



(45)授权公告日 2017.12.26

权利要求书3页 说明书9页 附图2页

1. 一种用于探测光子的探测装置,所述探测装置包括:

-探测单元(14),其用于探测光子(13),其中,所述探测单元(14)适于生成指示所探测到的光子的探测信号脉冲,

-堆积确定单元(15),其用于确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,

-探测值生成单元(16),其用于根据所述探测信号脉冲并且根据对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值,其中,所述探测值生成单元(16)适于:

-根据所述探测信号脉冲的特性,将由非堆积事件引起的所述探测信号脉冲分为若干个分箱,

-通过对由非堆积事件引起的每个分箱的所述探测信号脉冲进行计数,针对相应分箱确定非堆积数量,从而生成非堆积分布,所述非堆积分布指示每个分箱中的非堆积数量,

-通过对由堆积事件引起的所述探测信号脉冲进行计数来确定堆积数量,

-估计堆积分布,使得所述堆积分布的积分对应于所确定的堆积数量与所提供的对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量的乘积,

-基于所述堆积分布来校正所述非堆积分布,

-根据经校正的非堆积分布来生成探测值。

2. 根据权利要求1所述的探测装置,其中,所述期望平均数量为二。

3. 根据权利要求1所述的探测装置,其中,每个探测信号脉冲具有探测信号脉冲高度,其中,为了确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,所述堆积确定单元(15)适于提供脉冲高度阈值,并且将所述相应探测信号脉冲的探测信号脉冲高度与所述脉冲高度阈值进行比较,以确定所述相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。

4. 根据权利要求1所述的探测装置,其中,为了确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,所述堆积确定单元(15)适于:

-确定所述相应探测信号脉冲的时间长度,

-提供时间长度阈值,

-将所述相应探测信号脉冲的所述时间长度与所述时间长度阈值进行比较,以确定所述相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。

5. 根据权利要求1所述的探测装置,其中,每个探测信号脉冲具有探测信号脉冲高度,其中,为了确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,所述堆积确定单元(15)适于:

-对所述相应探测信号脉冲进行积分,以生成相应积分值,

-将所述积分值与所述相应探测信号脉冲的所述探测信号脉冲高度进行比较,从而生成比较结果,

-基于所述比较结果来确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。

6. 一种用于对对象进行成像的成像装置,所述成像装置(12)包括:

-光子源(2),其用于生成光子,以穿过所述对象,

-根据权利要求1所述的探测装置(6),其用于探测已经穿过所述对象后的所述光子,并且用于生成探测值。

7.根据权利要求6所述的成像装置,其中,所述成像装置(12)还包括重建单元(10),所述重建单元用于基于所生成的探测值来重建所述对象的图像。

8.一种用于探测光子的探测方法,所述探测方法包括:

-由探测单元(14)探测光子,其中,所述探测单元(14)适于生成指示所探测的光子的探测信号脉冲,

-由堆积确定单元(15)确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,

-由探测值生成单元(16)根据所述探测信号脉冲并且根据对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值,其中,所述探测值生成单元(16)适于:

-根据所述探测信号脉冲的特性,将由非堆积事件引起的所述探测信号脉冲分为若干个分箱,

-通过对由非堆积事件引起的每个分箱的所述探测信号脉冲进行计数,针对相应分箱确定非堆积数量,从而生成非堆积分布,所述非堆积分布指示每个分箱中的非堆积数量,

-通过对由堆积事件引起的所述探测信号脉冲进行计数来确定堆积数量,

-估计堆积分布,使得所述堆积分布的积分对应于所确定的堆积数量与所提供的对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量的乘积,

-基于所述堆积分布来校正所述非堆积分布,

-根据经校正的非堆积分布来生成探测值。

9.一种用于对对象进行成像的成像方法,所述成像方法包括:

-由光子源(2)生成具有不同能量的光子,以穿过所述对象,

-根据权利要求8所述的,探测所述光子,以生成探测值。

10.一种用于探测光子的探测设备,所述探测设备包括:

-用于由探测单元(14)探测光子的模块,其中,所述探测单元(14)适于生成指示所探测的光子的探测信号脉冲,

-用于由堆积确定单元(15)确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的模块,

-用于由探测值生成单元(16)根据所述探测信号脉冲并且根据对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值的模块,其中,所述探测值生成单元(16)适于:

-用于根据所述探测信号脉冲的特性,将由非堆积事件引起的所述探测信号脉冲分为若干个分箱的模块,

-用于通过对由非堆积事件引起的每个分箱的所述探测信号脉冲进行计数,针对相应分箱确定非堆积数量,从而生成非堆积分布的模块,所述非堆积分布指示每个分箱中的非堆积数量,

-用于通过对由堆积事件引起的所述探测信号脉冲进行计数来确定堆积数量的模块,

-用于估计堆积分布,使得所述堆积分布的积分对应于所确定的堆积数量与所提供的对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量的乘积的模块,

