

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101810488 A

(43) 申请公布日 2010. 08. 25

(21) 申请号 201010102935. 2

(22) 申请日 2010. 01. 28

(30) 优先权数据

09151598. 1 2009. 01. 29 EP

(71) 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 M·贝尔特拉姆 J·维格特

S·G·维斯纳

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 王英 刘炳胜

(51) Int. Cl.

A61B 6/02 (2006. 01)

A61B 6/03 (2006. 01)

G06T 11/00 (2006. 01)

G06T 5/00 (2006. 01)

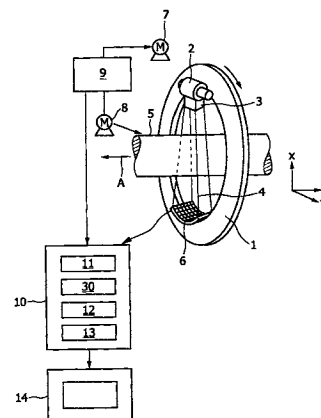
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 3 页

(54) 发明名称

探测值校正设备

(57) 摘要

本发明涉及用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值的探测值校正设备 (10)。散射贡献提供单元 (11) 为探测值的不同强度、不同能量和在探测表面上的不同位置提供散射贡献。散射贡献组合单元 (30) 将散射贡献相组合以校正探测值, 其中所组合的散射贡献表示由投影图象的其它探测值的辐射所引起的散射对将要校正的探测值的贡献, 并且其中在考虑了其它探测值的强度、能量和在探测表面上的位置的情况下, 将该散射贡献相组合。校正单元 (12) 通过利用所组合的散射贡献来对投影图像的探测值进行散射校正。



1. 一种用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值 ($P_E(i, j)$) 的探测值校正设备 (10), 所述多能量成像系统包括: 辐射源 (2), 用于发射横穿对象的辐射; 和探测单元 (6), 其包含探测表面, 用于生成取决于已经横穿所述对象的所述辐射的所述探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 探测值 ($P_E(i, j)$) 表示强度、能量和在所述探测表面上的位置, 其中, 所述探测值校正设备 (10) 包括:

- 散射贡献提供单元 (11), 其用于针对所述探测值的不同强度、不同能量和在所述探测表面上的不同位置提供散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \Phi_E(k, l), i-k, j-l)$), 其中, 散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \Phi_E(k, l), i-k, j-l)$) 表示散射对将要校正的所述探测值 ($P_E(i, j)$) 的贡献, 该散射由表示强度、能量和在所述探测表面上的位置的探测值 ($P_E(k, l)$) 的辐射生成,

- 散射贡献组合单元 (30), 其用于将散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \Phi_E(k, l), i-k, j-l)$) 相组合以校正探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 经组合的散射贡献 ($S_E(i, j)$) 表示由所述投影图像的其它探测值 ($P_E(k, l)$) 的辐射引起的散射对将要校正的所述探测值 ($P_E(i, j)$) 的贡献, 并且其中, 在考虑了所述其它探测值 ($P_E(k, l)$) 的强度、能量和在所述探测表面上的位置的情况下, 将所述散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \Phi_E(k, l), i-k, j-l)$) 相组合,

- 校正单元 (12), 其用于通过利用经组合的散射贡献 ($S_E(i, j)$) 来对所述投影图像的所述探测值 ($P_E(i, j)$) 进行散射校正。

2. 如权利要求 1 所述的探测值校正设备, 其中, 所述散射贡献提供单元 (11) 适于提供散射图像 (15), 其中, 每个散射图像 (15) 表示对所述投影图像的所述探测值的散射贡献, 所述投影图像由表示强度、能量和在所述探测表面上的位置的探测值的辐射生成。

3. 如权利要求 2 所述的探测值校正设备, 其中, 所述散射贡献提供单元 (11) 适于通过模拟和 / 或测量由沿着通向探测值的路径 (16) 穿过所述对象的模型 (19) 的辐射所生成的散射来提供散射图像 (15), 所述探测值表示强度、能量和在所述探测表面上的位置。

4. 如权利要求 3 所述的探测值校正设备, 其中, 所述对象的所述模型 (19) 是这样的模型: 其表示 a) 多种材料和 b) 平均材料中的至少一个, 所述平均材料包含的散射特性是多种材料的散射特性的平均。

5. 如权利要求 2 所述的探测值校正设备, 其中, 所述散射贡献提供单元 (11) 适于提供被参数化的散射图像。

6. 一种用于提供散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \Phi_E(k, l), i-k, j-l)$) 的散射贡献提供单元 (11), 其可与用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值 ($P_E(i, j)$) 的探测值校正设备 (10) 一起使用, 所述多能量成像系统包括: 辐射源 (2), 用于发射横穿对象的辐射; 和探测单元 (6), 其包含探测表面, 用于生成取决于已经横穿所述对象的所述辐射的所述探测值, 其中, 探测值 ($P_E(i, j)$) 表示强度、能量和在所述探测表面上的位置, 其中, 所述散射贡献提供单元 (11) 适于针对所述探测值的不同强度、不同能量和在所述探测表面上的不同位置提供散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \Phi_E(k, l), i-k, j-l)$), 其中, 散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \Phi_E(k, l), i-k, j-l)$) 表示散射对将要校正的所述探测值 ($P_E(i, j)$) 的贡献, 该散射由表示强度、能量和在所述探测表面上的位置的探测值 ($P_E(k, l)$) 的辐射生成。

7. 一种多能量成像系统, 包括:

- 辐射源 (2), 其用于发射横穿对象的辐射,
- 探测单元 (6), 其包含探测表面, 用于生成投影图像的取决于已经穿过所述对象的所述辐射的探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 探测值 ($P_E(i, j)$) 表示强度、能量和在所述探测表面上的位置,

- 如权利要求 1 所述的探测校正设备 (10)。

8. 如权利要求 7 所述的多能量成像系统, 其中, 所述辐射源 (2) 和所述探测单元 (6) 适于获取表示预定义能量的探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 所述散射贡献提供单元 (11) 适于针对所述探测值 ($P_E(i, j)$) 的不同强度、所述预定义能量和在所述探测表面上的不同位置来存储预先确定的散射贡献。

9. 如权利要求 7 所述的多能量成像系统, 其中, 所述辐射源 (2) 和所述探测单元 (6) 适于获取表示预定义能量的探测值, 其中, 所述散射贡献提供单元 (11) 适于通过将预先确定的散射贡献相组合来提供所述散射贡献, 已经针对不同强度、不同能量和在所述探测表面上的不同位置而预先确定所述预先确定的散射贡献, 从而使得得到的散射贡献表示散射对将要校正的探测值 ($P_E(i, j)$) 的贡献, 该散射由表示不同强度、所述预定义能量和在所述探测表面上的不同位置的探测值 ($P_E(k, l)$) 的辐射引起。

10. 一种用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值 ($P_E(i, j)$) 的探测值校正方法, 所述多能量成像系统包括: 辐射源 (2), 用于发射横穿对象的辐射; 和探测单元 (6), 其包含探测表面, 用于生成取决于已经横穿所述对象的所述辐射的所述探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 探测值 ($P_E(i, j)$) 表示强度、能量和在所述探测表面上的位置, 其中, 所述探测值校正方法包括以下步骤:

- 针对所述探测值的不同强度、不同能量和在所述探测表面上的不同位置来提供散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \phi_E(k, l), i-k, j-1)$), 其中, 散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \phi_E(k, l), i-k, j-1)$) 表示散射对将要校正的所述探测值 ($P_E(i, j)$) 的贡献, 该散射由表示强度、能量和在所述探测表面上的位置的探测值 ($P_E(k, l)$) 的辐射生成,

- 将散射贡献相组合以校正探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 经组合的散射贡献 ($S_E(i, j)$) 表示由所述投影图像的其他探测值 ($P_E(k, l)$) 的辐射引起的散射对将要校正的所述探测值 ($P_E(i, j)$) 的贡献, 并且其中, 在考虑了所述其它探测值 ($P_E(k, l)$) 的强度、能量和在所述探测表面上的位置的情况下, 将所述散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \phi_E(k, l), i-k, j-1)$) 相组合,

