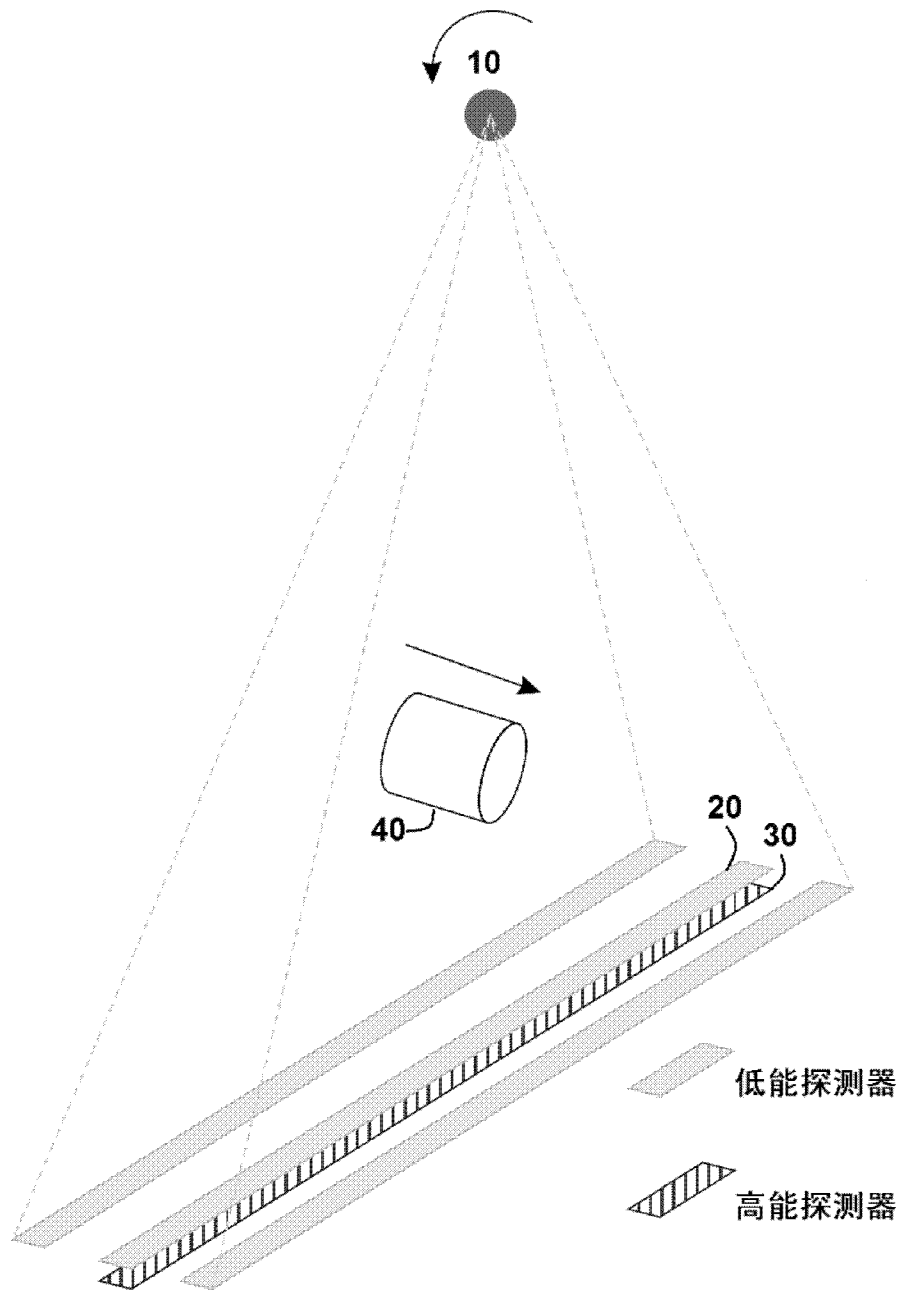


图 10

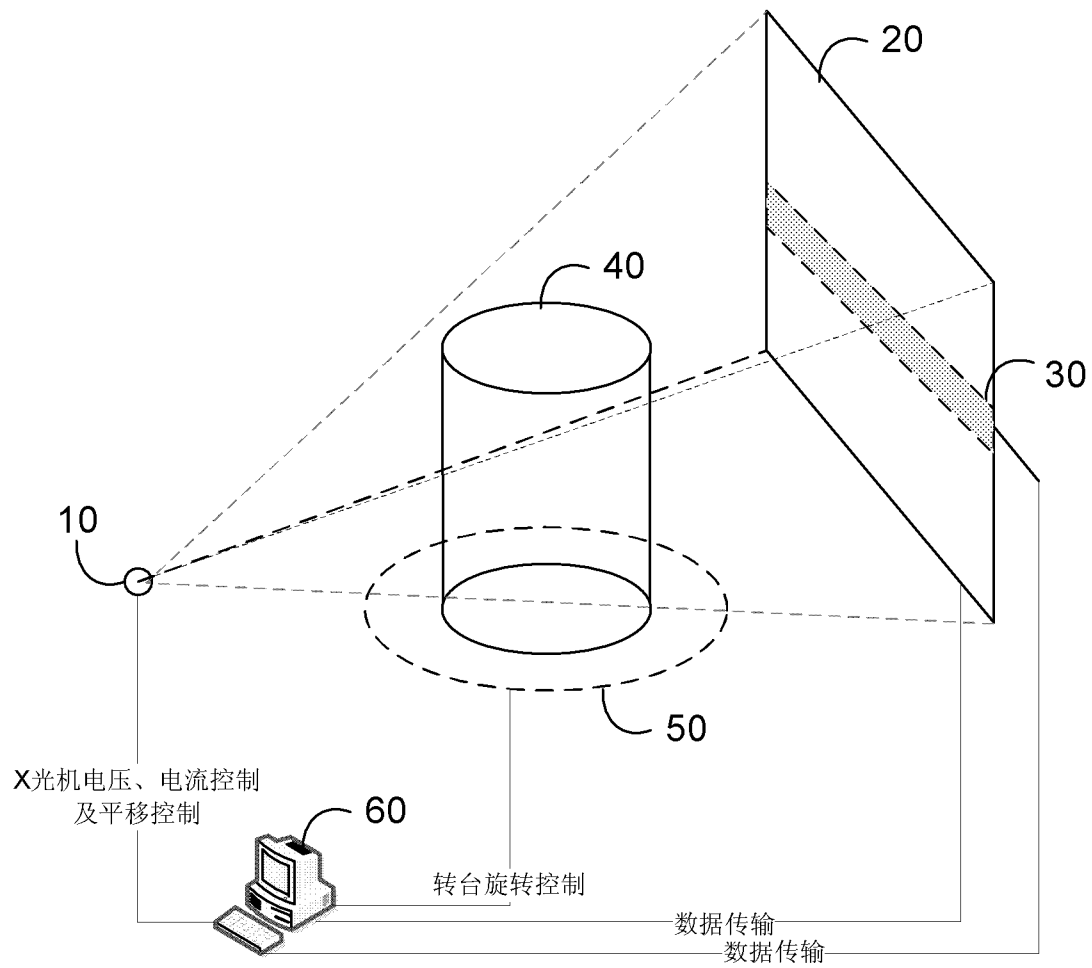


图 11

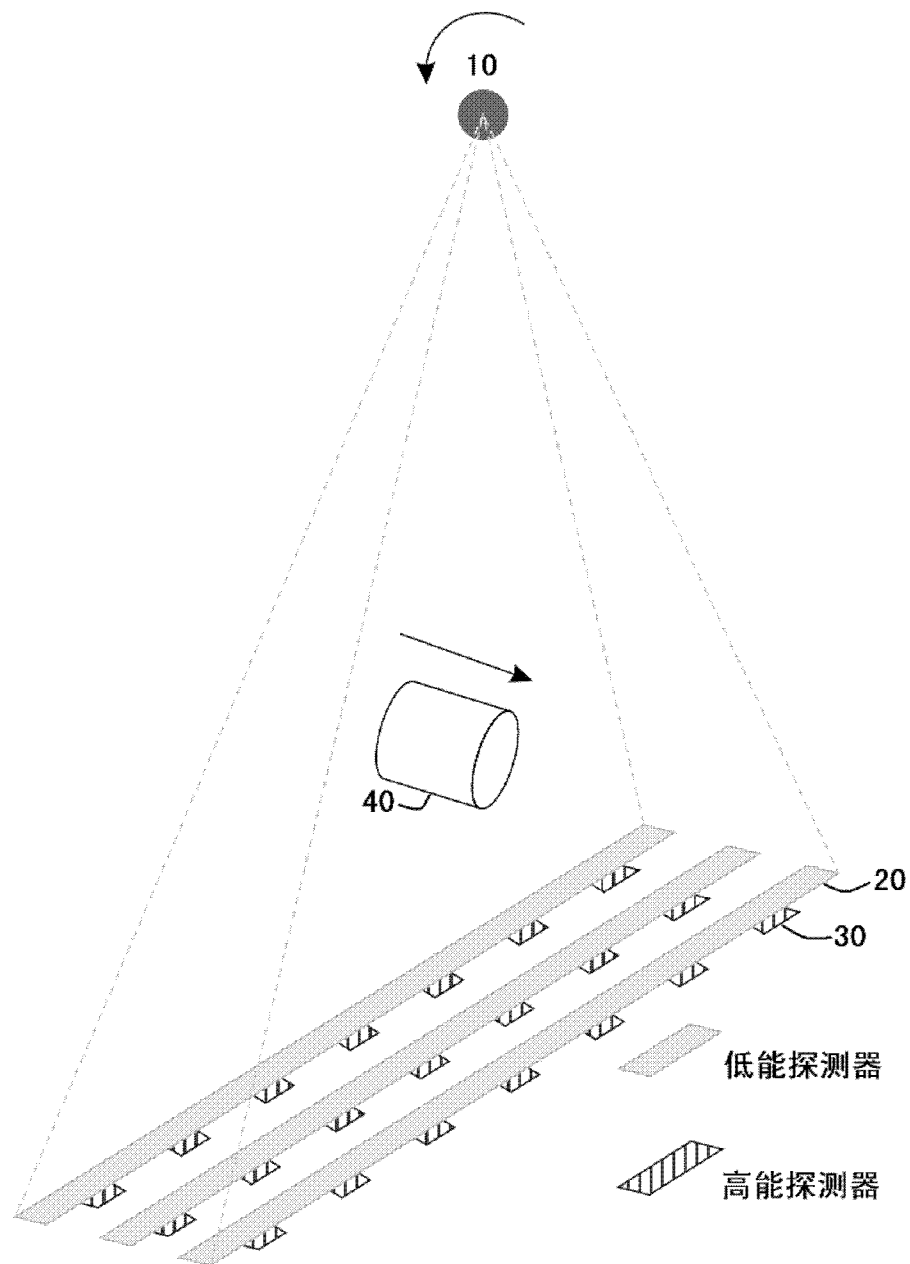


图 12

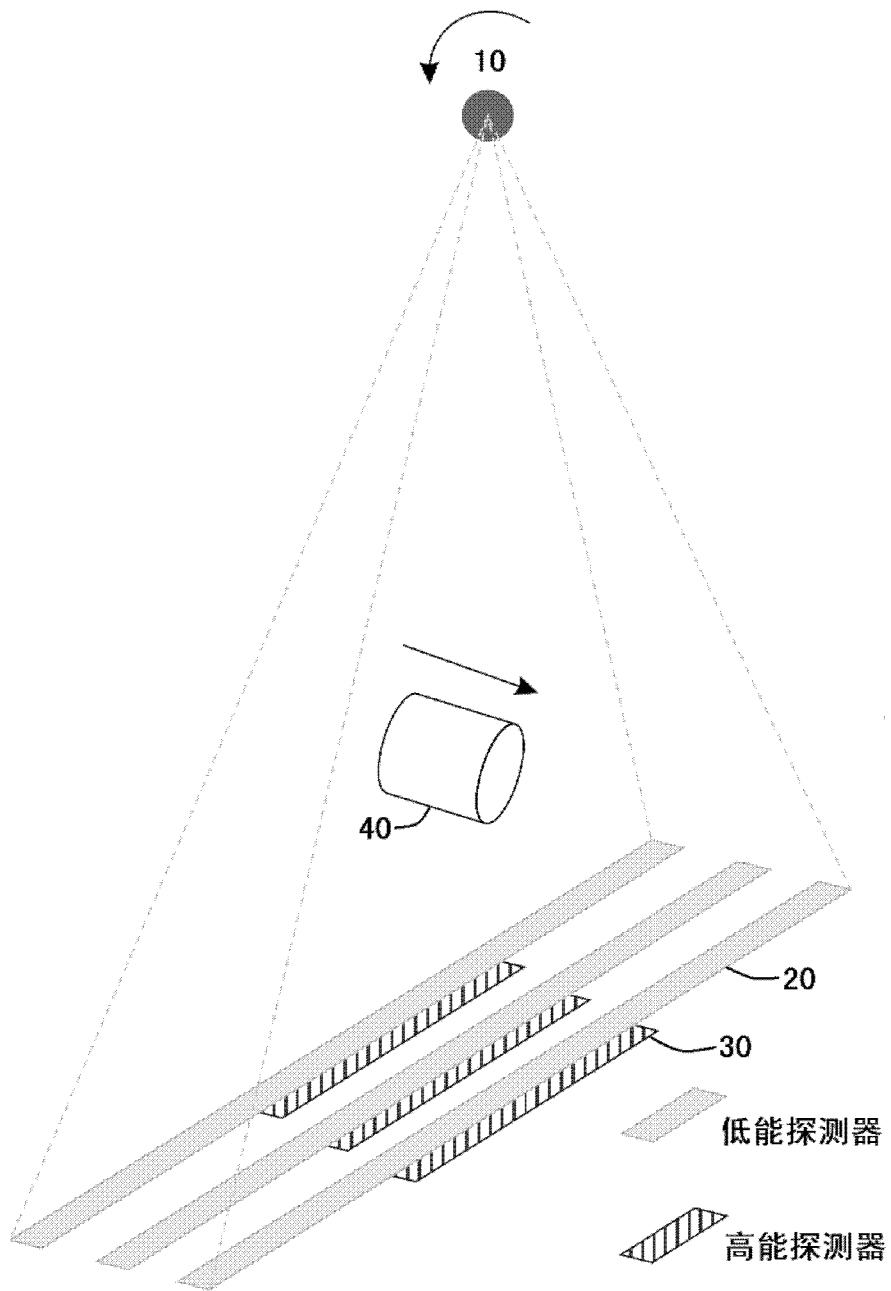


图 13

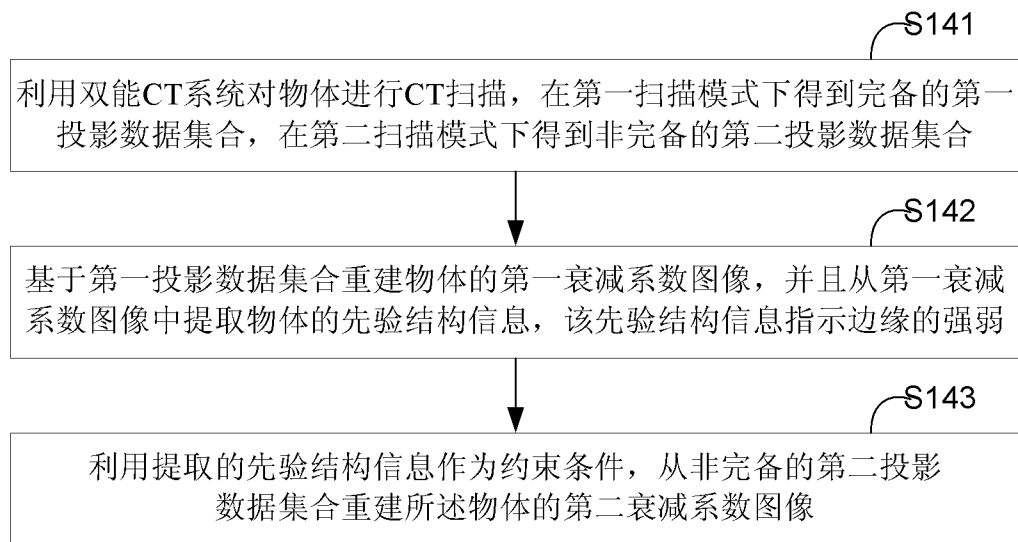


图 14

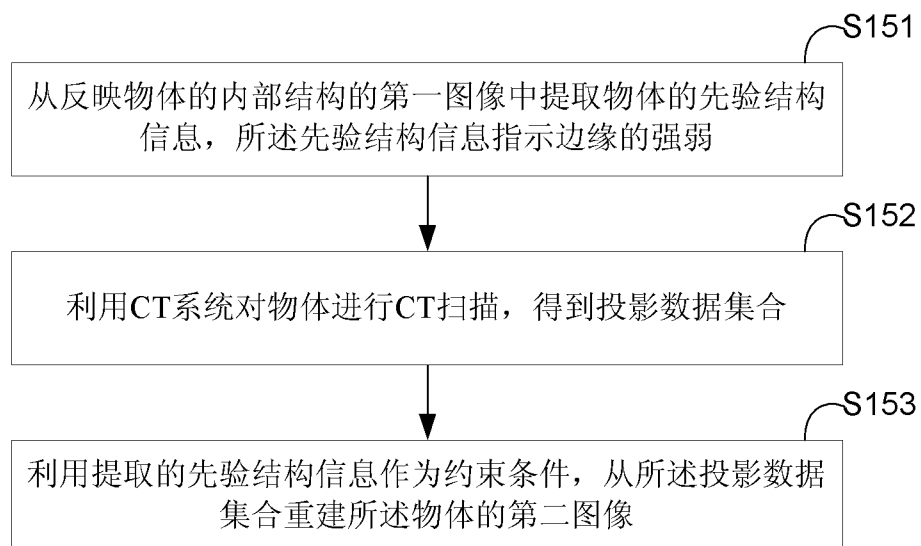


图 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/079865

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 6/03 (2006.01) i; 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: A61B; 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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: tomographic, ray, full scan, full data, low energy, dual energy, incomplete data, complete