- 用于基于所述堆积分布来校正所述非堆积分布的模块，
 - 用于根据经校正的非堆积分布来生成探测值的模块。
11. 一种用于对对象进行成像的成像设备，所述成像设备包括：
- 用于由光子源 (2) 生成具有不同能量的光子，以穿过所述对象的模块，
 - 用于根据权利要求8所述的，探测所述光子，以生成探测值的模块。

用于考虑堆积事件来探测光子的探测装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于探测光子的探测装置、探测方法和探测计算机程序。本发明还涉及一种用于对对象进行成像的成像装置、成像方法和成像计算机程序。

背景技术

[0002] X.Llopart等人在IEEE Transactions on Nuclear Science, 2002年10月第49卷, 第5版, 第2279至2283页的文章“Medipix2: A64-k pixel readout chip with 55- μm square elements working in single photon counting mode”公开了一种光子计数探测器, 其根据探测到的光子生成探测值。具体地, 直接转换材料用于将光子变换为信号脉冲, 其中, 每个信号脉冲对应于单个光子, 并且其中, 相应信号脉冲的信号脉冲高度指示相应光子的能量。信号脉冲被分布在若干能量分箱 (energy bins) 中, 其中, 针对每个能量分箱生成探测值, 所述探测值指示被分配给相应能量分箱的信号脉冲的数量。

[0003] 得到的能量分布能够由于探测器的局限性被破坏, 这会导致所生成的探测值的质量的降低。

发明内容

[0004] 本发明的一个目的在于提供一种用于探测光子的探测装置、探测方法和探测计算机程序, 其允许生成具有改善质量的探测值。本发明其他目的在于提供一种成像装置, 其包括用于对对象进行成像的成像装置、以及对应的成像方法和成像计算机程序。

[0005] 在本发明的第一方面中, 提出一种用于探测光子的探测装置, 其中, 所述探测装置包括:

[0006] -探测单元, 其用于探测光子, 其中, 所述探测单元适于生成指示所探测到的光子的探测信号脉冲,

[0007] -堆积 (pile-up) 确定单元, 其用于确定探测信号脉冲是由堆积事件 (a pile-up event) 还是由非堆积事件 (a non-pile-up event) 引起的,

[0008] -探测值生成单元, 其用于根据探测信号脉冲并且根据相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值, 其中, 所述探测值生成单元适于:

[0009] -根据所述探测信号脉冲的特性, 将由非堆积事件引起的所述探测信号脉冲分为若干个分箱,

[0010] -通过对由非堆积事件引起的每个分箱的所述探测信号脉冲进行计数, 针对相应分箱确定非堆积数量, 从而生成非堆积分布,

[0011] -通过对由堆积事件引起的所述探测信号脉冲进行计数来确定堆积数量,

[0012] -估计堆积分布, 使得所述堆积分布的积分对应于所确定的堆积数量与所提供的对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量的所述乘积,

[0013] -基于所述堆积分布来校正所述非堆积分布,

[0014] -根据经校正的非堆积分布来生成探测值。

[0015] 由于堆积确定单元确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,并且由于探测值生成单元根据探测信号脉冲并且根据相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值,因此能够相对精确地考虑堆积效应,同时生成探测值。这允许改善所生成的探测值的质量。

[0016] 堆积事件优选由若干光子对相同探测信号脉冲的贡献来限定。

[0017] 探测单元优选包括直接转换材料,如铈化镓(CdCe)或碲化锌镓(CZT),其用于根据与直接转换材料接触的光子来生成探测信号脉冲。备选地或额外地,探测单元能够包括闪烁体材料和光电二极管,其中,光脉冲能够由闪烁体材料根据与闪烁体材料接触的光子来生成,并且其中,光电二极管能够探测所生成的光脉冲,并且根据探测到的光脉冲来生成探测信号脉冲。

[0018] 期望平均数量优选为二,其中,假定由堆积事件引起的探测信号脉冲主要对应于已经接触探测装置的两个光子,即,堆积事件主要是一阶堆积事件。因此,在这种情况下,通过两倍堆积数量与未校正的非堆积数量相加,能够可靠地以低的计算工作量校正非堆积数量。然而,对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量也能够是另一数量。如果堆积事件不是主要由两个光子引起的,而是,例如由不同数量的光子和/或更大数量的光子引起的,这也允许校正非堆积数量。因此能够考虑更高阶堆积事件。

[0019] 探测装置优选包括若干个探测像素,其中,针对每个探测像素能够确定堆积数量和非堆积数量。在实施例,探测装置是非能量分辨(non-energy-resolving)的,使得针对每个探测像素,同时生成单个探测值。然而,探测装置优选为能量分辨(energy-resolving)探测装置,其中,针对每个探测像素,同时生成对应于不同能量的若干个探测值。因此,探测值生成单元适于:a)根据探测信号脉冲的特性,将由非堆积事件引起的探测信号脉冲分到若干个分箱中,b)通过对由非堆积事件引起的每个分箱的探测信号脉冲进行计数,针对相应分箱确定非堆积数量,从而生成非堆积分布,c)通过对由堆积事件引起的探测信号脉冲进行计数来确定堆积数量,d)估计堆积分布,使得堆积分布的积分对应于所确定的堆积数量与所提供的对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量的乘积,e)基于堆积分布来校正非堆积分布,f)根据经校正的非堆积分布来生成探测值。

