



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103262124 B

(45)授权公告日 2016. 11. 09

(21)申请号 201180060794.5

(22)申请日 2011.12.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103262124 A

(43)申请公布日 2013.08.21

(30)优先权数据
10195738.9 2010.12.17 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.06.17

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2011/055689 2011.12.15

(87)PCT国际申请的公布数据
W02012/080971 EN 2012.06.21

(73)专利权人 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 R·普罗克绍 B·J·布伦德尔
D·T·克勒

(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.

G06T 11/00(2006.01)

(56)对比文件

US 2003/0156684 A1,2003.08.21,摘要,说明书第[0080]-[0238]段,说明书附图1A,1B,10A-10F.

US 2005/0089136 A1,2005.04.28,全文.

CN 101320475 A,2008.12.10,全文.

US 2003/0156684 A1,2003.08.21,摘要,说明书第[0080]-[0238]段,说明书附图1A,1B,10A-10F.

Frederick Kelcz等.Noise considerations in dual energy CT scanning.《Medical Physics》.1979,第6卷(第5期),第418-425页.

审查员 徐晓艳

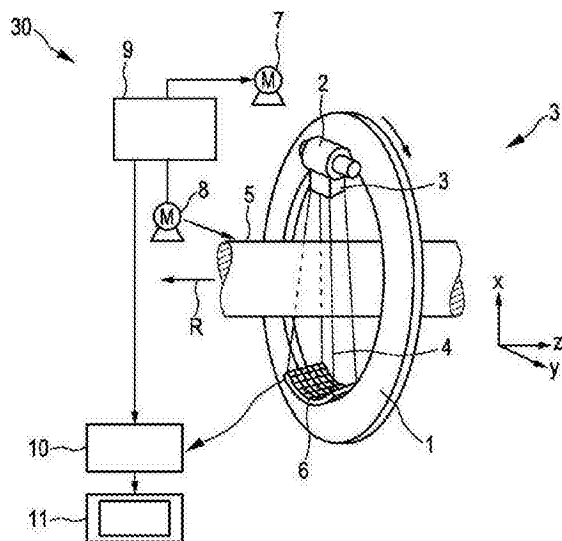
权利要求书2页 说明书10页 附图1页

(54)发明名称

用于对感兴趣区域成像的成像系统

(57)摘要

由成像系统(30)采集的探测值的噪声取决于感兴趣区域中将被成像的不同组分的贡献,辐射(4)穿过所述不同组分以产生分别的采集探测值。当迭代地重建所述感兴趣区域的图像时考虑这种依赖关系,其中,确定与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应的第一组分衰减,以及与所述感兴趣区域中的第二组分的元素对应的第二组分衰减,其中,从所述第一组分衰减和所述第二组分衰减确定噪声值,并且其中,使用所述噪声值来更新所述图像。考虑在所述不同组分上的采集探测值的噪声的所述依赖关系改进了所述迭代地重建的图像的质量。



1. 一种用于对感兴趣区域成像的成像系统,所述成像系统(30)包括:

-探测值提供单元(31),其用于提供所述感兴趣区域的采集的探测值,其中,所述感兴趣区域包括至少两个组分,其中,所述探测值是通过以下所采集的:相对于彼此移动发射辐射(4)的辐射源(2)和所述感兴趣区域并且探测指示当所述辐射源(2)和所述感兴趣区域相对于彼此移动时穿过所述感兴趣区域之后的所述辐射(4)的所述探测值;

-重建单元(10),其用于通过执行若干迭代步骤迭代地重建所述感兴趣区域的最终图像,在所述若干迭代步骤中基于所述采集的探测值和指示所述探测值的噪声的噪声值更新中间图像,其中,所述重建单元(10)适于:

-确定第一组分衰减值和第二组分衰减值,其中,所述第一组分衰减值与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应,并且其中,所述第二组分衰减值与所述感兴趣区域中的第二组分的元素相对应;

-从所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值确定所述噪声值,

其中,所述重建单元(10)适于针对每个采集的探测值确定相应的第一组分衰减值和相应的第二组分衰减值之间的比率,并且适于根据所述比率确定所述噪声值。

2. 如权利要求1所述的成像系统,其中,所述重建单元(10)适于基于所确定的第一组分衰减值和所确定的第二组分衰减值针对射束硬化修正所述采集的探测值。

3. 如权利要求1所述的成像系统,其中,所述噪声值是所述探测值的方差。

4. 如权利要求1所述的成像系统,其中,根据由所述辐射源(2)发射的所述辐射(4)的能量谱确定所述噪声值。

5. 如权利要求1所述的成像系统,其中,所述重建单元(10)适于通过以下确定所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值:

-从所述中间图像确定第一组部分和第二组部分,其中,所述第一组部分示出所述感兴趣区域中的所述第一组分的元素,并且其中,所述第二组部分示出所述感兴趣区域中的所述第二组分的元素;

-通过模拟通过所述第一组部分的前向投影确定所述第一组分衰减值,并且通过模拟通过所述第二组部分的前向投影确定所述第二组分衰减值。

6. 如权利要求5所述的成像系统,其中,所述第一组部分形成第一组分图像,并且所述第二组部分形成第二组分图像,并且其中,所述重建单元(10)适于通过模拟通过所述第一组分图像的前向投影确定所述第一组分衰减值,并且通过模拟通过所述第二组分图像的前向投影确定所述第二组分衰减值。

7. 如权利要求1所述的成像系统,其中,所述探测值提供单元(31)适于提供能量依赖的采集的探测值,并且其中,所述重建单元(10)适于通过对所述能量依赖的采集的探测值应用基础组分分解法来确定所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值。