- 通过利用经组合的散射贡献 ($S_E(i, j)$) 来对所述投影图像的所述探测值 ($P_E(i, j)$) 进行散射校正。

11. 一种用于提供散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \phi_E(k, l), i-k, j-1)$) 的散射贡献提供方法, 其可与用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值 ($P_E(i, j)$) 的探测值校正方法一起使用, 所述多能量成像系统包括: 辐射源 (2), 用于发射横穿对象的辐射; 和探测单元 (6), 其包含探测表面, 用于生成取决于已经横穿所述对象的所述辐射的所述探测值, 其中, 探测值 ($P_E(i, j)$) 表示强度、能量和在所述探测表面上的位置, 其中, 针对所述探测值的不同强度、不同能量和在所述探测表面上的不同位置提供散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \phi_E(k, l), i-k, j-1)$), 其中, 散射贡献 ($\kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \phi_E(k, l), i-k, j-1)$) 表示散射对将要校正的所述探测值 ($P_E(i, j)$) 的贡献, 该散射由表示强度、能量和在所述探测

表面上的位置的探测值 ($P_E(k, l)$) 的辐射引起。

12. 一种多能量成像方法, 包括:

- 通过辐射源 (2) 发射横穿对象的辐射,
- 通过包含探测表面的探测单元 (6) 来生成投影图像的取决于已经横穿所述对象的所述辐射的探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 探测值表示强度、能量和在所述探测表面上的位置,
- 通过如权利要求 10 所述的探测值校正方法来校正所述投影图像的所述探测值 ($P_E(i, j)$)。

13. 一种用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值 ($P_E(i, j)$) 的计算机程序, 所述多能量成像系统包括: 辐射源 (2), 用于发射横穿对象的辐射; 和探测单元 (6), 其包含探测表面, 用于生成取决于已经横穿所述对象的所述辐射的所述探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 探测值 ($P_E(i, j)$) 表示强度、能量和在所述探测表面上的位置, 所述计算机程序包括程序代码模块, 当所述计算机程序在控制如权利要求 1 所述的探测值校正设备 (10) 的计算机上运行时, 所述程序代码模块使得所述探测值校正设备 (10) 来执行如权利要求 10 所述的探测值校正方法的步骤。

14. 一种用于提供散射贡献的计算机程序, 其可与用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值 ($P_E(i, j)$) 的探测值校正方法一起使用, 所述多能量成像系统包括: 辐射源 (2), 用于发射横穿对象的辐射; 和探测单元 (6), 其包含探测表面, 用于生成取决于已经横穿所述对象的所述辐射的所述探测值 ($P_E(i, j)$), 其中, 探测值 ($P_E(i, j)$) 表示强度、能量和在所述探测表面上的位置, 所述计算机程序包括程序代码模块, 当所述计算机程序在控制如权利要求 6 所述的散射贡献提供单元 (11) 的计算机上运行时, 所述程序代码模块使得所述散射贡献提供单元 (11) 来执行如权利要求 11 所述的散射贡献提供方法的步骤。

15. 一种用于控制多能量成像系统的计算机程序, 所述计算机程序包括程序代码模块, 当所述计算机程序在控制如权利要求 7 所述的多能量成像系统的计算机上运行时, 所述程序代码模块使得所述多能量成像系统来执行如权利要求 12 所述的多能量成像方法的步骤。

探测值校正设备

技术领域

[0001] 本发明涉及探测值校正设备、散射贡献提供单元和多能量成像系统。本发明还涉及探测值校正方法、散射贡献提供方法、多能量成像方法和相应的计算机程序。

背景技术

[0002] W02007/148263A1 公开了一种用于生成核函数集的方法,该核函数集用于对由成像系统记录的物理对象的投影图像进行卷积误差补偿,该成像系统例如是计算机断层摄影系统。以如此方式计算该核函数集,从而使得对于投影图像中的每个像素计算用于误差补偿的不对称散射分布,从而表示沿由 X 射线源到像素的射束产生的 X 射线散射。通过利用所生成的核函数集执行卷积误差补偿来对投影图像进行散射校正。如果对属于辐射源的不同角度位置的多个投影图像进行散射校正,并且如果这些散射校正投影图像用于重建对象的图像,那么可以减少重建图像中由散射引起的伪影,因而改善了重建图像的质量。

[0003] 但是,如果核函数集用于对多能量计算机断层摄影系统的探测值执行卷积误差补偿,那么通过利用经校正的探测值而重建的图像仍然包括由散射过程的光谱依赖所引起的散射伪影。

发明内容

[0004] 本发明的一目的在于提供用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值的探测值校正设备和探测值校正方法,其中经校正的探测值,特别是通过利用经校正的探测值所重建的图像,包括更少的由散射引起的伪影。本发明的另一目的在于提供相应的散射贡献提供单元、散射贡献提供方法、多能量成像系统和多能量成像方法。此外,本发明的一目的在于提供相应的计算机程序,其用于分别地根据探测值校正方法控制探测值校正设备、根据散射贡献提供方法控制散射贡献提供单元以及根据多能量成像方法控制多能量成像系统。

[0005] 在本发明的一方面中,一种探测值校正设备,其用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值,该多能量成像系统包括:辐射源,用于发射横穿对象的辐射;以及探测单元,其包含用于生成取决于已经横穿对象的辐射的探测值的探测表面,其中探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置,其中该探测值校正设备包括:

[0006] - 散射贡献提供单元,其用于为探测值的不同强度、不同能量和在探测表面上的不同位置提供散射贡献,其中散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献,该散射由表示强度、能量和在探测表面上的位置的探测值的辐射生成,

[0007] - 散射贡献组合单元,其用于将散射贡献相组合以校正探测值,其中所组合的散射贡献表示由投影图像的其它探测值的辐射产生的散射对将要校正的探测值的贡献,并且其中在考虑了其它探测值的强度、能量和在探测表面上的位置的情况下,将散射贡献相组合,

[0008] - 校正单元,其用于利用所组合的散射贡献来对投影图像的探测值进行散射校正。

[0009] 由于为了校正探测值而使用组合的散射贡献,其中所组合的散射贡献表示散射对

将要校正的探测值的贡献,该散射由投影图像的其它探测值的辐射引起,并且其中在考虑了其它探测值的强度、能量和在探测表面上的位置的情况下,将散射贡献相组合,因此该散射对探测值的贡献可以认为是能量依赖的。这允许在针对散射校正探测值的同时考虑到散射过程的光谱依赖性,因而允许对多能量成像系统的探测值进行校正,从而使经校正的探测值,特别是通过利用这些经校正的探测值所重建的图像,包括更少的由散射引起的伪影。

[0010] 多能量成像系统优选是这样的成像系统:其生成与入射至对象的辐射的不同光谱中的至少一个以及探测单元的能量窗口相应的探测值,因而生成光谱探测值。该多能量成像系统优选是获取形成投影图像的探测值的成像系统,如 C 臂系统或者计算机断层摄影系统。

[0011] 优选的是,由探测值表示的能量优选是由入射至对象的辐射的光谱中的至少一个所限定的能量光谱和探测单元的也可以视为是能量面元 (energybin) 的能量窗口。因而,探测值优选表示能量光谱、强度和探测表面上的位置,即探测值优选限定了辐射的能量光谱所测量的强度,该辐射在各个位置处与探测表面相交。如果辐射源相对于对象可以具有不同的位置,那么探测值优选还表示辐射源位置,即探测值优选限定了在辐射源定位在各个位置上的同时,对辐射的能量光谱所测量的强度,该辐射在各个位置处与探测表面相交。

