



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103400401 B

(45)授权公告日 2017. 04. 12

(21)申请号 201310233382.8

G06T 5/00(2006.01)

(22)申请日 2007.06.22

A61B 6/03(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103400401 A

(43)申请公布日 2013.11.20

(30)优先权数据

11/472,572 2006.06.22 US

(62)分案原申请数据

200780023458.7 2007.06.22

(73)专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

专利权人 诺特戴姆杜拉大学

珀杜研究基金会

(72)发明人 吉昂·西

琼·巴普蒂斯·蒂鲍尔特

肯·D.索尔 查尔斯·A.鲍曼

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 封新琴

(51)Int. Cl.

G06T 11/00(2006.01)

(56)对比文件

US 5907594 A, 1999.05.25,

US 6507633 B1, 2003.01.14,

US 6768782 B1, 2004.07.27,

Jeffrey A. Fessler. Analytical

Approach to Regularization Design for

Isotropic Spatial Resolution.《2003 IEEE

Nuclear Science Symposium Conference

Record》.2003,第3卷全文.

(续)

审查员 马晋涛

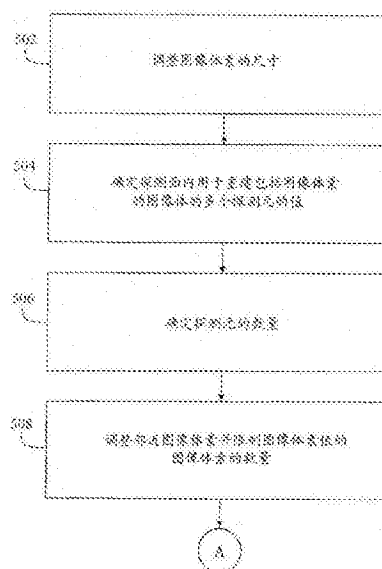
权利要求书4页 说明书16页 附图4页

(54)发明名称

改善图像分辨率的系统和方法

(57)摘要

本发明描述了一种断层摄影成像系统中重建图像的方法。该方法包括通过迭代重建图像改善图像的空间分辨率。



[接上页]

(56)对比文件

Ronald J. Jaszcak et al.SINGLE
PHOTON EMISSION COMPUTED TOMOGRAPHY USING
MULTI-SLICE FAN BEAM.《IEEE Transactions
on Nuclear Science》.1979,第NS-26卷(第1
期),全文.

Patrick J. La Rivière.Reduction of
noise-induced streak artifacts in x-ray
computed tomography through penalized-
likelihood sinogram smoothing.《2003 IEEE
Nuclear Science Symposium Conference
Record》.2003,第5卷全文.

1. 一种使用断层摄影成像系统重建图像的方法,所述方法包括:
生成图像第一估计值;
在生成图像第一估计值之后,生成图像第二估计值;
比较实际投影数据和图像第二估计值的预期投影数据;
使用所述比较调整所述第一估计值;
生成对应于断层摄影成像系统的真实X射线源的虚拟X射线源;
生成包括多个对应于所述断层摄影成像系统的真实X射线探测器阵列的虚拟探测元的虚拟X射线探测面,所述真实X射线探测器阵列包括多个虚拟探测元所对应于的多个探测器单元;
使用虚拟X射线源和虚拟X射线探测器确定包括表示图像体素的X射线密度的值的图像体数据;
赋予实际投影数据的第一部分和第一正投影函数第一权重,其中实际投影数据的第一部分和第一正投影函数是当虚拟X射线源处于第一位置时所生成的并用于重建图像体素;
赋予实际投影数据的第二部分和第二正投影函数第二权重,其中实际投影数据的第二部分和第二正投影函数是当虚拟X射线源处于第二位置时所生成的并用于重建图像体素,所述第二权重小于所述第一权重,且所述第一位置比所述第二位置更接近所述图像体素;
使用图像体数据调整所述第一估计值;和
基于图像的经调整的第一估计值输出图像,所述输出图像的分辨率高于所述第一估计值的分辨率。
2. 权利要求1所述的方法,还包括使用一系列图像的后来的估计值迭代调整所述第一估计值。
3. 权利要求2所述的方法,其中迭代调整所述第一估计值还包括用现有的估计值替代先前的估计值以确定之后的估计值。
4. 权利要求1所述的方法,其中使用图像体数据调整第一估计值还包括使用图像体数据的函数调整第一估计值,其中所述函数使用实际投影数据,正投影函数,正则化函数,和失真量度中的至少一个来调整所述第一估计值。
5. 权利要求4所述的方法,其中使用图像体数据的函数还包括使用 $\hat{f}(r) = \operatorname{argmin}\{D(p-F(r))+U(r)\}$ 作为函数,其中 $\hat{f}(r)$ 是调整的第一估计值, r 是图像体数据, D 是失真量度, p 是实际投影数据, $F(r)$ 是正投影函数,以及 $U(r)$ 是正则化函数。
6. 权利要求5所述的方法,还包括,当一系列估计值用于调整所述第一估计值时,用来自前一次迭代的 $\hat{f}(r)$ 替代本次迭代中的 r 以确定之后的 $\hat{f}(r)$ 。
7. 权利要求4所述的方法,还包括使用失真量度,该失真量度为实际投影数据和图像第一估计值的正投影函数之间失配的量度。
8. 权利要求4所述的方法,还包括使用失真量度,该失真量度是非负凸函数、概率密度函数的负对数和加权平方函数之一。
9. 权利要求4所述的方法,还包括使用正则化函数,该正则化函数根据相邻图像体素中至少一个的值补偿图像体素的值。
10. 权利要求4所述的方法,还包括使用正则化函数,该正则化函数根据与该图像体素