8. 如权利要求7所述的成像系统,其中,所述能量依赖的采集的探测值与多个能量分箱相对应,并且其中,所述重建单元(10)适于通过使用将采集的探测值描述为第一贡献和第二贡献的组的所述采集的探测值的模型,针对多个能量依赖的采集的探测值的联立方程求解,来应用所述基础组分分解,所述第一贡献取决于由所述第一组分引起的第一能量依赖的衰减,所述第二贡献取决于由所述第二组分引起的第二能量依赖的衰减。

9. 如权利要求1所述的成像系统,其中,所述第一组分衰减值与骨元素相对应,并且所

述第二组分衰减值与软组织元素相对应。

10. 一种用于对感兴趣区域成像的成像方法,所述成像方法包括:

-通过执行若干迭代步骤迭代地重建所述感兴趣区域的最终图像,在所述若干迭代步骤中基于所述感兴趣区域的采集的探测值和指示所述探测值的噪声的噪声值更新中间图像,其中,所述感兴趣区域包括至少两个组分,其中,所述探测值是通过以下采集到的:相对于彼此移动发射辐射的辐射源和所述感兴趣区域并且探测指示当所述辐射源和所述感兴趣区域相对于彼此移动时穿过所述感兴趣区域之后的辐射的所述探测值,其中,确定第一组分衰减值和第二组分衰减值,其中,所述第一组分衰减值与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应,并且其中,所述第二组分衰减值与所述感兴趣区域中的第二组分的元素相对应;其中,从所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值确定所述噪声值,其中,针对每个采集的探测值确定相应的第一组分衰减值和相应的第二组分衰减值之间的比率,并且适于根据所述比率确定所述噪声值。

11. 一种用于对感兴趣区域成像的成像装置,所述成像装置包括:

-用于通过执行若干迭代步骤迭代地重建所述感兴趣区域的最终图像,在所述若干迭代步骤中基于所述感兴趣区域的采集的探测值和指示所述探测值的噪声的噪声值更新中间图像的单元,其中,所述感兴趣区域包括至少两个组分,其中,所述探测值是通过以下采集到的:相对于彼此移动发射辐射的辐射源和所述感兴趣区域并且探测指示当所述辐射源和所述感兴趣区域相对于彼此移动时穿过所述感兴趣区域之后的辐射的所述探测值,其中,确定第一组分衰减值和第二组分衰减值,其中,所述第一组分衰减值与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应,并且其中,所述第二组分衰减值与所述感兴趣区域中的第二组分的元素相对应;其中,从所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值确定所述噪声值,其中,针对每个采集的探测值确定相应的第一组分衰减值和相应的第二组分衰减值之间的比率,并且适于根据所述比率确定所述噪声值。

用于对感兴趣区域成像的成像系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种成像系统、一种成像方法和一种用于对感兴趣区域成像的成像计算机程序。

背景技术

[0002] US 2003/0156684 A1公开了一种图像重建器装置,其用于从多个具有能量多样性的透射测量统计地重建图像。所述装置包括:用于提供多个具有能量多样性的透射测量的设备,以及用于通过算法处理所述测量的设备,所述算法基于统计模型考虑所述能量多样性以获得至少一个具有降低噪声的最终组分图像。

[0003] H.Erdogan和J.A.Fessler的文章“Ordered subsets algorithms for transmission tomography”,Physics in Medicine and Biology,44(11),November 1999,公开了一种用于从通过使用计算机断层摄影系统采集的探测值迭代地重建图像的迭代重建方法。在迭代步骤中,通过当前图像执行前向投影以生成模拟探测值,确定所述模拟探测值和所采集的探测值之间的差异,并且使用噪声模型从所述差异中计算更新,所述更新接着后向投影来更新所述当前图像。执行若干这些迭代步骤,直到满足终止条件。尽管通过使用噪声模型计算所述更新,但是仍然降低了所述重建图像的质量。

发明内容

[0004] 本发明的目标在于提供一种成像系统、一种成像方法和一种用于对感兴趣区域成像的成像计算机程序,其中,可以改进迭代地重建的图像的质量。

[0005] 在本发明的第一个方面中,提出了一种用于对感兴趣区域成像的成像系统,其中,所述成像系统包括:

[0006] -探测值提供单元,其用于提供所述感兴趣区域的采集探测值,其中,所述感兴趣区域包括至少两个组分,其中,所述探测值已通过相对于彼此移动发射辐射的辐射源和所述感兴趣区域并且通过探测所述探测值采集,所述探测值指示当所述辐射源和所述感兴趣区域相对于彼此移动时穿过所述感兴趣区域后的辐射;

[0007] -重建单元,其用于通过执行若干迭代步骤迭代地重建所述感兴趣区域的最终图像,在所述迭代步骤中基于所述采集探测值和指示所述探测值噪声的噪声值更新中间图像,其中,所述重建单元适于:

[0008] -确定第一组分衰减值和第二组分衰减值,其中,所述第一组分衰减值与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应,并且其中,所述第二组分衰减值与所述感兴趣区域中的第二组分的元素对应;

[0009] -从所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值确定所述噪声值。

[0010] 采集探测值的所述噪声可以依赖于不同组分的贡献,所述辐射穿过所述不同组分产生分别的采集探测值。在确定第一组分衰减值和第二组分衰减值的情况下,并且在从所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值确定用于更新所述各自中间图像的噪声值的情

况下,可以在迭代地重建所述感兴趣区域的图像时考虑这种依赖关系,其中,所述第一组分衰减值与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应,并且其中,所述第二组分衰减值与所述感兴趣区域中的第二组分的元素对应。这样考虑在所述不同组分上采集探测值的噪声的所述依赖关系,改进了所述迭代重建图像的质量,所述辐射穿过所述不同组分来产生分别的采集探测值。