[0012] 投影图像优选是由探测表面上的探测值所形成的图像。

[0013] 散射贡献提供单元为探测值的不同强度、不同能量和在探测表面上的不同位置提供散射贡献,即对将要校正的值的散射贡献取决于其它探测值的强度、能量和在探测表面上的位置,其中特别的是,将要校正的探测值的能量和其它探测值的能量是相同的。散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献,该散射由表示强度、能量和在探测表面上的位置的探测值的辐射生成,即使得探测值不再是探测值(该探测值实际上被校正)并且称为“其它探测值”的辐射在穿过对象传播的同时生成散射,其中这一散射取决于其它探测值的强度和探测表面上的位置,该其它探测值优选具有与将要校正的探测值相同的能量,并且其中这一散射的一部分落在探测表面上的将要校正的探测值所位于的位置上,该部分是“其它探测值”对将要校正的探测值的散射贡献。

[0014] 散射贡献组合单元将散射贡献相组合以校正探测值,其中所组合的散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献,该散射由投影图像的其它探测值的辐射引起,并且其中在考虑了其它探测值的强度、能量和在探测表面上的位置的情况下将散射贡献相组合,即根据其它探测值的强度、能量和在探测表面上的位置,来选择对将要校正的探测值的散射贡献,并且将这些所选择的散射贡献相组合。特别的是,为了校正探测值,只组合其所相应的能量与将要校正的探测值的能量相同的散射贡献。该组合优选是散射贡献的加权或者非加权总和。

[0015] 进一步优选的是,散射贡献提供单元适于提供散射图像,其中每个散射图像表示对投影图像的探测值的散射贡献,该投影图像由表示强度、能量和在探测表面上的位置的探测值的辐射生成。因而,散射图像表示沿着通向探测值(该探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置)的辐射路径所生成并在探测表面上被探测单元探测到的散射,即散射图像可以视为是由散射所生成的投影图像的代表,该散射在辐射穿过对象只传播至探测探测值(该探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置)的单一探测器元件的情况下被探测。

[0016] 优选的是, 散射贡献提供单元适于通过模拟和 / 或测量由沿着通向探测值的路径穿过对象模型的辐射所生成的散射来提供散射图像, 该探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置。在一实施例中, 散射图像只表示各个散射。在另一实施例中, 散射图像表示被初级辐射相除的散射, 其将在以下进一步详细描述。

[0017] 模型可以是允许对由穿过对象传播的辐射所引起的散射进行估计的任意模型。该模型例如具有球体或者椭圆状的形状。此外, 该模型可以具有平板的形状。优选地, 该模型的尺度和 / 或形状取决于相应的必须进行散射校正的探测值。因而, 对于不同的可能探测值, 优选使用不同尺度和 / 或形状 of 模型来模拟和 / 或测量散射图像, 因而生成取决于探测值的可能值的不同散射图像。

[0018] 模型例如可以是水模型。然而, 对象模型优选是这样的模型, 其表示 a) 多种材料和 b) 平均材料中的至少一个, 所述平均材料包含的散射特性是多种材料的散射特性的平均。多种材料优选是水、骨和任选的造影剂。表示平均材料的模型优选是表示同质平均材料的模型, 该同质平均材料包含通过将包括多种材料的模型的不同材料的散射特性进行平均而确定的散射特性。例如, 包括水、骨和任选的造影剂的模型可以由包括同质平均材料的模型代替, 其中这样确定该平均材料, 从而使平均材料的散射特性是水、骨和任选的造影剂的散射特性的平均。例如使用表示多种材料和平均材料中的至少一个的模型而替代水模型, 允许更加现实的确定散射图像, 因为辐射横穿的对象通常不仅包括水, 还包括多种材料。这进一步减小了探测值中的, 特别是通过利用经校正的探测值所重建的图像中的, 散射伪影。

[0019] 将探测值分配给引起各个探测值的辐射的路径。在辐射沿着这一路径传播的情况下所引起的散射所表示的散射图像不必通过模拟或者测量该散射来确定 (在辐射精确地沿着这一路径传播的情况下)。作为估计, 可以模拟或者测量该散射 (其在辐射沿着与探测单元的探测表面垂直的路径传播, 并与探测表面在获取各个探测值的位置处相交的情况下产生) 以确定散射图像, 所述散射图像表示由沿着起始于辐射源位置的路径传播并与探测表面在获取各个探测值的位置处相交的辐射所产生的散射。

[0020] 散射贡献提供单元优选适于提供取决于探测值强度的散射图像。由于由横穿对象的辐射引起的散射取决于 (除其它因素外) 探测值的强度, 因此通过提供取决于探测值强度的散射图像, 与探测值强度对应的散射图像可以用于校正探测值。

[0021] 为了校正视图的探测值, 优选使用由沿着同一视图的其它探测值的路径的辐射所产生的散射, 即相应的散射贡献, 来校正各个探测值。这优选通过卷积式过程来执行, 其中散射图像可以视为用于将视图的探测值进行卷积的核函数, 因而确定各个探测值的组合散射贡献。这一使用散射图像作为核函数的卷积式过程将在以下参照方程 (4) 和 (6) 进一步详细描述。

[0022] 进一步优选的是, 散射贡献提供单元适于提供被参数化的散射图像。具体而言, 该散射图像表示为参数化函数。该函数例如可以这样确定: 首先生成完整的散射图像, 然后将这些完整散射图像参数化, 从而减少可能在散射贡献提供单元的存储单元中存储并且必须被访问的散射图像的数量。替代于存储并访问大量的散射图像, 可以只存储并访问一些参数。例如, n 次, 特别是 2 次多项式函数可以与各个散射图像拟合, 其中只必须存储和访问多项式函数的参数, 而不是完整的各个散射图像。此外, 如果散射图像是对称的, 那么高斯函数可以与各个散射图像拟合, 其中如果散射图像是二维图像, 那么散射图像优选由两个

方向上的宽度参数和峰值强度参数描述。

[0023] 进一步优选的是,探测值校正设备适于校正多能量成像系统的投影图像的探测值,该多能量成像系统是多能量计算机断层摄影系统,其中探测值校正设备还包括用于从经校正的探测值来重建对象图像的重建单元。这使得对象的计算机断层摄影重建图像中具有更少的由散射引起的伪影。

[0024] 在本发明的另一方面中,提出一种用于提供散射贡献的散射贡献提供单元,其可与用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值的探测值校正设备一起使用,该多能量成像系统包括:辐射源,其用于发射横穿对象的辐射;以及探测单元,其包含探测表面,用于生成取决于已经横穿对象的辐射的探测值,其中探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置,其中散射贡献提供单元适于为探测值的不同强度、不同能量和在探测表面上的不同位置提供散射贡献,其中散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献,该散射由表示强度、能量和在探测表面上的位置的探测值的辐射生成。

[0025] 散射贡献提供单元可以是适于生成散射贡献,特别是例如如上所述的散射图像的单元。

[0026] 在本发明的另一方面中,提供一种多能量成像系统,其中该多能量成像系统包括:

[0027] - 辐射源,其用于发射横穿对象的辐射,

[0028] - 包含探测表面的探测单元,该探测单元用于生成投影图像的取决于已经横穿该对象的辐射的探测值,其中该探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置,

[0029] - 如权利要求 1 所限定的探测校正设备。

[0030] 优选的是,辐射源和探测单元适于获取表示预定义能量的探测值,其中散射贡献提供单元适于为探测值的不同强度、预定义能量和在探测表面上的不同位置来存储预先确定的散射贡献。因而,可以提供适于实际多能量成像系统的预先确定的散射贡献集,即对应于由多能量成像系统的探测值所表示的可能强度、能量和在探测表面上的位置而预先确定散射贡献。

[0031] 进一步优选的是,辐射源和探测单元适于获取表示预定义能量的探测值,其中散射贡献提供单元适于通过将预先确定的散射贡献相组合来提供散射贡献,该预先确定的散射贡献已经对于不同强度、不同能量和在探测表面上的不同位置而被预先确定,从而使得到的散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献,该散射由表示不同强度、预定义能量和在探测表面上的不同位置的探测值的辐射引起。因而,可以提供预先确定的散射贡献集,特别是散射图像的预先确定的散射贡献集,其中将这些预先确定的散射贡献相组合以对应于实际多成像系统的探测值的可能能量,即可以提供预先确定的散射贡献集以与不同的多能量成像系统一起使用。该组合可以通过插值法实现,例如通过相关散射贡献的加权累积。