不相邻并与该图像体素相隔预定间距的至少一个图像体素的值补偿该图像体素的值。

11. 权利要求4所述的方法,还包括调整邻近图像体素并补偿图像体素的值的图像体素的数目以达到以下的至少一种:相对于图像体素的第一空间分辨率提高图像体素的空间分辨率,在图像的视场内获得均匀的空间分辨率,在图像的视场内获得各向同性的空间分辨率,和在图像的视场内获得预定的空间分辨率。

12. 权利要求1所述的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括对所述图像体素应用正投影函数以生成包括至少一个虚拟探测面的虚拟探测元的正投影区。

13. 权利要求12所述的方法,其中对图像体素应用正投影函数还包括沿虚拟探测面的虚拟探测器行和虚拟探测面的虚拟探测器信道中至少一个调整图像体素相对于正投影区的尺寸。

14. 权利要求13所述的方法,其中调整图像体素的尺寸还包括调整图像体素的尺寸以提高图像体素的空间分辨率,这是与所述调整第一估计值的前一次迭代过程中确定的图像体素的之前空间分辨率相比而言的。

15. 权利要求1所述的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括通过从虚拟X射线源以一定的投影角将图像体素正投影在虚拟探测面上,确定贡献于图像体素的分辨率的一组虚拟探测元。

16. 权利要求15所述的方法,其中确定一组虚拟探测元还包括:

将图像体素正投影在虚拟探测面上以在虚拟探测面上生成图像体素的阴影;和

在生成的阴影内选择一组虚拟探测元作为确定组的虚拟探测元。

17. 权利要求15所述的方法,其中确定一组虚拟探测元还包括:

通过使多条射线从虚拟X射线源延伸到虚拟探测面上以在虚拟探测面上产生正投影表面,将图像体素正投影在虚拟探测面上;和

在正投影表面内选择虚拟探测元作为确定组的虚拟探测元。

18. 权利要求1所述的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括将虚拟探测元之一的尺寸调整为以下之一:大于和小于真实X射线探测器阵列的探测器单元的相应尺寸。

19. 权利要求1所述的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括确定在虚拟探测面内并且用于重建图像体数据的一组虚拟探测元的多个值。

20. 权利要求19所述的方法,其中确定一组虚拟探测元的多个值还包括给虚拟探测面的预定部分内的每个虚拟探测元赋值。

21. 权利要求19所述的方法,其中确定一组虚拟探测元的多个值还包括根据沿虚拟探测器行轴和虚拟探测器信道轴之一的每个虚拟探测元离虚拟探测面上预定点的距离给每个虚拟探测元赋值。

22. 权利要求19所述的方法,其中确定一组虚拟探测元的多个值还包括在虚拟探测面的预定部分内根据预定曲线函数给每个虚拟探测元赋值。

23. 权利要求19所述的方法,其中确定一组虚拟探测元的多个值还包括在虚拟探测面内根据多个预定条件给每个虚拟探测元赋值。

24. 权利要求1所述的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括在虚拟探测面内确定多个虚拟探测元以在图像的视场内获得均匀的空间分辨率。

25. 权利要求1所述的方法, 其中赋予第一权重还包括使用第一失真量度以赋予第一权重, 并且赋予第二权重还包括使用第二失真量度以赋予第二权重, 所述第二失真量度不同于所述第一失真量度。