[0011] 所述感兴趣区域可以包括两个以上的组分,并且所述重建单元可以适于确定两个以上组分衰减值,其中,在这种情况下从所述两种以上的组分衰减值确定所述噪声值。所述不同组分可以是不同的如骨和软组织的基础材料,并且/或者他们可涉及不同的物理效应,如光电效应、康普顿效应、K边效应等等。

[0012] 由所述辐射源发射的所述辐射优选地是多色辐射,所述多色辐射的较低能量比较高能量被所述感兴趣区域内的所述组分更加强烈地衰减。这导致所谓的辐射的射束硬化,所述射束硬化限制了所述采集探测值的质量,并且因而,限制了通过使用所述采集探测值迭代地重建的图像的质量。因此优选地,所述重建单元适于基于所确定的第一组分衰减值和所确定的第二组分衰减值针对射束硬化修正所述采集探测值。这样的针对射束硬化的修正进一步改进了所述迭代地重建的图像的质量。

[0013] 所述噪声值的所述确定可以在所述迭代重建开始之前执行,或者在所述迭代重建期间在一个、若干个或所有迭代步骤中执行。所述采集探测值的所述射束硬化修正也可以在所述迭代重建开始之前执行,或者在所述迭代重建期间在一个、若干个或所有迭代步骤中执行。

[0014] 所述探测值提供单元可以是已经存储了采集探测值的存储单元,或者所述探测值提供单元可以是探测值采集单元,如X射线计算机断层摄影系统、X射线C型臂系统、诸如正电子发射断层摄影系统或单光子发射计算机断层摄影的核成像系统等的采集单元。

[0015] 所述重建单元可以适于在迭代步骤中执行:通过所述中间图像的前向投影以生成吸收值的模拟线积分;从分别的采集探测值确定的吸收值的线积分和吸收值的所述模拟线积分的相减;通过使用所述噪声值从差异计算更新并且计算所述更新的后向投影,以更新所述中间图像,其中,执行若干这些迭代步骤中直到满足终止条件,具体而言,直到吸收值的所述模拟线积分和从所述采集探测值确定的吸收值的所述线积分之间的差异或者当前的中间图像和之前的中间图像之间的差异低于预先定义的阈值。优选地,在每个迭代步骤中使用射束硬化修正的采集投影数据。

[0016] 所述噪声值优选地是所述采集探测值的方差。这允许在更新所述中间图像时非常有效地考虑所述噪声。

[0017] 优选的是,根据由所述辐射源发射的所述辐射的所述能量谱确定所述噪声值。根据由所述辐射源发射的所述辐射的能量谱确定噪声值,改进了所述噪声值的质量,并且因此改进了在迭代地重建所述图像时所述噪声的考虑。这继而进一步改进了所述迭代地重建的图像的质量。

[0018] 更优选的是,所述重建单元适于针对每个采集探测值确定一个在相应的第一组分衰减值和相应的第二组分衰减值之间的比率,并且适于基于所述比率确定所述噪声值。如果采集探测值、第一组分衰减值和第二组分衰减值全都属于相同的射线路径,那么它们相互对应。根据相应的第一组分衰减值和相应的第二组分衰减值之间的比率确定所述噪声

值,允许以一种相对简单的方法确定高质量的噪声值。

[0019] 优选的是,所述重建单元适于确定所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值,通过:

[0020] -从中间图像确定第一组分部分和第二组分部分,其中,所述第一组分部分显示所述感兴趣区域中的所述第一组分的元素,并且其中,所述第二组分部分显示所述感兴趣区域中的所述第二组分的元素;

[0021] -通过模拟通过所述第一组分部分的前向投影确定所述第一组分衰减值,并且通过模拟通过所述第二组分部分的前向投影确定所述第二组分衰减值。更优选的是,所述第一组分部分形成第一组分图像,并且所述第二组分部分形成第二组分图像,其中,所述重建单元适于模拟通过所述第一组分图像的前向投影确定所述第一组分衰减值,并且适于通过模拟通过所述第二组分图像的前向投影确定所述第二组分衰减值。所述中间图像包括如体素或像素的图像元素。单个图像元素可包括单个组分部分或者单个图像元素可包括第一组分部分和第二组分部分。如果,例如,图像元素具有500Hounsfield单位(HU)的图像值,并且如果已知在所述感兴趣区域中存在对应于0HU的第一组分和对应于1000HU的第二组分,那么可以认为所述图像元素表示50%的所述第一组分和50%的所述第二组分。

[0022] 在实施例中,所述第一组分部分可以是所述中间图像的高衰减部分并且所述第二组分部分可以是所述中间图像的低衰减部分,其中,所述高衰减部分示出所述感兴趣区域中具有对所述辐射较大吸收的元素,并且其中,所述低衰减部分示出所述感兴趣区域中具有对所述辐射较小吸收的元素。所述高衰减部分和所述低衰减部分可以,例如通过阈值处理确定,其中,与低于所述阈值的辐射吸收相对应的图像值被认为是低衰减部分的图像值,并且其中,与大于所述阈值的辐射吸收相对应的图像值被认为是高衰减部分的图像值。这允许相对简单地通过阈值处理和前向投影确定第一组分衰减值和第二组分衰减值。

[0023] 还优选的是,所述探测值提供单元适于提供能量依赖的采集探测值,其中,所述重建单元适于通过对所述能量依赖的采集探测值应用基础组分分解法来确定所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值。在优选的实施例中,所述能量依赖的探测值与多个能量分箱(energy bin)相对应,其中,所述重建单元适于通过使用将采集探测值描述为第一贡献和第二贡献的组的采集探测值的模型,针对所述多个能量依赖的探测值的联立方程求解,从而应用所述基础组件分解,所述第一贡献依赖于由所述第一组分引起的第一能量依赖的衰减,所述第二贡献依赖于由所述第二组分引起的第二能量依赖的衰减。