[0032] 在本发明的另一方面中,提出一种用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值的探测值校正方法,该多能量成像系统包括:辐射源,其用于发射横穿对象的辐射;和探测单元,其包含探测表面,用于生成取决于已经横穿对象的辐射的探测值,其中探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置,其中该探测值校正方法包括下步骤:

[0033] - 为探测值的不同强度、不同能量和在探测表面上的不同位置来提供散射贡献,其中散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献,该散射由表示强度、能量和在探测表面

上的位置的探测值的辐射生成，

[0034] - 将散射贡献相组合以校正探测值，其中所组合的散射贡献表示由投影图像的其他探测值的辐射所引起的散射对将要校正的探测值的贡献，并且其中在考虑了其它探测值的强度、能量和在探测表面上的位置的情况下，将散射贡献相组合，

[0035] - 利用所组合的散射贡献来对投影图像的探测值进行散射校正。

[0036] 探测值可以存在于不同能量视图中，其中能量视图的探测值是表示相同能量的投影图像的探测值。散射校正可以对每个能量视图执行以得到多个经散射校正的能量视图。

[0037] 将散射贡献相组合的步骤和散射校正的步骤可以迭代执行，其中在一迭代步骤之后，能量视图的经散射校正的探测值用于在下一个迭代步骤中与散射贡献和散射校正相组合。

[0038] 在本发明的进一步方面中，提出一种用于提供散射贡献的散射贡献提供方法，其可与用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值的探测值校正方法一起使用，该多能量成像系统包括：辐射源，用于发射横穿对象的辐射；和探测单元，其包含探测表面，用于生成取决于已经横穿对象的辐射的探测值，其中探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置，其中提供对于探测值的不同强度、不同能量和在探测表面上的不同位置的散射贡献，其中散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献，该散射由表示强度、能量和在探测表面上的位置的探测值的辐射引起。

[0039] 在本发明的另一方面中，提供一种多能量成像方法，其中该多能量计算机断层摄影方法包括以下步骤：

[0040] - 由辐射源发射用于横穿对象的辐射，

[0041] - 由包含探测表面的探测单元来根据已经横穿对象的辐射而生成投影图像的探测值，其中探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置，

[0042] - 通过如权利要求 10 所限定的探测值校正方法来校正投影图像的探测值。

[0043] 在本发明的另一方面中，提出一种用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值的计算机程序，该多能量成像系统包括：辐射源，用于发射横穿对象的辐射；以及探测单元，其包含探测表面，用于生成取决于已经横穿对象的辐射的探测值，其中探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置，该计算机程序包括程序代码模块，当该计算机程序在控制该探测值校正设备的计算机上运行时，该程序代码模块用于使如权利要求 1 所限定的探测值校正设备来执行如权利要求 10 所限定的探测值校正方法的步骤。

[0044] 在本发明的另一方面中，提出一种用于提供散射贡献的计算机程序，其可与用于校正多能量成像系统的投影图像的探测值的探测值校正方法一起使用，该多能量成像系统包括：辐射源，用于发射横穿对象的辐射；以及探测单元，其包含探测表面，用于生成取决于已经横穿对象的辐射的探测值，其中探测值表示强度、能量和在探测表面上的位置，该计算机程序包括程序代码模块，当该计算机程序在控制该散射贡献提供单元的计算机上运行时，该程序代码模块用于使如权利要求 6 所限定的散射贡献提供单元来执行如权利要求 11 所限定的散射贡献提供方法的步骤。

[0045] 在本发明的另一方面中，提出一种用于控制多能量成像系统的计算机程序，该计算机程序包括程序代码模块，当该计算机程序在控制该多能量成像系统的计算机上运行时，该程序代码模块用于使如权利要求 7 所限定的多能量成像系统来执行如权利要求 12 所

限定的多能量成像方法的步骤。

[0046] 应理解, 权利要求 1 的探测值校正设备, 权利要求 6 的散射贡献提供单元, 权利要求 7 的多能量计算机断层摄影系统, 权利要求 10 的探测值校正方法, 权利要求 11 的散射贡献提供单元, 权利要求 12 的多能量计算机断层摄影方法和权利要求 13 到 15 的计算机程序具有如在从属权利要求中所限定的类似和 / 或相同的优选实施例。

[0047] 应理解, 本发明的优选实施例也可以是从属权利要求与各个独立权利要求的任意组合。

附图说明

[0048] 参考下文描述的实施例, 本发明的这些和其它方面将变得显而易见并且得以阐明。在以下附图中

[0049] 图 1 示意性和示例性地示出了多能量计算机断层摄影系统的实施例;

[0050] 图 2 示意性和示例性地示出了用于确定散射图像的布置;

[0051] 图 3 示例性示出的流程图图示了多能量计算机断层摄影方法; 以及

[0052] 图 4 示例性示出的流程图图示了用于确定散射图像的方法。

具体实施方式

[0053] 图 1 示意性和示例性地示出了用于对感兴趣区域成像的多能量计算机断层摄影系统。该多能量计算机断层摄影系统包括能够围绕旋转轴 A 旋转的扫描架 1, 该旋转轴 A 平行于 z 方向延伸。辐射源 2 是 X 射线管, 其安装在扫描架 1 上。辐射源 2 具有准直器 3, 在这一实施例中, 准直器 3 将辐射源 2 生成的辐射形成为锥形辐射束 4。该辐射横穿位于检查区域 5 中的例如患者的对象 (未示出), 在这一实施例中检查区域 5 是圆柱状。已经横穿检查区域后的辐射束 4 入射至包括二维探测表面的探测单元 6。该探测单元 6 安装在扫描架 1 上。

[0054] 多能量计算机断层摄影系统适于提供入射至检查区域, 特别是入射至对象的不同辐射光谱。此外, 探测器单元 6 适于提供不同的能量窗口, 在该能量窗口中可以探测已经横穿检查区域, 特别是已经横穿对象的辐射。因而, 多能量计算机断层摄影系统适于获取属于不同能量光谱, 即属于辐射源的不同光谱和 / 或属于探测单元的不同能量窗口的探测值, 其中每个探测值表示强度、能量光谱、探测表面上的位置和辐射源相对于对象的位置。探测表面上的位置和辐射源相对于对象的位置限定了属于探测值的辐射的路径。这意味着, 每个探测值优选取决于入射至对象的辐射的光谱和 / 或已经横穿对象后的辐射的能量。此外, 每个探测值取决于已经横穿对象后的辐射的强度, 以及相应的辐射路径。

[0055] 多能量计算机断层摄影系统包括两个电机 7, 8。扫描架 1 通过电机 7 以优选恒定但也可以调整的角速度驱动。电机 8 用于以平行于旋转轴 A 或者 z 轴的方向来移动例如患者的对象, 该对象安置在检查区域 5 中的患者床上。这些电机 7, 8 例如由控制单元 9 控制, 从而使辐射源 2 与检查区域 5, 以及因而检查区域中的对象相对于彼此沿着螺旋状轨迹移动。然而, 也可能是对象或者检查区域 5 不移动, 而只有辐射源 2 旋转, 即辐射源相对于对象或者检查区域 5 沿着圆形轨迹移动。此外, 在另一实施例中, 准直器 3 可以适于形成另一射束形状, 特别是扇形射束, 并且探测单元 6 可以包括探测表面, 该探测表面对应于其它射