[0020] 优选地,探测值生成单元适于通过假定堆积分布的形状近似于非堆积分布的形状来估计堆积分布,其中,估计堆积分布,使得具有非堆积分布的形状的堆积分布的积分对应于所确定的堆积数量与对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量的乘积。例如,期望平均数量能够是二。优选地通过将所估计的堆积分布相加来执行非堆积分布的校正。在另一实施例中,由堆积事件引起的探测信号能够根据探测信号脉冲的特性,特别是根据探测信号脉冲高度进行分箱,以便确定可以用于校正非堆积分布的堆积分布。

[0021] 具体地,探测值生成单元能够适于将探测信号脉冲与限定能量分箱的探测信号高度脉冲阈值进行比较,以便在能量分箱之间分布探测信号脉冲,其中,针对每个能量分箱确定探测值,所述探测值指示被分配给相应能量分箱的探测信号脉冲的非堆积数量。用于将探测信号脉冲与相应的阈值进行比较的比较程序优选由探测值生成单元的比较器来执行。非堆积数量限定可以基于相应的堆积分布来校正的非堆积分布。

[0022] 在实施例,为了确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,堆积确定单元适于提供脉冲高度阈值,并且将相应探测信号脉冲的探测信号脉冲高度

与脉冲高度阈值进行比较,以确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。此外,堆积确定单元能够适于:a) 确定相应探测信号脉冲的时间长度,b) 提供时间长度阈值,以及c) 对相应探测信号脉冲的时间长度和用于确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的时间长度阈值进行比较。堆积确定单元还能够适于:a) 对用于生成相应积分值的相应探测信号脉冲进行积分,b) 对积分值和相应探测信号脉冲的探测信号脉冲高度进行比较,从而生成比较结果,以及c) 基于比较结果来确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。例如,探测信号脉冲高度和积分值的比值能够被生成作为比较结果,其中,能够基于所述比值来确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。此外,堆积确定单元能够适于基于计数结果的不一致来确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。这些不同的确定类型允许可靠地以相对低的计算工作量确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。

[0023] 在本发明的另一方面中,提出一种用于对对象进行成像的成像装置,其中,所述成像装置包括:

[0024] -光子源,其用于生成光子,以穿过对象,

[0025] -根据权利要求1所述的探测装置,其用于探测已经穿过对象后的光子,并且用于生成探测值。

[0026] 光子源优选为多色X射线源,并且探测装置优选适于探测已经穿过对象后的X射线光子。成像装置优选为计算机断层摄影系统或X射线C臂(x-ray C arm)系统,其允许沿被设置在例如虚构圆柱体或虚构球体上的轨迹围绕对象旋转光子源和探测装置。例如,所述轨迹是圆形或螺旋形轨迹。

[0027] 优选地,成像装置还包括重建单元,其用于基于所生成的探测值来重建对象的图像。具体地,重建单元能够适于基于所生成的能量分辨探测值来重建对象的图像。其能够适于执行,例如分解技术,其将探测值分解为不同的分量,不同的分量能够指示不同的材料(如骨头和软组织)和/或不同的物理效应(如光电效应、康普顿效应或K-边缘效应)。对应的分解技术在例如由E.ROESSL和R.Proksa在Physics in Medicine and Biology,第52卷,第4679-4696页(2007)的文章“K-Edge imaging in x-ray computed tomography using multi-bin photon counting detectors”中被公开。重建单元还能够适于基于分量探测值针对至少一个分量重建独立的图像,已通过分解技术针对相应分量确定所述分量探测值。

[0028] 在本发明的又一方面中,提出一种用于探测光子的探测方法,其中,所述探测方法包括:

[0029] -由探测单元探测光子,其中,探测单元适于生成指示探测到的光子的探测信号脉冲,

[0030] -由堆积确定单元确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,

[0031] -由探测值生成单元根据探测信号脉冲并且根据对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值,其中,所述探测值生成单元适于:

[0032] -根据所述探测信号脉冲的特性,将由非堆积事件引起的所述探测信号脉冲分为若干个分箱,

[0033] -通过对由非堆积事件引起的每个分箱的所述探测信号脉冲进行计数,针对相应分箱确定非堆积数量,从而生成非堆积分布,

- [0034] -通过对由堆积事件引起的所述探测信号脉冲进行计数来确定堆积数量，
- [0035] -估计堆积分布，使得所述堆积分布的积分对应于所确定的堆积数量与所提供的对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量的所述乘积，
- [0036] -基于所述堆积分布来校正所述非堆积分布，
- [0037] -根据经校正的非堆积分布来生成探测值。
- [0038] 在本发明的又一方面中，提出一种用于对对象进行成像的成像方法，其中，所述成像方法包括：
- [0039] -由光子源生成具有不同能量的光子，以穿过对象，
- [0040] -根据权利要求8所述的，探测光子，以生成探测值。
- [0041] 在本发明的又一方面中，提出一种用于探测探测数据的探测计算机程序，其中，所述探测计算机程序包括程序代码模块，其用于当探测计算机程序在控制根据权利要求1所述的探测装置的计算机上运行时，使所述探测装置执行根据权利要求8所述的探测方法的步骤。
- [0042] 在本发明的又一方面中，提出一种用于对对象进行成像的成像计算机程序，其中，所述成像计算机程序包括程序代码模块，其用于当成像计算机程序在控制根据权利要求6所述的成像装置的计算机上运行时，使所述成像装置执行根据权利要求9所述的成像方法的步骤。
- [0043] 应当理解，权利要求1的探测装置、权利要求6的成像装置、权利要求8的探测方法、权利要求9的成像方法、权利要求10的探测计算机程序和权利要求11的成像计算机程序具有类似的和/或相同的优选实施例，具体地，如从属权利要求中所限定的。
- [0044] 应当理解，本发明的优选实施例也能够是从属权利要求与相应的独立权利要求的任意组合。
- [0045] 参考下述实施例，本发明的这些及其他方面将显而易见并被阐明。

附图说明

- [0046] 附图中：
- [0047] 图1示意性和范例性地示出了用于对对象进行成像的成像装置的实施例；
- [0048] 图2示意性和范例性地示出了用于探测光子的探测装置的实施例；
- [0049] 图3示出了范例性地图示用于对对象进行成像的成像方法的实施例的流程图。

具体实施方式

- [0050] 图1示意性和范例性地示出了用于对对象进行成像的成像装置为计算机断层摄影装置12。计算机断层摄影装置12包括机架1，机架1能够关于平行于z方向延伸的旋转轴R旋转。在本实施例中，作为多色X射线管的光子源2被安装在机架1上。光子源2配备准直器3，在本实施例中，准直器3从由光子源2生成的光子中形成锥形辐射射束4。光子穿过检查区域5中的对象，诸如患者，在本实施例中，检查区域5为圆柱形。在已经穿过检查区域5之后，辐射射束4入射到探测装置6上，探测装置6包括二维探测表面。探测装置6被安装在机架1上。
- [0051] 计算机断层摄影装置12包括两个电动机7、8。由电动机7以优选恒定但可调节的角速度驱动机架1。提供电动机8用于将被布置在检查区域5中的患者工作台上的对象（例如患

者)平行于旋转轴R或z轴的方向进行位移。由控制单元9控制这些电动机7、8,例如,使得光子源2和检查区域5沿螺旋形方向彼此相对移动。然而,也可能不移动对象,而是仅旋转光子源2,即,光子源2相对于对象或检查区域5沿圆形方向移动。此外,在另一实施例中,准直器3能够适于形成另一射束形状,具体地,形成扇形射束,并且探测装置6能够包括被成形为对应于其他射束形状,具体地,对应于扇形射束的探测表面。

[0052] 在光子源2和检查区域5相对移动期间,探测装置6根据入射在探测装置6的探测表面上的辐射来生成探测值。探测值被提供给重建单元10,以基于探测值来重建对象的图像。由重建单元10重建的图像被提供至显示单元11,以显示重建图像。

[0053] 控件9也优选适于控制光子源2、探测装置6和重建单元10。

[0054] 图2示意性和范例性示出了探测装置6的探测单元14、堆积确定单元15和探测值生成单元16。探测单元14适于探测光子13,并且生成具有指示相应探测到的光子13的能量的探测信号脉冲高度的探测信号脉冲。堆积确定单元15适于确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,即,堆积确定单元15确定探测信号脉冲是对应于单个光子还是对应于两个或更多光子。探测值生成单元16适于根据探测信号脉冲并且根据对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值。

[0055] 探测单元14包括直接转换材料,如CdCe或CZT,其用于根据接触到直接转换材料的光子来生成探测信号脉冲。优选地,探测单元14包括若干个探测像素,其中,针对每个探测像素生成探测信号脉冲。例如,在由T.Takahashi和S.Watanabe在IEEE Transactions on Nuclear Science,2001年8月,第48卷,第4版,第950-959页的文章“Recent progress in CdTe and CdZnTe detectors”中公开了包括直接转换材料的这样的探测单元。

[0056] 在本实施例中,为了确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,堆积确定单元15适于提供脉冲高度阈值,并且将相应探测信号脉冲的探测信号脉冲高度与脉冲高度阈值进行比较,以确定相应探测信号是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。脉冲高度阈值近似于或大于由单个光子引起的最大期望探测信号脉冲高度。堆积确定单元15优选地包括用于将探测信号脉冲和脉冲高度阈值进行比较的比较器。