[0024] 所述感兴趣区域中具有较大辐射吸收的元素可以被定义为例如具有大于预先定义的阈值的吸收,并且所述感兴趣区域中具有较小辐射吸收的元素可以被定义为具有小于预先定义的阈值的吸收。例如,可定义所述预先定义的阈值,使得在人或动物的部分出现在所述感兴趣区域中的情况下,在所述感兴趣区域中具有较小吸收的元素与软组织相对应,并且在所述感兴趣区域中具有较大吸收的元素与可能出现在所述感兴趣区域中的例如骨、金属或诸如碘的造影剂相对应。因此所述第一组分衰减值优选地与例如骨元素相对应,并且因此所述第二组分衰减值优选地与例如软组织元素相对应。

[0025] 在确定两种以上组分衰减值的情况下,每种组分衰减值与所述感兴趣区域中具有对所述辐射在一定吸收范围内的特定吸收光谱的组分相对应,其中,在这种情况下,优选地根据所述几种组分衰减值确定所述噪声值,例如,根据高衰减探测值、中间衰减探测值和低

衰减探测值,其中,所述高衰减探测值与所述感兴趣区域中具有较大辐射吸收的元素相对应,所述中间衰减探测值与所述感兴趣区域中具有中间辐射吸收的元素相对应,并且,所述低衰减探测值与所述感兴趣区域中具有较小辐射吸收的元素相对应。在这种情况下,也优选地根据所述若干种组分衰减值得执行所述射束硬化。这样可进一步改进所述迭代地重建的图像的质量。

[0026] 在本发明的又一方面中,提出了一种用于对感兴趣区域成像的成像方法,其中,所述成像方法包括:

[0027] -提供所述感兴趣区域的采集探测值,其中,所述感兴趣区域包括至少两个组分,其中,所述探测值已通过相对于彼此移动发射辐射的辐射源和所述感兴趣区域并且通过探测所述探测值采集,所述探测值指示当所述辐射源和所述感兴趣区域相对于彼此移动时穿过所述感兴趣区域之后的辐射;

[0028] -通过执行若干迭代步骤迭代地重建所述感兴趣区域的最终图像,在所述迭代步骤中,基于所述采集探测值和指示所述探测值噪声的噪声值更新中间图像;其中,确定第一组分衰减值和第二组分衰减值,其中,所述第一组分衰减值与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应,并且其中,所述第二组分衰减值与所述感兴趣区域中的第二组分的元素相对应;其中,从所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值确定所述噪声值。

[0029] 在本发明的又一方面中,提出了一种用于对感兴趣区域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,当所述计算机程序在控制所述成像系统的计算机上运行时,所述程序代码模块令如权利要求1所述的成像系统执行如权利要求10所述的成像方法的步骤。

[0030] 应该理解,如权利要求1所述的成像系统,如权利要求10所述的成像方法和如权利要求11所述的成像装置具有相似和/或相同的优选实施例,如从属权利要求中所定义。

[0031] 应该理解,本发明的优选实施例也可以是伴随各自的独立权利要求的从属权利要求的任意组合。

附图说明

[0032] 在附图中:

[0033] 图1图解地和示范性地图示了用于对感兴趣区域成像的成像系统的实施例;

[0034] 图2示出的流程图示范性地图示了用于对感兴趣区域成像的成像方法的实施例;

[0035] 图3示出的流程图示范性地图示了迭代步骤的若干步骤。

具体实施方式

[0036] 图1图解地和示范性地图示了用于对感兴趣区域成像的成像系统,所述成像系统是计算机断层摄影系统30。所述计算机断层摄影系统包括能够沿着平行于z方向延伸的旋转轴R旋转的机架1。辐射源2,在本实施例中是X射线管,安装在所述机架1上。所述辐射源2提供有准直器3,在该实施例中,所述准直器3从由所述辐射源2生成的所述辐射4形成圆锥形的辐射束。所述辐射穿过包括对象或对象的部分的感兴趣区域。所述对象是,例如,人、动物或技术对象。所述感兴趣区域定位于检查区域5中,所述检查区域5在该实施例中是圆柱形的。所述辐射束在穿过所述检查区域5之后,入射到包括二维探测表面的探测设备6上。所

述探测设备6安装在所述机架1上。

[0037] 所述计算机断层摄影系统包括两个电机7、8。所述电机7优选地以恒定但是可调节的角速度驱动所述机架1。提供所述电机8用于通过平行于所述旋转轴R或者所述z轴的方向移位所述对象(例如,在所述检查区域5中安排在患者台上的人)来移位所述感兴趣区域。这些电机7、8由(例如)控制单元9控制,使得所述辐射源3和所述检查区域5和因此在所述检查区域5中的所述感兴趣区域沿螺旋轨道相对于彼此移动。然而,也可能的是,沿着其他轨道执行所述相对移动。例如,也可能的是,不移动所述对象或所述检查区域5,而只旋转所述辐射源,如,所述辐射源相对于所述对象和所述检查区域5沿环形轨道移动。此外,在另一实施例中,所述准直器3可以适于形成另一射束形状,特别是形成扇形射束,并且所述探测设备6可包括具有与所述其他射束形状相对应的(特别是与扇形射束相对应的)探测表面。

[0038] 在所述辐射源2和所述检查区域5并且因此所述感兴趣区域的相对移动期间,所述探测设备6根据入射到所述探测设备6的所述探测表面上的辐射生成采集探测值。因此,所述辐射源2、用于相对于所述感兴趣区域移动所述辐射源2的元件,具体而言,所述电机7、8和所述机架1,和所述探测设备6形成用于提供所述感兴趣区域的采集探测值的探测值提供单元31。