data, edge, CT, X-Ray, scan, data, margin, contour, outline, boundary, profile, full, complet+, structure, energy, reconstruct+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 203149136 U (TSINGHUA UNIVERSITY et al.), 21 August 2013 (21.08.2013), description, paragraphs [0045]-[0069], and figures 1-6	1-20
PX	CN 103472074 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.), 25 December 2013 (25.12.2013), description, paragraphs [0023]-[0090], and figures 1-10	1-20
Y	US 2007/0140416 A1 (NUKUI, M.), 21 June 2007 (21.06.2007), description, paragraphs [0062]-[0091] and [0111]-[0127], and figures 1 and 6-9	1-20
Y	CN 101900696 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.), 01 December 2010 (01.12.2010), description, paragraphs [0020]-[0021], and figures 1 and 2	1-20
Y	CN 101900695 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.), 01 December 2010 (01.12.2010), description, paragraphs [0020]-[0025], and figures 3A and 3B	2-5
Y	LIAN, Qiusheng et al., "Image reconstruction for CT based on compressed sensing and ART", OPTICAL TECHNIQUE, vol. 35, no. 3, 31 May 2009 (31.05.2009), ISSN: page 422-425, ISBN 1002-1582	7, 15

☒ 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 15 August 2014 (15.08.2014)	Date of mailing of the international search report 22 September 2014 (22.09.2014)
Name and mailing address of the ISA/CN: 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 MA, Nan Telephone No.: (86-10) 82245608

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/079865**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 101900694 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.), 01 December 2010 (01.12.2010), description, paragraph [0009], and figures 3-4B	1-20
Y	CN 102435621 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.), 02 May 2012 (02.05.2012), description, paragraph [0015], and figures 3A and 3B	1-20
A	CN 101138502 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY), 12 March 2008 (12.03.2008), the whole document	1-20
A	CN 102626318 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 08 August 2012 (08.08.2012), the whole document	1-20
A	US 2008/0063135 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY), 13 March 2008 (13.03.2008), the whole document	1-20
A	US 2011/0142312 A1 (TOTH, T.L. et al.), 16 June 2011 (16.06.2011), the whole document	1-20
A	US 2009/0003513 A1 (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.), 01 January 2009 (01.01.2009), the whole document	1-20
A	WANG, Linyuan et al., "The Application of Spare Signal Recovery Theory in CT Image Reconstruction", CT THEORY AND APPLICATIONS, vol. 18, no. 3, 30 September 2009 (30.09.2009), ISSN: pages 22-29, ISBN 1004-4140	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2014/079865