[0057] 备选地或额外地,堆积确定单元能够适于确定相应探测信号脉冲的时间长度,以提供时间长度阈值,并且将相应探测信号脉冲的时间长度与时间长度阈值进行比较,以确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积引起的。因此,堆积确定单元15能够适于测量每个探测信号脉冲的时间。来自单个光子的探测信号脉冲具有例如由脉冲成形器给定的众所周知的持续时间,脉冲成形器可以成形由探测单元14生成的探测信号脉冲,其中,通常只有在探测信号脉冲对应于若干光子时能够超过所述持续时间。对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的这类确定能够通过堆积确定单元15的比较器来实现,所述比较器探测在噪声基底上方的信号水平。如果信号超过噪声基底,堆积确定单元15的计时器能够被启动。如果计时器在信号再次低于噪声基底之前到期,相应探测信号脉冲能够被分类为由堆积事件引起。

[0058] 此外,备选地或额外地,堆积确定单元15能够适于对相应探测信号脉冲进行积分,以生成相应积分值,以对积分值与相应探测信号脉冲的探测信号脉冲高度进行比较,从而生成比较结果,并且基于比较结果来确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。比较结果优选为探测信号脉冲高度与相应探测信号脉冲的积分值的比值。因此,

探测信号脉冲的总电荷能够通过对探测信号脉冲的信号进行积分来测量。能够使用比较器,将所得到的积分与脉冲高度进行比较。对应于单个光子的探测信号脉冲将具有脉冲高度与脉冲积分之间的已知的关系。如果这种关系不符合能够由例如校准测量确定的提供期望范围内的值,相应探测信号脉冲能够被分类为由堆积事件引起。

[0059] 此外,同样备选地或额外地,堆积确定单元15能够适于基于计数结果的不一致来确定相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的。例如,能够预先限定较低的阈值和较高的阈值,使得不是由堆积事件引起的探测信号脉冲的上升沿首先与较低的阈值交叉,然后与较高的阈值交叉,其中,在已经经过探测信号脉冲的峰值后,探测信号脉冲的下降沿在相反方向上再次与较高的阈值交叉,并且最终与较低的阈值交叉。此外,能够预先限定较低的阈值和较高的阈值,使得探测信号脉冲从上限阈值下方至上限阈值上方与较高的阈值交叉两次,而不存在与较低的阈值的中间交叉,所述探测信号脉冲具有由两个堆积光子引起的中间最小值的两个最大值。在这种情况下,堆积确定单元能够适于通过探测探测信号脉冲从较高的阈值下方至较高的阈值上方与较高的阈值交叉两次,而不存在与较低的阈值的中间交叉来确定相应探测信号脉冲由堆积事件引起。

[0060] 探测信号脉冲生成单元16优选适于排除由堆积事件引起的探测信号脉冲,并且根据由堆积事件引起的探测信号脉冲来生成探测值。具体地,探测值生成单元16适于根据探测信号脉冲的特性将不是由堆积事件引起的探测信号脉冲分为若干个分箱。在本实施例中,根据相应探测信号脉冲的探测信号脉冲高度执行所述分箱。探测信号脉冲高度对应于光子的能量,相应探测信号脉冲对应于所述光子的能量。因此,通过根据探测信号脉冲高度将探测信号脉冲分为若干个分箱,不同的分箱对应于对应光子的不同能量。优选地,提供探测信号脉冲高度阈值,其中,每对探测信号脉冲高度阈值限定一个分箱,即,能量分箱。探测信号脉冲能够通过将相应探测信号高度和探测信号脉冲高度阈值进行比较在能量分箱之间进行分布。探测值生成单元16优选包括比较器,其用于执行这些与阈值的比较。

[0061] 探测值生成单元16优选地还适于通过对由非堆积事件引起的每个能量分箱的探测信号脉冲进行计数来针对相应能量分箱进行非堆积数量计数,从而生成非堆积分布。然后,根据非堆积分布生成探测值。具体地,针对每个能量分箱,生成探测值,使得探测值是能量相关的。例如,针对能量分箱生成的探测值能够是相应能量分箱的非堆积数量或与相应能量分箱的非堆积数量成比例。

[0062] 在又一实施例中,探测值生成单元16能够适于通过对由堆积事件引起的所有探测信号脉冲进行计数来确定堆积数量,并且估计堆积分布,使得堆积分布的积分对应于所确定的堆积数量与提供的对堆积事件做出贡献的期望光子平均数量的乘积。例如,光子的期望平均数量为二。为了估计堆积分布,能够假定非堆积分布和堆积分布的形状是近似的,使得堆积分布被确定为包括非堆积分布的形状,其中,堆积分布的积分应该是近似于所确定的堆积数量与期望平均数量的乘积。在实施例中,探测值生成单元16适于根据以下方程来确定堆积分布 D_i :

$$[0063] \quad D_i = mN_p \frac{\tilde{C}_i}{\sum_{k=1}^N \tilde{C}_k}, \quad (1)$$