[0039] 为重建单元10提供所述采集探测值以迭代地重建所述感兴趣区域的最终图像。所述重建单元10也优选地由所述控制单元9控制。所述重建单元10适于通过执行若干迭代步骤迭代地重建所述感兴趣区域的包括所述对象的至少两个组分的最终图像,在所述迭代步骤中基于所述采集探测值和指示所述采集探测值噪声的噪声值来更新中间图像。所述噪声值从也由所述重建单元10确定的第一组分衰减值和第二组分衰减值确定。所述第一组分衰减值与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应,并且所述第二组分衰减值与所述感兴趣区域中的第二组分的元素相对应。在该实施例中,所述第一组分衰减值是高衰减探测值,所述高衰减探测值与所述感兴趣区域中具有所述辐射4较大吸收的元素对应,并且所述第二组分衰减值与低衰减探测值相对应,所述低衰减探测值与所述感兴趣区域中具有较小吸收的元素相对应。此外,在该实施例中,所述噪声值是所述采集探测值的方差,并且所述重建单元10适于基于所确定的第一组分衰减值和所确定的第二组分衰减值针对射束硬化修正所述采集探测值。所述重建单元10更优选地适于不止根据所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值,而且根据由所述辐射源2发射出的所述辐射4的能量谱来确定所述噪声值。

[0040] 在该实施例中,所述重建单元10适于在迭代步骤中执行:通过所述中间图像的前向投影以生成吸收值的模拟线积分;从分别的采集探测值确定的吸收值的线积分和吸收值的模拟线积分的相减;通过使用所述噪声值从差异计算更新并且计算所述更新的后向投影,以更新所述中间图像,其中,执行若干这些迭代步骤直到满足终止条件,具体而言,直到吸收值的所述模拟线积分和从所述采集探测值确定的吸收值的所述线积分之间的差异或者当前的中间图像和之前的中间图像之间的差异低于预先定义的阈值。最初,所述中间图像可以是,例如,具有将零值作为图像值的图像。所述重建单元10更优选地适于在至少一个所述迭代步骤中执行射束硬化修正来修正所述采集探测值,其中,所修正的采集探测值用在各自的迭代步骤中并且也用在之后的迭代步骤中来更新所述中间图像。

[0041] 所述重建单元10优选地适于确定所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值,通过i)从所述中间图像确定高衰减部分和低衰减部分,其中,所述高衰减部分示出所述感兴

趣区域中具有对所述辐射较大吸收的元素,并且其中,所述低衰减部分示出所述感兴趣区域中具有对所述辐射较小吸收的元素;并且ii)通过模拟穿过所述高衰减部分的前向投影确定所述第一组分衰减值,以及通过模拟穿过所述低衰减部分的前向投影确定所述第二组分衰减值。在该实施例中,所述感兴趣区域中具有所述辐射4的较大吸收的元素被定义为具有比预先定义的阈值大的吸收,并且所述感兴趣区域中具有所述辐射4的较低吸收的元素被定义为具有比预先定义的阈值小的吸收。在该范例中,选择所述阈值,使得所述感兴趣区域中具有大于所述阈值的吸收的元素代表可能出现在所述感兴趣区域中的骨、金属和/或造影剂,并且所述感兴趣区域中具有低于所述阈值的吸收的元素代表软组织。具体而言,通过阈值处理确定形成高衰减图像的高衰减部分和形成低衰减图像的低衰减部分,其中,如果出现在所述感兴趣内的话,所述高衰减图像示出骨、金属和/或造影剂,所述低衰减图像示出软组织。接着可以通过模拟穿过所述高衰减图像的前向投影来确定所述第一组分衰减值,并且可以通过模拟穿过所述低衰减图像的前向投影来确定所述第二组分衰减值。因此所述第一组分衰减值优选地与(例如)骨、金属和/或造影剂元素相对应,并且因此所述第二组分衰减值优选地与(例如)软组织元素相对应。

[0042] 所述重建单元10也可适于用另一方法确定第一组分衰减值和第二组分衰减值,特别是,在所述探测值提供单元31适于提供能量依赖的采集探测值的情况下。为提供能量依赖的探测值,所述探测值提供单元的所述辐射源优选地是多色辐射源并且所述探测值提供单元的探测设备优选地是能量分辨探测设备。

[0043] 能量分辨探测设备根据(例如)在特定能量分箱中计数所述入射光子和输出显示每个能量光子数目的信号的原理工作。例如,Llopart,X.等人的文章“First test measurements of a 64k pixel readout chip wordkin in a single photon counting mode”,Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,Section A,Volume 509,Issue 1-3,Pages 157-163(2003),和Llopart,X.等人的文章“Medipix2:A 64-k pixel readout chip with 55mum square elements working in a single photon counting mode”,IEEE Transactions on Nuclear Science,Volume 49,Issue 5,Pages 2279-2283(2000)中描述了这样的能量分辨探测设备,在此通过引用将其并入。

[0044] 所述重建单元10可以适于通过应用基础组分分解法确定所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值,所述基础组分分解法在该实施例中是针对所述能量依赖采集探测值的基础材料分解法,其中,第一基础材料如骨、金属或造影剂包括对所述辐射的较大吸收,并且其中,第二基础材料如软组织包括对所述辐射的较小吸收。例如,所述能量依赖的探测值可与多个能量分箱相对应,其中,所述重建单元10可以适于通过使用将探测值描述为第一贡献和第二贡献的组别的所述探测值的模型,对针对所述多个能量依赖的探测值的联立方程求解,从而应用所述基础组分分解,所述第一贡献由所述第一基础材料取决于第一能量依赖的衰减,所述第二贡献由所述第二基础材料取决于第二能量依赖的衰减。具体而言,所述重建单元10可以适于求解以下联立方程:

$$[0045] \quad S_i = \int dE \varphi(E) \delta_i(E) \exp(-\sum_{j=1}^N A_j f_j(E)) \quad (1)$$