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 203149136 U	21 August 2013	None	None
CN 103472074 A	25 December 2013	None	
US 2007/0140416 A1	21 June 2007	DE 102006061849 A1	04 October 2007
		CN 1010407 B1	
		CN 101040781 B	23 November 2011
		US 7856133 B2	21 December 2010
		JP 5010859 B2	29 August 2012
		JP 2007190358 A	02 August 2007
		NL 1033109 C2	15 February 2008
		KR 20070066972 A	27 June 2007
		NL 1033109 A1	25 June 2007
		JP 5389965 B2	15 January 2014
		JP 2012096111 A	24 May 2012
CN 101900696 A	01 December 2010	EP 2437050 A4	28 May 2014
		US 2012148133 A1	14 June 2012
		US 8582857 B2	12 November 2013
		CN 101900696 B	04 January 2012
		EP 2437050 A1	04 April 2012
		WO 2010135900 A1	02 December 2010
CN 101900695 A	01 December 2010	WO 2010135901 A1	02 December 2010
		CN 101900695 B	23 November 2011
		US 2012134531 A1	31 May 2012
		EP 2437051 A1	04 April 2012
CN 101900694 A	01 December 2010	CN 101900694 B	30 May 2012
CN 102435621 A	02 May 2012	CN 102435621 B	11 September 2013
CN 101138502 A	12 March 2008	US 7450683 B2	11 November 2008
		CN 101138502 B	20 April 2011
		DE 102007042299 A1	27 March 2008
		US 2008061395 A1	13 March 2008
CN 102626318 A	08 August 2012	None	
US 2008/0063135 A1	13 March 2008	DE 102007042296 A1	27 March 2008

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2014/079865

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 2011/0142312 A1	16 June 2011	CN 101138501 A	12 March 2008
		CN 101138501 B	11 April 2012
		JP 5508667 B2	04 June 2014
		US 7760848 B2	20 July 2010
		JP 2008062035 A	21 March 2008
		JP 2011120903 A	23 June 2011
		DE 102010060989 A1	16 June 2011
		US 8199874 B2	12 June 2012
		CN 102090900 A	15 June 2011
		US 8199875 B2	12 June 2012
US 2009/0003513 A1	01 January 2009	US 2011142194 A1	16 June 2011
		WO 2007072281 A8	28 August 2008
		EP 1965703 A2	10 September 2008
		US 8094772 B2	10 January 2012
		JP 2009519801 A	21 May 2009
		WO 2007072281 A2	28 June 2007
		CN 101355904 B	11 January 2012
		CN 101355904 A	28 January 2009
		JP 5481069 B2	23 April 2014

A. 主题的分类		
A61B 6/03(2006.01)i; 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)		
A61B; 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))		
CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC:断层, 射线, 轮廓, 满扫描, 全数据, 边缘, 重建, 低能, 结构, 双能, 边界, 非完备数据, 完备数据, 边缘, CT, X-Ray, scan, data, margin, contour, outline, boundary, profile, full, complet+, structure, energy, reconstruct+		
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 203149136 U (清华大学 等) 2013年 8月 21日 (2013 - 08 - 21) 说明书第[0045]-[0069]段、附图1-6	1-20
PX	CN 103472074 A (清华大学 等) 2013年 12月 25日 (2013 - 12 - 25) 说明书第[0023]-[0090]段、附图1-10	1-20
Y	US 2007/0140416 A1 (NUKUI, MASATAKE) 2007年 6月 21日 (2007 - 06 - 21) 说明书第[0062]-[0091]段, 第[0111]-[0127]段、附图1, 6-9	1-20
Y	CN 101900696 A (清华大学 等) 2010年 12月 01日 (2010 - 12 - 01) 说明书第[0020]-[0021]段、附图1, 2	1-20
Y	CN 101900695 A (清华大学 等) 2010年 12月 01日 (2010 - 12 - 01) 说明书第[0020]-[0025]段、附图3A, 3B	2-5
Y	练秋生 等. "基于压缩传感和代数重建法的CT图像重建" 光学技术, 第第35卷卷, 第第03期期, 2009年 5月 31日 (2009 - 05 - 31), ISSN: 第422页-第425页, ISBN 1002-1582	7, 15
☒ 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		国际检索报告邮寄日期
2014年 8月 15日		2014年 9月 22日
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国		马楠
传真号 (86-10)62019451		电话号码 (86-10)82245608