束形状,特别是对应于扇形射束而成形。

[0056] 在辐射源和检查区域 5 的相对运动期间,探测单元 6 生成取决于入射至探测单元 6 的探测表面的辐射的探测值。该探测值是形成投影图像的投影数据,其中相对于对象而言对应于同一辐射源位置的探测值被视为投影,并形成投影图像或者视图。提供探测值给探测值校正设备 10 以用于校正该探测值。探测值校正设备 10 包括散射贡献提供单元 11,其用于为探测值的不同强度、不同能量和在探测表面上的不同位置,以及任选的辐射源相对于对象的不同位置,来提供散射贡献,其中散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献,该散射由表示强度、能量、探测表面上的位置以及任选的辐射源相对于对象的位置的探测值的辐射生成。探测值校正设备还包括散射贡献组合单元 30,其用于将散射贡献相组合以校正探测值,其中所组合的散射贡献表示散射对将要校正的探测值的贡献,该散射由投影图像的其它探测值的辐射引起,并且其中在考虑了其它探测值的强度、能量、探测表面上的位置以及任选的辐射源相对于对象的位置的情况下,将散射贡献相组合。探测值校正设备还包括校正单元 12,其用于通过利用所组合的散射贡献来对投影图像的探测值进行散射校正。此外,探测值校正设备 10 包括重建单元 13,其用于根据所校正的探测值重建对象的图像。同样,探测值校正设备 10 优选由控制单元 9 控制。

[0057] 将由重建单元 13 生成的图像提供给显示单元 14 以显示所生成的图像。

[0058] 散射贡献提供单元 11 适于提供散射图像,其中散射图像表示针对入射至对象的至少一个辐射光谱和探测单元 6 的能量窗口,沿着穿过对象的路径传播的辐射所产生的散射。因而,对于穿过对象的给定路径以及由入射至对象的至少一个光谱和探测单元的能量窗口所限定的给定能量分布,散射图像表示在这些给定条件下产生的散射。该散射图像还取决于与沿着各个路径传播的辐射对应的探测值的强度,探测值的探测表面上的位置,以及任选的对于各个路径辐射源相对于对象的位置。

[0059] 散射贡献提供单元 11 适于针对入射至对象的至少一个光谱辐射和探测单元的能量窗口通过模拟和 / 或测量散射来提供散射图像,该散射由沿着穿过对象模型的路径传播的辐射引起。

[0060] 图 2 中示意性和示例性的示出了散射图像 15。图 2 中示出的散射图像 15 由从辐射源的焦斑 17 向着探测单元的二维探测表面传播的笔形辐射束 16 产生,在该探测表面上测量或者模拟散射图像。笔形射束 16 在由变量 i 和 j 所定义的位置 18 处与二维探测表面相交。由散射图像 15 表示的散射由横穿对象模型 19 的笔形射束 16 引起。

[0061] 在这一实施例中,模型 19 是球体。然而,在另一实施例中,可以使用另一模型替代球体 19,例如椭圆模型或者平板模型。应注意,术语“对象模型”不涉及包括例如模型形状的非常精确的对象模型。对象模型可以是在使用多能量成像系统获取探测值期间允许给出对散射的估计的任意模型。此外,如果辐射路径属于特定的探测值,那么不必通过利用辐射的精确的相同路径来模拟和 / 或测量散射图像,该散射图像表示在辐射沿着这一路径传播的同时所产生的散射。作为估计,散射可以用于模拟和 / 或测量各个散射图像,该散射在沿着与探测表面垂直的辐射路径传播并在获取各个探测值的位置与探测表面相交的同时产生。

[0062] 球体 19 处于穿过等中心点 21 并与散射图像 15 所位于的二维探测器表面平行的平面 20 内。在图 2 中,FAD 和 DAD 分别指的是焦斑 17 和旋转轴 A 之间的距离,以及二维探测表面和旋转轴 A 之间的距离。球体 19 具有半径 R ,并在平面 20 之内相对于等中心点 21

具有位置偏移,该位置偏移在极坐标中通过向量 $\vec{r} = (\rho R, \phi)$ 定义。变量 ρ 是偏移率,而变量 ϕ 是偏移角度。散射贡献提供单元适于针对不同半径 R 、不同位置偏移 \vec{r} 和笔形射束与二维探测表面相交的不同位置提供散射图像。此外,散射贡献提供单元适于针对不同能量光谱,即入射至模型 19 的多个光谱和 / 或探测单元 6 的多个能量窗口提供这些散射图像。

[0063] 对象模型 19 包括水。在另一实施例中,该模型可以包括例如水和骨的多种材料。该模型可以还包括造影剂。在另一实施例中,该模型可以包括同质平均的材料。优选的同质平均材料是具有能量分布依赖性的物理散射横截面的假设材料,该能量分布依赖性的物理散射横截面是其它材料(例如水,骨和造影剂)的能量分布依赖性的物理散射横截面的加权平均。

[0064] 将探测值分配给导致各个探测值的辐射路径,并将探测值分配给入射至对象的至少一个辐射光谱和探测单元 6 的能量窗口。被分配给起源于同一辐射源位置的辐射路径的探测值形成一视图,该视图也可以视为是投影图像。被分配给同一能量,即被分配给入射至对象的同一辐射光谱和 / 或探测单元 6 的同一能量窗口的视图的探测值可以被视为是能量视图。为了校正能量视图的探测值,散射贡献组合单元 30 适于将散射贡献,特别是散射图像相组合,该散射图像表示对于各个能量视图的能量,沿着起源于各个能量视图的辐射源位置的路径传播的辐射所产生的散射。校正单元 12 适于通过利用各个所组合的散射图像来校正能量视图的探测值。以下将进一步更加详细地描述这一散射图像的组合和基于所组合的散射图像的这一探测值的校正。

[0065] 散射贡献提供单元 11 适于提供包括参数化的散射图像的散射图像集。为了这一参数化函数与散射图像相拟合,其中散射贡献提供单元 11 存储并提供拟合参数而非存储并提供完整的散射图像。例如,高斯函数或者多项式函数可以拟合到散射图像。例如,图 2 中所示的散射图像 15 可以由高斯函数参数化,其中宽度和峰值强度与散射图像拟合。因而,只必须存储和提供作为宽度和峰值强度的拟合参数而非存储并提供完整的散射图像 15。

[0066] 以下将参照图 3 中示出的流程图示例性的描述多能量计算机断层摄影方法。

[0067] 在步骤 101 中,辐射源 2 环绕旋转轴 A 旋转,并且对象或者检查区域 5 不移动,即辐射源 2 沿着环绕对象或者检查区域 5 的圆形轨迹运动。在另一实施例中,辐射源 2 可以沿着相对于对象的另一轨迹移动,例如螺旋状轨迹移动。辐射源 2 发射横穿对象的辐射,其中该已经横穿对象的辐射由探测单元 6 探测,探测单元 6 生成作为投影数据的探测值。投影数据形成多个能量视图,其中能量视图由辐射源相对于对象的位置以及能量视图的探测值的相同能量限定。以下的步骤 102 到 110 针对每个能量视图执行。

[0068] 探测值表示强度、能量(在这一实施例中是能量光谱)、探测表面上的位置以及辐射源相对于对象的位置,特别是在这一实施例中,探测单元 6 包括能量窗口,其中对于辐射源的特定位置和探测单元的二维探测表面上的特定位置,每个探测值取决于探测单元的能量窗口中的辐射强度。

[0069] 在步骤 102 中,校正单元 12 通过相对于空气扫描值来将探测值归一化而校正能量视图的探测值,空气扫描值优选预先在检查区域 5 中不存在对象的情况下测量。此外,在步骤 102 中可以对探测值应用进一步的校正程序,例如可以对探测值应用射束硬化校正。这一步骤 102 在其它实施例中可以省略或者可以在步骤 110 之后执行。

[0070] 在步骤 103 中,由校正单元 12 使用经校正的探测值来执行空间下采样 (spatial down sampling)。探测单元 6 的二维探测表面包括多个可以称为像素的探测元件。空间下采样减少了二维探测表面的像素数量,即减少了探测值的数量。这一空间下采样优选通过探测值的平均或者矩形窗 (box-car) 过滤来执行。优选地,在探测表面的每个二维尺度中,以 8 或者更高的因子下采样像素。同样,步骤 103 可以省略。