[0046] 其中, S_i 表示第*i*个能量分箱的探测值, $\varphi(E)$ 表示辐射在即将穿过所述成像对象前的光谱, $\delta_i(E)$ 表示第*i*个能量分箱的光谱灵敏度, N 表示基础材料的数目,例如对于骨和软组织*N*为二, A_j 表示材料*j*的线性衰减,并且 $f_j(E)$ 表示材料*j*的能量依赖的吸收。

[0047] 在所述能量分箱的数目至少等于所述基础材料的数目的情况下,可以用已知数值方法求解所述联立方程,其中,已知所述量 $\varphi(E)$ 、 $\delta_i(E)$ 和 $f_j(E)$,并且求解所述联立方程的结果是所述线性衰减 A_j 。辐射光谱 $\varphi(E)$ 和所述光谱灵敏度 $\delta_i(E)$ 具有所述成像系统的特性并且从例如相应的测量得知。述诸如骨和软组织的被建模材料的所述光谱吸收 $f_j(E)$ 也从测量得知和/或从文献得知。如果,例如,基础材料的数目是二,其中,例如是骨的第一基础材料相比例如是软组织的第二基础材料具有更大的吸收,所述线性衰减 A_1 表示所确定的第一组分衰减值并且所述线性衰减 A_2 表示所确定的第二组分衰减值。

[0048] 尽管在上述实施例中优选地确定两种探测值,例如,第一组分衰减值和第二组分衰减值,但是所述重建单元10也可以适于确定两种以上或两类以上的探测值。例如,可以确定若干不同类别的探测值,其中,每个类别与所述感兴趣区域中的元素相对应,所述元素具有在一定吸收范围内对所述辐射4的特定的吸收光谱。例如,可以确定第一组分衰减值、第二组分衰减值和第三组分衰减值,或者三个以上不同种类的探测值。具体而言,通过使用方程(1)可以确定N种探测值,其中,这些种类的探测值中的每一种都与某一基础材料对应。例如,可以针对软组织、骨、金属、诸如碘的造影剂或其他材料确定探测值。

[0049] 所述重建单元10优选地包括在a)第一组分衰减值、第二组分衰减值、由所述辐射源发射出的辐射的能量谱,和b)相应的采集探测值的方差之间的分配。该分配例如作为表格或函数存储在所述重建单元10中。通过对每个采集探测值使用所述分配,可以分配方差。所述分配可通过例如校准测量生成,其中,针对所述发射辐射的不同已知光谱和在所述射线中引起分别的采集探测值的所述第一组分和所述第二组分的不同已知比率,测量所述方差。也可能通过模拟测量或者通过使用(例如)泊松噪声模型计算所述分配来确定所述分配。优选地,所述分配根据相应的第一和第二组分衰减值的比率,并且在所述辐射源是X射线管的情况下,优选地根据所述辐射源的管电流和管电压的比率来分配分别的采集探测值的方差,其中,假定由所述X射线管发射的辐射的光谱由所述管电流和所述管电压定义。

[0050] 所述重建单元10还优选地包括射束硬化修正函数,通过对所采集的探测值应用所述射束硬化修正函数来将所采集的探测值非线性映射到修正的采集探测值。所述射束硬化修正函数优选地是多项式。优选地通过校准测量或校准模拟确定所述多项式的系数,其中,针对由所述辐射源发射辐射的不同光谱和所述感兴趣区域中的不同组分的不同吸收,测量或模拟探测值,并使用所述探测值重建示出射束硬化伪迹的所述感兴趣区域的图像,并且其中,调整所述多项式的所述系数,使得所述重建图像中的射束硬化伪迹减少,尤其是,使得在所述重建图像中所述射束硬化的伪迹消除。针对由所述辐射源发射的所述辐射的不同光谱以及与分别测量或模拟的探测值相对应的不同第一组分衰减值和第二组分衰减值,可以因此确定不同的射束硬化修正函数,使得对于采集探测值可以使用射束硬化修正函数,所述射束硬化修正函数被分配给相应的第一组分衰减值和第二组分衰减值,具体而言,这些相应组分衰减值的比率,并且分配给由所述辐射源发射的辐射的光谱。如上述已经提到的,因此,如果所述辐射源是X射线管,由所述X射线管发射的辐射的所述光谱由所述管电流和所述管电压定义,根据相应和第一组分衰减值和第二组分衰减值以及所述管电流和管电压提供所述射束硬化修正函数。

[0051] 所述重建单元10适于通过使用所述射束硬化修正函数针对射束硬化修正所采集的探测值,并且适于使用经修正的采集探测值连同所确定的探测值的方差,以迭代地重建

所述感兴趣区域的图像,具体而言,根据以下迭代方程:

$$[0052] \quad \mu_m^{n+1} = \mu_m^n + \frac{\sum_k a_{km} \frac{1}{\sigma_k^2} \left(-\log \frac{y_k}{b_k} - l_k^n \right)}{\sum_k a_{km} \frac{1}{\sigma_k^2} a_k}, \quad (2)$$

[0053] 其中, y_k 是在第*i*次测量中修正的探测值,即,修正的测量密度值; b_k 表示当所述对象未出现在所述成像系统的所述检查区域时修正的探测值,如修正的测量密度值; μ_m^n 表示在第*n*次迭代中所述中间图像的图像值; a_{km} 表示由*m*表示的图像元素和属于测量*k*的射线的交集; σ_k^2 表示分别的采集探测值的方差; l_k^n 表示在第*n*次迭代中与修正的采集探测值 y_k 相对应的吸收值的模拟前向投影线积分;并且 a_i 表示通过执行沿与第*i*次测量对应的射线穿过个体图像的前向投影模拟的吸收值的模拟线积分。