[0064] 其中: $\tilde{C}_i$ 表示非堆积分布的第i个能量分箱的未校正探测值,m表示对堆积事件做

出贡献的光子的期望平均数量,优选为二, N_p 表示堆积数量,以及 N 表示能量分箱的数量。

[0065] 探测值生成单元16能够进一步适于基于堆积分布来校正非堆积分布,其中,探测值能够取决于经校正的非堆积分布,或者能够根据经校正的非堆积分布来生成。具体地,未校正的非堆积分布 $\tilde{C}_i$ 能够根据以下方程进行校正:

$$[0066] \quad C_i = \tilde{C}_i + D_i, \quad (2)$$

[0067] 其中, C_i 表示经校正的非堆积分布的第 i 个能量分箱的经校正的探测值。

[0068] 如果在另一实施例中,探测装置是非能量分辨的,即,如果探测信号脉冲高度不用于执行能量鉴别,探测值生成单元16能够适于提供对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量,并且通过将堆积数量与对堆积事件做出贡献的光子的期望平均数量相乘从而生成校正乘积,并且通过将所述校正乘积与非堆积数量相加来校正非堆积数量。如果必须考虑较高阶堆积效应,光子的期望平均数量能够是二或更大的数量。

[0069] 重建单元10优选地适于将探测值分解为不同的分量探测值,不同的分量探测值对应于对象的不同分量。例如,这些不同的分量与不同的物理效应相关(如康普顿效应、光电效应和K-边缘效应)和/或不同的分量与不同的材料相关(如人类的骨头、软组织等)。例如,重建单元能够使用由E.Roessl和R.Proksa在Physics in Medicine and Biology,第52卷,第4679-4696页(2007)的文章“K-Edge imaging in x-ray computed tomography using multi-bin photon counting detectors”中所公开的分解技术。

[0070] 在实施例中,根据下述方程执行所述分解,下述方程是基于描述测量过程的物理模型的反演:

$$[0071] \quad C_i = \int B_i(E) F(E) e^{-\sum_{j=1}^{M_j} A_j P_j(E)} dE, \quad (3)$$

[0072] 其中, C_i 表示第 i 个能量分箱的探测值, $B_i(E)$ 表示第 i 个能量分箱的光谱灵敏度, $F(E)$ 表示光子源的光谱, j 是 M_j 不同分量的指数, A_j 表示通过第 j 个分量的吸收值的线积分,以及 $P_j(E)$ 表示第 j 个分量的光谱吸收。

[0073] 如果能量分箱的数量至少等于分量的数量,方程组能够由已知的数值方法来求解,其中, $B_i(E)$ 、 $F(E)$ 和 $P_j(E)$ 的数量是已知的,求解方程组的结果是线积分 A_j 。辐射光谱 $F(E)$ 和光谱灵敏度 $B_i(E)$ 是成像装置和读出器本质的特征,并且例如从对应的测量值中是已知的。分量的光谱吸收 $P_j(E)$ (例如骨头和软组织的光谱吸收)从测量结果和/或从文献中也是已知的。

[0074] 在本实施例中,经分解的探测值是分解投影数据,即,线积分 A_j ,每个线积分 A_j 均能够用于重建对象的计算机断层摄影图像,以便例如针对每个分量能够重建对象的分量图像。例如,能够重建康普顿分量图像、光电分量图像和/或K-边缘分量图像。为了基于投影数据重建图像,能够使用已知的重建技术,如滤波反投影、氩逆变等等。

[0075] 在下文中,将参考图3中示出的流程图范例性地描述用于对对象进行成像的成像方法的实施例。

[0076] 在步骤101中,光子源2生成具有不同能量的光子,同时光子源2和对象相对于彼此移动,以便允许光子在不同的方向上穿过对象。具体地,光子源2沿围绕对象的圆形或螺旋形轨迹移动,同时探测单元14探测已穿过对象后的光子,并生成探测信号脉冲。

[0077] 在步骤102中,堆积确定单元14确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,并且,在步骤103中,探测值生成单元16根据探测信号脉冲并且根据对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值。具体地,针对光子源的每个位置、针对探测单元14的二维探测表面的每个像素并且针对每个能量分箱,生成探测值。在步骤104中,重建单元10基于所生成的探测值通过使用例如用于将探测值分解为经分解的探测值的分解技术来重建对象的图像,其中,经分解的探测值用于基于计算机断层摄影重建算法(如滤波反投影算法)来重建对象的图像。在步骤105中,在显示单元11上示出重建图像。

[0078] 步骤101到103能够被视为用于探测光子的探测方法的步骤。

[0079] 通常,光子计数探测器能够承受堆积效应,如果医疗成像需要使用相对高通量的光子,会出现堆积效应。在这种探测器中的每个入射光子生成某个时间长度的电子脉冲。如果两个或更多光子仅以小的时间差进入探测器,独立脉冲重叠,使得探测器无法将它们分开,即,生成单个探测信号脉冲,其由脉冲重叠形成。这种堆积事件有两种后果。首先,探测器仅对一个光子进行计数,而不是两个或更多光子。其次,如果探测器通过脉冲高度分析执行能量鉴别,测量到的能量将涉及脉冲总和的脉冲高度,并未充分表示一个光子的能量。以上参考图2所述的探测装置能够从测量结果中探测并且任选地排除堆积事件,以便不受测量结果降低的影响。探测装置也能够适于对光子计数探测器中的堆积事件进行计数,其中,所计数的堆积事件能够用于校正目的。