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 101900694 A (清华大学 等) 2010年 12月 01日 (2010 - 12 - 01) 说明书第[0009]段、附图3-4B	1-20
Y	CN 102435621 A (清华大学 等) 2012年 5月 02日 (2012 - 05 - 02) 说明书第[0015]段、附图3A, 3B	1-20
A	CN 101138502 A (通用电气公司) 2008年 3月 12日 (2008 - 03 - 12) 全文	1-20
A	CN 102626318 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2012年 8月 08日 (2012 - 08 - 08) 全文	1-20
A	US 2008/0063135 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2008年 3月 13日 (2008 - 03 - 13) 全文	1-20
A	US 2011/0142312 A1 (TOTH, THOMAS L. 等) 2011年 6月 16日 (2011 - 06 - 16) 全文	1-20
A	US 2009/0003513 A1 (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N. V.) 2009年 1月 01日 (2009 - 01 - 01) 全文	1-20
A	王林元 等. "稀疏信号恢复理论在CT图像重建中的应用" CT理论与应用研究, 第第18卷卷, 第第03期期, 2009年 9月 30日 (2009 - 09 - 30), ISSN: 第22页-第29页, ISBN 1004-4140	1-20

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/079865

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	203149136	U	2013年 8月 21日	无			
				无			
CN	103472074	A	2013年 12月 25日	无			
US	2007/0140416	A1	2007年 6月 21日	DE	102006061849	A1	2007年 10月 04日
				CN	101040781	A	2007年 9月 26日
				CN	101040781	B	2011年 11月 23日
				US	7856133	B2	2010年 12月 21日
				JP	5010859	B2	2012年 8月 29日
				JP	2007190358	A	2007年 8月 02日
				NL	1033109	C2	2008年 2月 15日
				KR	20070066972	A	2007年 6月 27日
				NL	1033109	A1	2007年 6月 25日
				JP	5389965	B2	2014年 1月 15日
				JP	2012096111	A	2012年 5月 24日
CN	101900696	A	2010年 12月 01日	EP	2437050	A4	2014年 5月 28日
				US	2012148133	A1	2012年 6月 14日
				US	8582857	B2	2013年 11月 12日
				CN	101900696	B	2012年 1月 04日
				EP	2437050	A1	2012年 4月 04日
				WO	2010135900	A1	2010年 12月 02日
CN	101900695	A	2010年 12月 01日	WO	2010135901	A1	2010年 12月 02日
				CN	101900695	B	2011年 11月 23日
				US	2012134531	A1	2012年 5月 31日
				EP	2437051	A1	2012年 4月 04日
CN	101900694	A	2010年 12月 01日	CN	101900694	B	2012年 5月 30日
CN	102435621	A	2012年 5月 02日	CN	102435621	B	2013年 9月 11日
CN	101138502	A	2008年 3月 12日	US	7450683	B2	2008年 11月 11日
				CN	101138502	B	2011年 4月 20日
				DE	102007042299	A1	2008年 3月 27日
				US	2008061395	A1	2008年 3月 13日
CN	102626318	A	2012年 8月 08日	无			
US	2008/0063135	A1	2008年 3月 13日	DE	102007042296	A1	2008年 3月 27日
				CN	101138501	A	2008年 3月 12日
				CN	101138501	B	2012年 4月 11日
				JP	5508667	B2	2014年 6月 04日
				US	7760848	B2	2010年 7月 20日
				JP	2008062035	A	2008年 3月 21日
US	2011/0142312	A1	2011年 6月 16日	JP	2011120903	A	2011年 6月 23日
				DE	102010060989	A1	2011年 6月 16日
				US	8199874	B2	2012年 6月 12日
				CN	102090900	A	2011年 6月 15日
				US	8199875	B2	2012年 6月 12日
				US	2011142194	A1	2011年 6月 16日
US	2009/0003513	A1	2009年 1月 01日	WO	2007072281	A8	2008年 8月 28日
				EP	1965703	A2	2008年 9月 10日
				US	8094772	B2	2012年 1月 10日
				JP	2009519801	A	2009年 5月 21日
				WO	2007072281	A2	2007年 6月 28日
				CN	101355904	B	2012年 1月 11日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)

国际申请号
PCT/CN2014/079865

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 101355904 A	2009年 1月 28日
		JP 5481069 B2	2014年 4月 23日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)