[0071] 在步骤 104 中,校正单元 12 根据以下方程为能量视图的每个探测值 $P_E(i, j)$ 计算水当量 (water-equivalent) 厚度 $T_E(i, j)$:

$$[0072] \quad T_E(i, j) = -[\ln P_E(i, j)] / \mu_E \quad (1)$$

[0073] 指数 E 指示能量,即在这一实施例中的各个能量视图的能量光谱或者能量分布,并且指数 i, j 指示在二维探测表面上具有能量 E 的能量视图的各个探测值的位置。变量 μ_E 表示对于各个能量,即已经用于生成各个探测值的辐射光谱和能量窗口的水的平均衰减系数。

[0074] 在步骤 102 中探测值已经被归一化,从而使得为 1 的探测值 $P_E(i, j)$ 不经过任何对象,以便相应的射线不对散射作出贡献。不失一般性而言,以下这种探测值因而可以被排除,并且可以假设水当量厚度大于零。

[0075] 在步骤 105 中,计算梯度 $\nabla T_E(i, j)$,该梯度对于每个坐标 (i, j) 呈现出特定的幅值 $g_E(i, j) = |\nabla T_E(i, j)|$ 和方向角 $\phi_E(i, j)$ 。

[0076] 如果已经基于为球体的模型而确定散射图像,那么优选地确定水当量厚度和梯度。然而,如果已经基于另一模型而确定散射图像,那么可从探测值中提取其它参数,其中这些参数可以用于选择适当的散射图像以进行散射校正。另一可能性是不使用明确的物理模型,而使用从探测值中提取的参数或者探测值本身与参数化的散射图像之间的预定义经验或者半经验映射。

[0077] 对于每个具有大于零的水当量厚度的探测值,所获得的水当量厚度 $T_E(i, j)$ 、梯度幅值 $g_E(i, j)$ 和梯度方向 $\phi_E(i, j)$ 的组合确定了唯一限定的球体,如以上说明和图 2 中所示,该球体在平行于二维探测器表面的平面中具有相对于各个探测值坐标 (i, j) 的半径 $R_E(i, j)$ 和偏移向量 $\vec{r}_E(i, j) = (r_E(i, j), \phi_E(i, j))$ 。以如此方式限定这一球体,从而使它的平行投影在各个探测值位置 (i, j) 处将至少基本呈现出与实际对象相同的 $T_E(i, j)$ 值和 $g_E(i, j)$ 值。在步骤 106 中执行各个映射 $[T_E(i, j), g_E(i, j)] \Rightarrow [R_E(i, j), r_E(i, j)]$ 并通过以下方程实现:

[0078]

$$R_E(i, j) = \frac{T_E(i, j)}{4} \sqrt{4 + g_E(i, j)^2} \quad \text{以及} \quad (2) \quad \text{以及}$$

(2)

[0079]

$$r_E(i, j) = \frac{T_E(i, j)}{4} g_E(i, j) \quad (3)$$

[0080] 在具有可忽略梯度的平坦图像区域中,位置偏移 $r_E(i, j)$ 将接近于零,并且 $r_E(i, j)$ 将通过 $T_E(i, j)/2$ 近似给出。在梯度陡峭处, $r_E(i, j)$ 将只稍微低于 $r_E(i, j)$,但是由于 $T_E(i, j) \geq 0$,因此 $r_E(i, j)$ 一直位于区间 $[0, R)$ 之内。替代于 (R, r, ϕ) ,通过 (R, ρ, ϕ) 可以

很方便地将所采用的水球体参数化,其中偏移率 $\rho \in [0,1)$ 定义为 $\rho = r/R$ 。

[0081] 在步骤 106 中执行的映射为每个探测值 $P_E(i, j)$ 生成散射图像 $\kappa (R_E(i, j), \rho_E(i, j), \phi_E(i, j), i, j)$ 。散射图像 $\kappa (R_E(i, j), \rho_E(i, j), \phi_E(i, j), i, j)$ 表示在图 2 示例性示出的布置中所测量或模拟的散射,其中笔形射束布置为垂直于探测单元的二维探测表面并与二维探测表面在由指数 (i, j) 指示的位置处相交,并且其中笔形射束横穿在这一实施例中是球体的对象模型,该球体具有半径 $R_E(i, j)$ 和相对于等中心点的偏移向量 $\vec{r}_E(i, j) = (\rho_E(i, j), R_E(i, j), \phi_E(i, j))$ 。

[0082] 如果在另一实施例中,使用另一对象模型替代球体以确定散射图像,其中该散射图像取决于特定的散射图像参数而提供,从探测值中提取探测值参数,并且将这些所提取的探测值参数映射至散射图像参数以选择用于校正各个探测值的散射图像。在又一实施例中,不使用物理模型,而是执行从探测值中提取的参数或者探测值本身与参数化的散射图像之间的经验或者半经验映射。

[0083] 散射图像形成预先确定的散射图像集,其中例如通过针对入射至对象模型的至少一个辐射光谱和探测单元的能量窗口模拟和 / 或测量由沿着穿过对象模型的路径传播的辐射所引起的散射而预先确定散射图像。

[0084] 以下参照图 4 中示出的流程图将示例性的描述用于确定散射图像的方法。

[0085] 为了确定散射图像 $\kappa (R_E(i, j), \rho_E(i, j), \phi_E(i, j), i, j)$, 在步骤 201 中,将在这一实施例中为球体的模型居中放置在相对于射束的一位置 $\vec{r}_E(i, j) = (\rho_E(i, j), R_E(i, j), \phi_E(i, j))$ 处,该位置在穿过等中心点并平行于二维探测表面的平面中,如图 2 示意性的示出并且以上参照这一附图所描述的。在二维探测表面之前的球体的这一布置可以通过模拟执行或者真实执行。

[0086] 在步骤 202 中,将笔形射束引导至由指数 (i, j) 指示的探测元件,即由 (i, j) 指示的二维探测表面上的位置。如图 2 中示意性和示例性所示,这一笔形射束垂直于二维探测表面传播。同样,这一笔形射束可以是模拟的或者可以是真实的射束。此外,在步骤 202 中,如果这一笔形射束横穿对象模型,那么由散射在二维探测表面上生成的图像被探测作为散射图像。同样,这一探测可以真实地执行或者通过模拟执行。该模拟优选是蒙特卡罗模拟。在对象的蒙特卡罗模拟中,追踪穿过对象的大量 X 射线光子,并且对于每个 X 射线光子与对象的交互,例如光电吸收、弹性或者非弹性散射以概率的方式发生。在这种模拟中, X 射线光子在材料中的能量依赖散射概率由材料相对于不同交互,即光电吸收、弹性或者非弹性散射以及可能的其它交互机制,的散射横截面决定。

[0087] 在步骤 203 中,得到的散射图像归一化为单元区域的像素尺寸,并被各个初级辐射值相除,因而表示了散射 - 初级辐射值 (scatter-to-primary values)。

[0088] 以下使用这些经处理的散射图像 $\kappa (R_E(i, j), \rho_E(i, j), \phi_E(i, j), i, j)$ 来执行对探测值 $P_E(i, j)$ 的散射校正。具体而言,散射图像 $\kappa (R_E(i, j), \rho_E(i, j), \phi_E(i, j), i, j)$ 可以用于通过 $A \cdot P_E(k, l) \kappa (R_E(k, l), \rho_E(k, l), \phi_E(k, l), i-k, j-l)$ 来表达在坐标 (k, l) 处撞击二维探测表面的射线对处于另一像素 (i, j) 位置处的散射信号的贡献。因而,再次参照图 3 中示出的流程图,在步骤 107 中根据以下方程来计算对探测值 $P_E(i, j)$ 的组合散射贡献:

[0089]

$$S_E(i, j) = w \cdot A \cdot \sum_{k, l} P_E(k, l) \cdot \kappa(R_E(k, l), \rho_E(k, l), \phi_E(k, l), i-k, j-l) \quad (4)$$

[0090] 此处的 w 是用于后验优化的校正因子, 其用于调整以下将进一步描述的迭代校正过程。校正因子 w 在每个迭代步骤中确定散射贡献的考虑度。优选地, 校正因子 w 是 1 或者接近于 1, 例如 0.95。此外, A 表示二维探测表面的探测元件 (即像素) 的面积。