[0080] 常规光子计数电子设备执行例如某些伴随离散化阶段的模拟脉冲形成,在离散化阶段,脉冲高度利用用于将脉冲分布在能量分箱之间的一个或多个比较器进行离散,其中,对被分配给能量分箱的脉冲进行计数。关于以上参考图2所述的探测装置,探测单元14能够包括用于根据入射X射线光子生成电流脉冲的直接转换材料,以及用于基于探测到的电流脉冲形成探测信号脉冲的某些模拟脉冲形成。探测值生成单元能够包括比较器,其用于离散脉冲高度并且用于将探测信号脉冲分布在能量分箱之间,其中,探测值生成单元进一步适于对被分配给能量分箱的探测信号脉冲进行计数,以生成探测值。此外,探测装置包括堆积确定单元,其用于对每个输入脉冲进行分析,并用于将每个脉冲分类为堆积事件或正常事件(即,非堆积事件)。而且,探测值生成单元能够适于排除被分类为堆积事件的脉冲,即,探测信号脉冲,使得探测值生成单元仅对不是由堆积事件引起的脉冲进行计数。任选地,探测值生成单元进一步适于对经分类的堆积事件的数量进行计数,即,对由堆积事件引起的探测信号脉冲进行计数,堆积事件通过脉冲高度或事件的电荷积分被任选地进行分箱。

[0081] 排除由堆积事件引起的探测信号脉冲的探测值生成单元的可选功能能够被认为是对脉冲计数电子设备的添加,以确保被分类为由堆积事件引起的探测信号脉冲不被计数。然而,在另一实施例中,探测值生成单元适于对经分类为由堆积事件引起的探测信号脉冲进行计数,以提供能够用于在数据校正步骤中校正堆积的附加信息。如果由堆积事件引起的探测信号脉冲被排除,堆积事件的数量,即,探测信号脉冲的数量,具体地,乘以2,是对缺失计数的数量的良好估计。对于不具有能量鉴别的系统,该数量能够简单地被添加至非堆积计数的数量,以获得良好的堆积校正。

[0082] 对于具有能量鉴别的系统,由于对应的数量是对具有未知能量的附加光子的估计,能够基于堆积计数执行统计校正。如果类似于脉冲高度分析,对堆积事件的脉冲积分进

行分箱和计数,能够完成提高的堆积测量。这些数据能够用于提高的统计校正,因为引起堆积的重叠脉冲的总和是已知的。

[0083] 与常规探测装置相比,以上参考图2所述的探测装置能够具有两个优点。首先,一阶堆积的随机性不影响在所提出系统中的堆积修正。其次,能量分箱内的计数的光谱分布不被干扰。如果具有堆积的光子(即,探测信号的脉冲)未被计数,堆积效应将不会干扰能量分箱中的计数的分布,因为它们是堆积自由的(pile-up free)。

[0084] 尽管探测装置已经被描述为包括某些单元,用于提供以下功能:如确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,或如根据探测信号脉冲并且根据对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值,但探测装置也能够包括用于实现上述功能的其他数字和/或模拟单元。

[0085] 尽管在上述实施例中,探测装置生成能量分辨探测值,但在另一实施例中,探测装置也能够适于生成非能量分辨探测值。例如,在不具有前述分箱过程的情况下对探测信号脉冲进行计数。

[0086] 尽管在上述实施例中,探测装置已经被描述为适于用于计算机断层摄影装置中,但在其他实施例中,探测装置也能够适于用于另一成像装置(如,核成像装置)中,例如,单光子发射计算机断层摄影或正电子发射断层摄影装置,或X射线C臂成像装置。

[0087] 通过研究附图、说明书和所附权利要求,本领域技术人员在实践所要求保护的发明时能够理解和实现对所公开的实施例的其他变型。

[0088] 在权利要求中,“包括”一词不排除其他元件或步骤,不定冠词“一”或“一个”不排除复数。

[0089] 单个单元或设备可以实现权利要求中记载的若干项功能。仅仅记载在相互不同的从属权利要求中的某些措施并不意味着这些措施的组合不能被有利地使用。

[0090] 由一个或若干单元或设备执行的操作(如确定探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的、探测脉冲信号的计数、非堆积数量的校正,特别是非堆积数量分布的校正等等)能够由任何其他数量的单元或设备来执行。根据成像方法对成像装置的这些操作和/或控制,和/或根据探测方法对探测装置的控制能够被具体实现为计算机程序的程序代码模块和/或专用硬件。