[0054] 根据方程(2)执行所述迭代直到满足终止条件,具体而言,直到当前的中间图像与之前的中间图像的差异低于预先定义的阈值。

[0055] 再次参考图1,优选地将所述迭代重建图像提供给显示单元11以显示所述图像。

[0056] 以下将根据图2中所示的流程图示范性地描述对感兴趣区域成像的成像方法的实施例。在步骤101中,提供所述感兴趣区域的采集探测值,其中,所述感兴趣区域包括至少两个组分,其中,通过相对于彼此移动发射辐射4的所述辐射源2和所述感兴趣区域并且通过探测所述探测值来采集所述探测值,所述探测值指示当所述辐射源和所述感兴趣区域相对于彼此移动时穿过所述感兴趣区域之后的辐射。在步骤102中,通过执行若干迭代步骤迭代地重建所述感兴趣区域的最终图像,在所述迭代步骤中基于所述采集探测值和指示所述探测值噪声的噪声值更新中间图像,并且在步骤103中,在所述显示单元11上显示所述最终图像。

[0057] 以下将根据图3中所示的流程图示范性地描述在迭代步骤期间执行的步骤。

[0058] 在步骤201中,确定第一组分衰减值和第二组分衰减值,其中,所述第一组分衰减值与所述感兴趣区域中的第一组分的元素对应,并且其中,所述第二组分衰减值与所述感兴趣区域中的第二组分的元素相对应。在步骤202中,对于每个采集探测值根据所述相应的第一组分衰减值、所述相应的第二组分衰减值以及可选地根据由所述辐射源发射的所述辐射的光谱确定噪声方差。在步骤203中,对所述采集探测值进行射束硬化修正,并且在步骤204中,所修正的采集探测值和所确定的噪声方差用于更新所中间图像,所述中间图像初始可以是,例如,零图像。执行所述中间图像的更新可以通过:为生成吸收值的模拟线积分穿过所述中间图像前向投影;确定从分别采集的修正探测值确定的吸收值的线积分和吸收值的模拟线积分之间的差异;基于所述差异和所述噪声方差计算更新;并且后向投影所述更新,具体而言,根据方程(2)。在迭代步骤中,当所述辐射源关于所述感兴趣区域移动时,针对每个辐射源位置优选地执行所述前向投影和所述后向投影,以在不同的角度方向执行所述前向投影和所述后向投影,已针对所述每个辐射位置采集所述探测值。在另一实施例中,也可以使用另一已知更新算法来更新所述中间图像。

[0059] 可在一个、若干个或所有迭代步骤中,或者在迭代开始前执行所采集的探测值的修正。如果未在所有的迭代步骤中执行所采集的探测值的射束硬化修正,对于未执行修正

的迭代步骤,省略以上所述步骤203。也可在所述迭代开始前,或者在一个、若干个或所有迭代步骤中执行所述噪声方差的确定。在未确定噪声方差的迭代步骤中,省略步骤202。

[0060] 如果所述辐射源发射多色X射线,所述X射线的低能量部分比高能量部分被更加强烈地吸收。称为射束硬化的这种效应对成像有影响。在“较硬的”射束中,组织的所述吸收较低。在计算机断层摄影图像中,非线性吸收导致所谓的射束硬化伪迹。已知的迭代重建技术受该效应的影响,并且额外地受采集探测值的感应不一致性和其在噪声特性上的影响。忽略来自所述探测设备本身的噪声成分,计算机断层摄影测量的所述噪声源于入射光子的统计学的泊松分布噪声。所述探测设备可执行能量加权,这意味着所述输出信号与

[0061] $\int dE EN(E)$, (3)

[0062] 成比例,其中, $N(E)$ 是能量 E 的光子数目。该探测器特征将所述噪声分布改变为所谓的复合泊松噪声,并且使所述噪声能量依赖。导致的结果是射束硬化影响所述采集探测值的噪声特性。通过使用以上描述的对成像区域成像的成像系统和成像方法,可以减少,尤其是可以消除这些射束硬化的影响。

[0063] 所述成像系统和所述成像方法为修正射束硬化和改进相关的噪声模型,优选地将射束硬化模型合并到所述迭代重建中。在所述迭代重建算法中可以一次或多次应用修正步骤。所述修正步骤可包括:i)从中间图像估计软组织图像和骨图像;ii)执行这些图像的前向投影;iii)使用估计的软组织吸收和骨吸收来估计针对测量数据(即,针对所述采集探测值)的射束硬化以及相关修正,并在进一步的迭代中应用对数据的该修正;并且iv)通过近似的软组织投影和骨投影估计改进的噪声模型。

[0064] 所述成像系统和成像方法可以应用于双能量或多能量计算机断层摄影扫描,其中,诸如造影剂图的额外的图像可以用于改进所述射束硬化效应的估计以及用于改进所述作为结果的修正。所述修正可扩展至碘或其他由双能量或多能量计算机断层摄影技术分开的材料。所述衰减值修正和改进的噪声模型的计算可基于理论模型或基于校准方法,在所述校准方法中扫描特定体模以导出参数化修正函数。具体而言,以上提到的公式可用于基于基础材料的线性衰减 A_j 预测所述射束硬化效应。所述修正可基于使用具有各种厚度的例如具有骨和软组织的体模的校准。如果扫描到这些体模的不同组合,简单的非线性射束硬化模型的参数,具体而言,可以估计多项式射束硬化模型的参数,并将其用于修正。与所述射束硬化修正类似,噪声的影响可以使用理论方法估计或基于校准测量。

[0065] 尽管在以上描述的实施例中所述成像是计算机断层摄影系统,但是所述成像系统也可以是使用探测值迭代地重建感兴趣区域图像的另一成像系统。例如,所述成像系统可以是X射线C型臂成像系统或者诸如单光子发射计算机断层摄影系统或者正电子发射断层摄影系统的核成像系统。