[0091] 方程 (4) 描述了由散射贡献组合单元 30 执行的散射贡献组合, 特别是散射图像的散射贡献组合。

[0092] 方程 (4) 描述了卷积式的过程, 其中散射图像 $\kappa(R_E(i, j), \rho_E(i, j), \phi_E(i, j), i-k, j-l)$ 可以视为是核函数, 并且其中散射贡献 $S_E(i, j)$ 由卷积式过程利用探测值 $P_E(i, j)$ 和核函数 $\kappa(R_E(i, j), \rho_E(i, j), \phi_E(i, j), i-k, j-l)$ 来确定。

[0093] 在步骤 108 中, 基于在步骤 107 中确定的组合散射贡献 $S_E(i, j)$ 来校正探测值。校正可以以减法或者以乘法的方式执行。

[0094] 可以根据以下方程来执行减法校正:

[0095]

$$I_E^{(v+1)}(i, j) = I_E^{(0)}(i, j) - S_E^{(v)}(i, j) \quad (5)$$

[0096] 上部的指数指示校正优选迭代地执行, 其中 $I_E^{(v)}(i, j)$ 表示在 v 次迭代之后的经校正探测值。因而, $I_E^{(0)}(i, j)$ 表示在散射校正之前的探测值, 并且 $S_E^{(v)}(i, j)$ 表示各个组合散射贡献, 该组合散射贡献已经通过利用经校正的探测值 $I_E^{(v)}(i, j)$ 计算出, 并可以由以下方程定义:

[0097]

$$S_E^{(v)}(i, j) = w \cdot A \cdot \sum_{k, l} I_E^{(v)}(k, l) \cdot \kappa(R_E^{(v)}(k, l), \rho_E^{(v)}(k, l), \phi_E^{(v)}(k, l), i-k, j-l) \quad (6)$$

[0098] 应注意, 当根据方程 (5) 和 (6) 执行迭代校正时, 对于每个迭代步骤, 使用与实际校正探测值 $I_E^{(v)}(i, j)$ 对应的散射图像 $\kappa(R_E^{(v)}(k, l), \rho_E^{(v)}(k, l), \phi_E^{(v)}(k, l), i-k, j-l)$, 即其中

[0099]

$$R_E^{(v)}(k, l) = \frac{T_E^{(v)}(k, l)}{4} \sqrt{4 + g_E^{(v)}(k, l)^2}, \quad (7)$$

[0100]

$$\rho_E^{(v)}(k, l) = \frac{T_E^{(v)}(k, l)}{4R_E^{(v)}(k, l)} g_E^{(v)}(k, l), \quad (8)$$

[0101]

$$g_E^{(v)}(k, l) = |\nabla T_E^{(v)}(k, l)| \quad \text{以及} \quad (9) \text{ 以及}$$

(9)

[0102]

$$T_E^{(v)}(k, l) = -[\ln I_E^{(v)}(k, l)] / \mu, \quad (10) \text{ 其中}$$

$\phi_E^{(v)}(k, l)$ 表示梯度 $\nabla T_E^{(v)}$ 的角度方向。

[0103] 对于执行乘法校正, 替代于方程 (5) 使用以下方程:

[0104]

$$I_E^{(v+1)}(i, j) = \frac{I_E^{(0)}(i, j) \cdot I_E^{(v)}(i, j)}{I_E^{(v)}(i, j) + S_E^{(v)}(i, j)} \quad (11)$$

[0105] 迭代一直执行直到达到停止条件。优选地,将连续的视图 $I_E^{(v)}(i, j)$ 和 $I_E^{(v+1)}(i, j)$ 相比较。如果应用于这两个连续图像的相似性度量产生大于预定义阈值的相似值,那么迭代就停止。该相似性度量例如是该两个连续图像的相应探测值的平方差的倒数。

[0106] 在步骤 109 中,得到的组合散射贡献 $S_E^{(v)}(i, j)$ 上采样 (up-sampled) 至视图的原始获取探测值的数量,即探测单元 6 的探测元件数量。在另一实施例中,如果省略了下采样步骤 103,那么同样省略上采样 109。

[0107] 在步骤 110 中,从在步骤 102 中就已经被校正的探测值中减去所确定的组合散射贡献 $S_E^{(v)}(i, j)$ 。如果不执行校正步骤 102,那么就从原始获取的探测值中减去组合散射贡献 $S_E^{(v)}(i, j)$ 。

[0108] 步骤 102 到 110 可以被视为是探测值校正方法的步骤。

[0109] 在步骤 111 中,重建单元 13 通过利用经校正的能量视图来重建对象的图像。例如,对于每个能量,利用各个能量视图来重建图像。该重建优选通过反投影来执行。然而,也可以使用诸如 Radon 逆变换的另一重建程序替代反投影。

[0110] 在以上描述的实施例中该模型是球体,在其它实施例中,可以使用诸如水平板 (water-slab) 模型或者椭圆模型的其它模型替代于球体。

[0111] 虽然在以上描述的实施例中,多能量成像系统是多能量计算机断层摄影系统,但是在其它实施例中,可以使用另一成像系统作为多能量成像系统,例如生成和 / 或使用多能量投影图像的诸如 X 射线 C 臂系统的另一成像系统。

[0112] 虽然在以上描述的实施例中利用特定的卷积式误差校正 (其已经在上文中参照方程 (4) 和 (6) 描述) 来确定组合散射贡献,但是在另一实施例中可以使用其它卷积式误差校正程序,通过利用散射核函数来执行对探测值的散射校正,其中所使用的散射核函数表示如权利要求 1 所限定的散射贡献。

[0113] 本领域技术人员在实施所要求的本发明时,可以通过对图、公开的内容以及权利要求书的研究而理解并实现对所公开实施例的其它变型。

[0114] 在权利要求中,词语“包括”并不排除其它元件或者步骤,并且不定冠词“一”或者“一个”不排除多个。

[0115] 单独的单元或者设备可实现多个在权利要求中所陈述的部件的功能。在相互不同的从属权利要求中列举某些措施这一事实并不表示这些措施的结合不能被用于作为有利条件。例如,权利要求 5 的参数化散射图像优选基于根据权利要求 3 或 4 测量和 / 或模拟的散射图像。

[0116] 如散射贡献的确定,特别是散射图像的确定,或者通过利用散射贡献 (特别是散射图像) 的探测值校正,或者由一个或多个单元或设备执行的重建之类的计算可以由任意其它数量的单元或者设备来执行。例如,步骤 102 到 111 可以由一单独的单元或者由任意其它数量的不同单元来执行。同样,步骤 201 到 203 (与步骤 102 到 111 相结合,或者不与步骤 102 到 111 相结合) 可以由一单独的单元或设备或者由任意其它数量的不同单元或设备来执行。根据以上描述的探测值校正的计算和确定和 / 或探测值校正设备的控制,和 / 或根据以上描述的散射贡献的提供的散射贡献提供单元的控制,和 / 或根据以上描述的多

能量计算机断层摄影方法的多能量计算机断层摄影系统的控制,可以实现为计算机程序的程序代码模块和 / 或实现为专用的硬件。

[0117] 计算机程序可被储存 / 分布于例如光学存储介质或者固态介质的适当介质中,该介质与其它硬件一起提供或者作为其它硬件的一部分,但是也可以其它形式分布,例如经由因特网或者其它有线或者无线通讯系统。