[0091] 计算机程序可以被存储/分布在连同其他硬件或作为其他硬件的部分提供的适当的介质上,诸如,光学存储介质或固态介质,但也可以其他形式分布,诸如经由因特网或其他有线或无线通信系统。

[0092] 在权利要求书中的任何附图标记不应被解释为限制其范围。

[0093] 本发明涉及一种用于探测光子的探测装置。所述探测装置包括堆积确定单元,其用于确定指示探测到的光子的探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的,其中,探测值生成单元根据探测信号脉冲并且根据对相应探测信号脉冲是由堆积事件还是由非堆积事件引起的确定结果来生成探测值。具体地,探测值生成单元能够适于在生成探测值时排除由堆积事件引起的探测信号脉冲。这允许所生成的探测值的改善的质量。

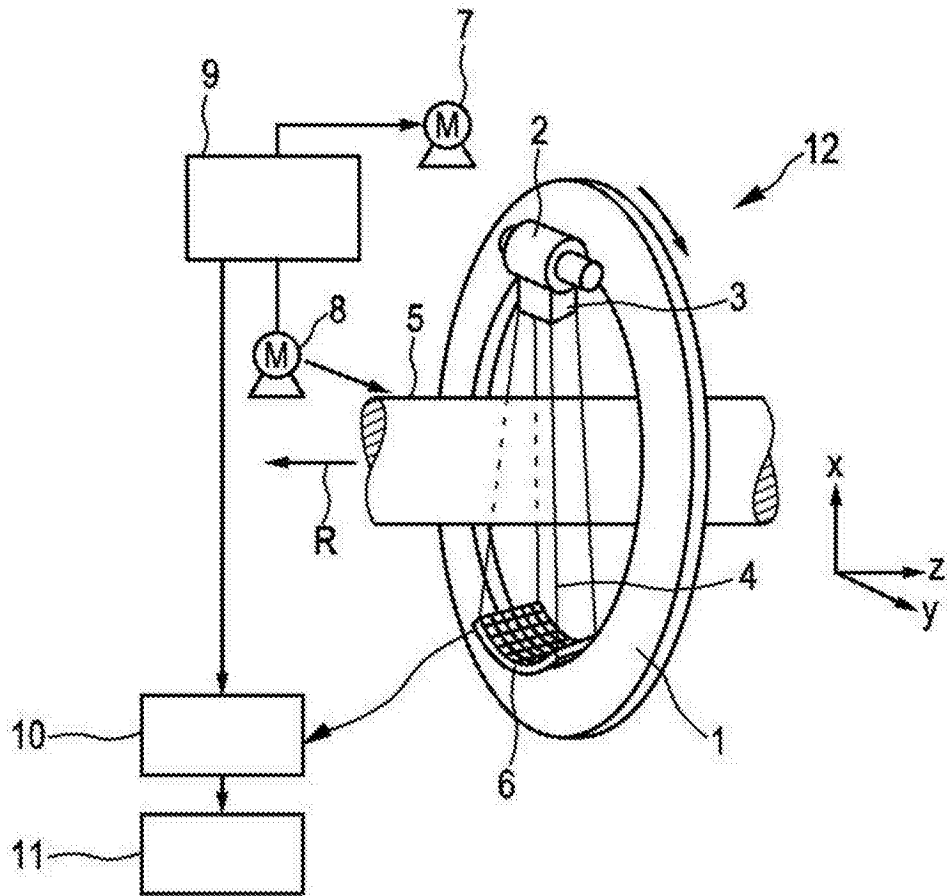


图1

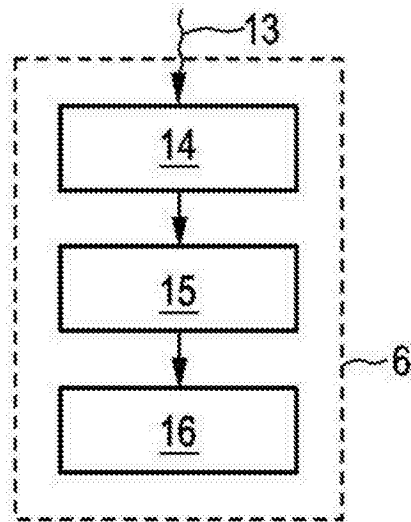


图2

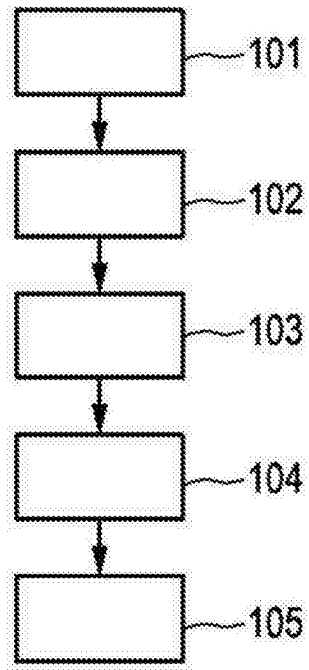


图3