[0066] 尽管在以上描述的实施例中,所述不同组分是与诸如骨和软组织的不同基础材料相关的,例如,高衰减组分和低衰减组分,所述不同组分也可涉及不同物理效应,如光电效应、康普顿效应、K边效应等等。

[0067] 通过研究所述附图、公开和所附权利要求,本领域技术人员在实践要求保护的本发明时能够理解和实现所公开的实施例的其他变型。

[0068] 在权利要求中,词语“包括”不排除其他元素或步骤,并且不定冠词“一”不排除复数。

[0069] 单个单元或设备可能满足在权利要求中记载的若干项功能。在相互不同的从属权利要求中记载了特定措施这一仅有事实并不表示不能有利地使用这些措施的组合。

[0070] 由一个或若干个单元或设备执行的确定、修正、计算等,可以由任意其他数目的单元或设备执行。例如,步骤102和201至204可以由一个单元或由任意其他数目的不同单元执行。所述确定、修正和计算,和/或根据所述成像方法对成像系统的控制可以实现为计算机程序和/或专用硬件的程序代码模块。

[0071] 计算机程序可以存储/发布在与其它硬件一起提供或作为其他硬件的部分的合适的介质上,如光存储介质或固态介质,也可以其他形式发布,例如,通过因特网或其他有线或无线通信系统。

[0072] 权利要求中的任何附图标记均不应被解读为限制范围。

[0073] 由成像系统采集的探测值的噪声可以取决于在感兴趣区域中将被成像的不同组分的贡献,所述不同组分被所述辐射穿过以产生分别的采集探测值。当迭代地重建所述感兴趣区域的图像时考虑这种依赖关系,其中,确定与所述感兴趣区域中的第一组分的元素相对应的第一组分衰减值,以及与所述感兴趣区域中的第二组分的元素相对应的第二组分衰减值,其中,从所述第一组分衰减值和所述第二组分衰减值确定噪声值,并且其中,使用所述噪声值来更新所述图像。考虑在所述不同组分上采集探测值的所述噪声的依赖关系改进了所述迭代重建图像的质量。

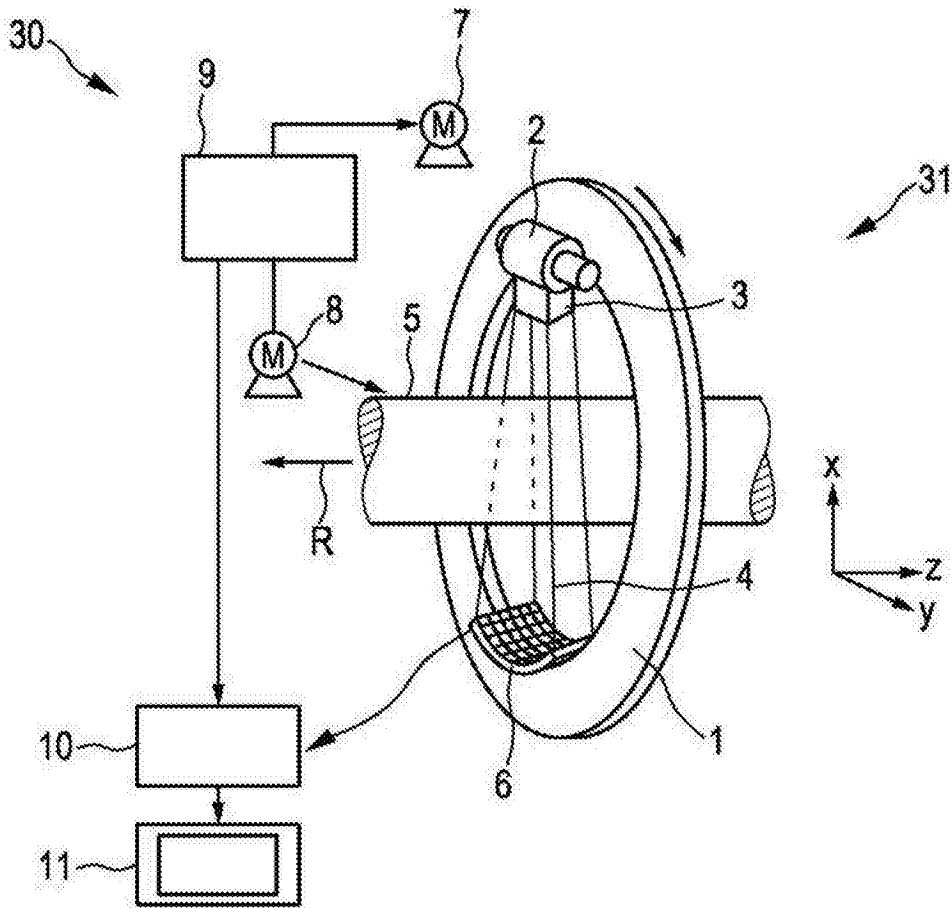


图1

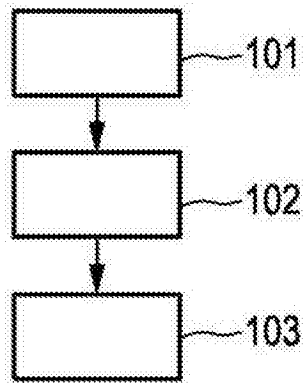


图2

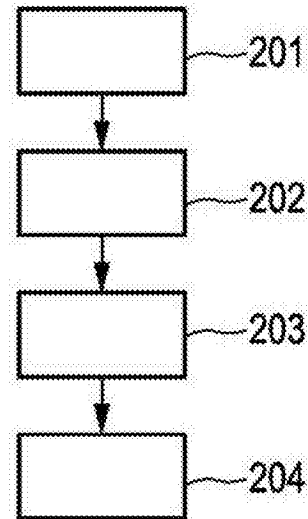


图3