[0118] 权利要求中的任意附图标记不应解释为对范围的限制。

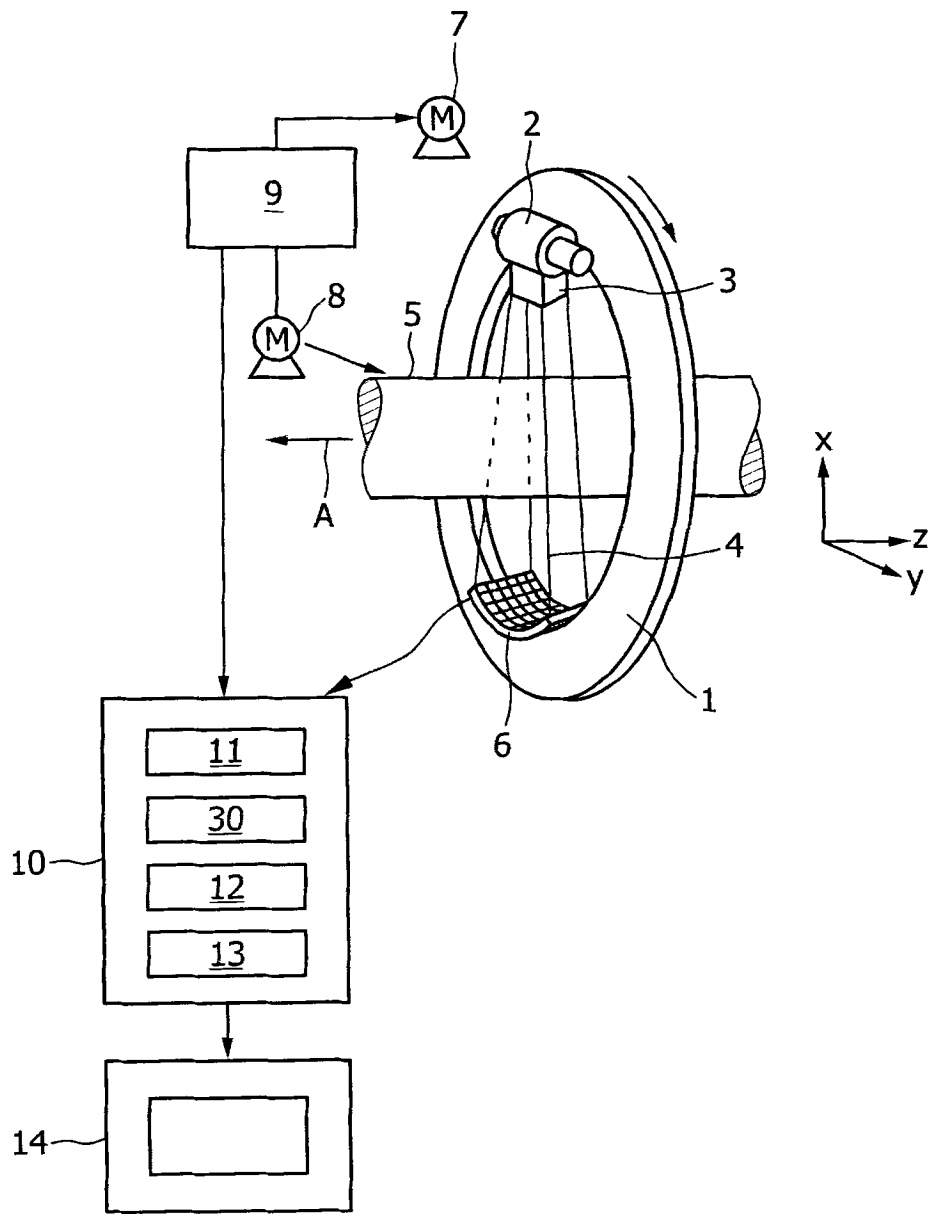


图 1

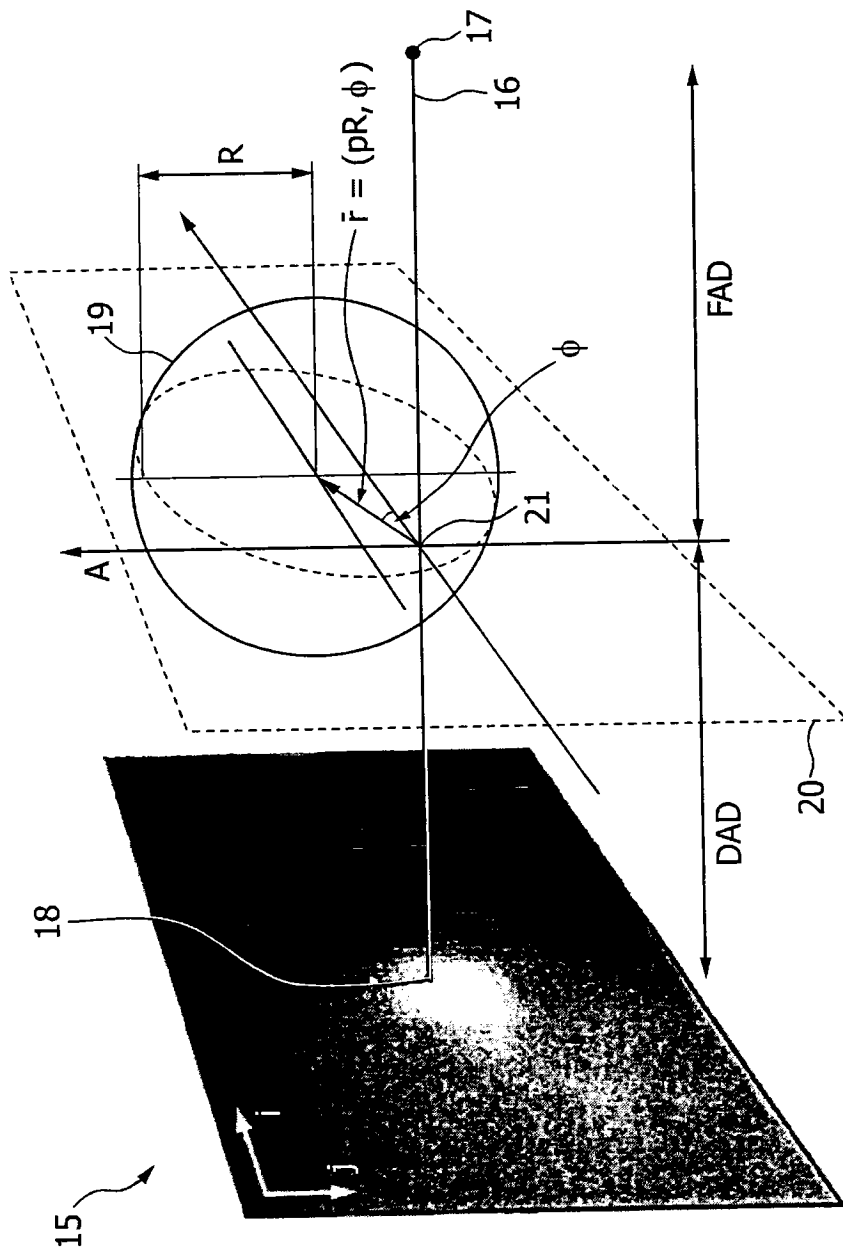


图 2

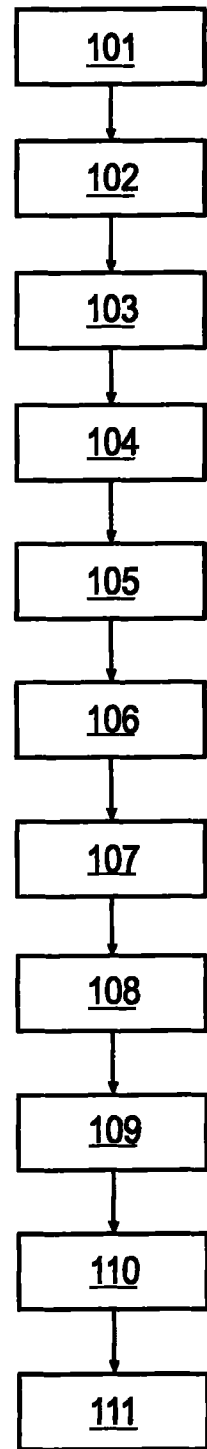


图 3

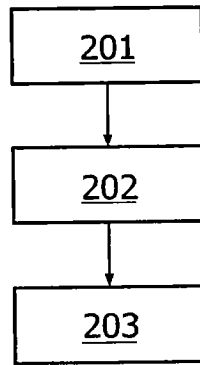


图 4