26. 一种断层摄影成像系统, 其包括:

X射线源, 其配置为生成射线束;

探测器阵列, 其配置为接收射线束; 和

与所述X射线源和所述探测器阵列相通的图像重建器用于接收图像数据, 所述图像重建器配置为:

生成图像第一估计值;

在生成图像第一估计值之后, 生成图像第二估计值;

比较实际投影数据和图像第二估计值的预期投影数据;

使用所述比较调整所述第一估计值;

生成对应于断层摄影成像系统的真实X射线源的虚拟X射线源;

生成包括多个对应于所述断层摄影成像系统的真实X射线探测器阵列的虚拟探测元的虚拟X射线探测面, 所述真实X射线探测器阵列包括多个虚拟探测元所对应于的多个探测器单元;

使用虚拟X射线源和虚拟X射线探测器确定包括表示图像体素的X射线密度的值的图像体数据; 和

如下调整第一估计值:

对正投影函数应用图像体素以生成包括虚拟探测面的至少一个虚拟探测元的正投影区;

通过从虚拟X射线源以一定的投影角将图像体素正投影在虚拟探测面上, 确定贡献于图像体素的分辨率的一组虚拟探测元;

将虚拟探测元之一的尺寸调整为以下之一: 大于和小于真实X射线探测器阵列的探测器单元的相应尺寸;

确定在虚拟探测面内且用于重建图像体数据的一组虚拟探测元的多个值;

赋予实际投影数据的第一部分和第一正投影函数第一权重, 其中实际投影数据的第一部分和第一正投影函数是当虚拟X射线源处于第一位置时所生成的并用于重建图像体素; 和

赋予实际投影数据的第二部分和第二正投影函数第二权重, 其中实际投影数据的第二部分和第二正投影函数是当虚拟X射线源处于第二位置时所生成的并用于重建图像体素, 所述第二权重小于所述第一权重, 且所述第一位置比所述第二位置更接近图像体素; 和

基于调节的图像第一估计值输出图像, 所述输出图像的分辨率高于所述第一估计值的分辨率。

27. 一种使用断层摄影成像系统重建图像的方法, 所述方法包括:

在视场内生成图像第一估计值;

在生成图像第一估计值之后, 在视场内生成图像第二估计值;

比较实际投影数据和图像第二估计值的预期投影数据;

使用第二估计值的比较调整所述第一估计值以在视场内生成图像第三估计值;

在调整第一估计值以生成第三估计值之后,在视场内生成图像第四估计值;
比较实际投影数据和图像第四估计值的预期投影数据;
使用第四估计值的比较调整所述第三估计值以在视场内生成图像第五估计值;和
基于图像第五估计值输出图像,所述输出图像的分辨率高于所述第一估计值的分辨率。

改善图像分辨率的系统和方法

[0001] 本申请是基于申请日为2007年6月22日,优先权日为2006年6月22日,申请号为200780023458.7(PCT/US2007/071917),发明名称为:“改善图像分辨率的系统和方法”的专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明总体上涉及成像系统,更具体地,涉及改善图像分辨率的系统和方法。

背景技术

[0003] 本发明总体上涉及成像系统,更具体地,涉及改善图像分辨率的系统和方法。

[0004] 计算机断层摄影(CT)成像系统通常包括x射线源,x射线源投射扇形x射线束透过患者到达辐射探测器阵列。x射线束经准直落在通常称为“成像平面”的xy平面内。探测器阵列接收到的x射线束的辐射强度取决于患者使x射线束的衰减。单独采集探测器阵列多个探测器单元的衰减测量结果而生成透射谱。

[0005] 在台架内围绕受检患者转动x射线源和探测器,以使x射线束与患者相交所成的投射角不断变化。将一组x射线衰减测量结果称为“视角(view)”,所述测量结果是来自成一种台架角度或一种投射角度的探测器阵列的模拟投影数据。对患者的“扫描”包括在x射线源和探测器旋转一周的过程中以不同的投射角形成的一组视角。

[0006] 为缩短获取多个切片所用的总扫描时间,可进行螺旋扫描。螺旋扫描技术允许使用单光子源以较快的速度进行大体积扫描。为进行螺旋扫描,使患者静躺于其上的平台沿台架旋转所围绕的z轴移动,同时采集规定数量切片的模拟投影数据。螺旋扫描生成单螺旋线。x射线束绘出的螺旋线形成模拟投影数据,可根据所述模拟投影数据,重建各规定切片中的图像。除缩短扫描时间以外,螺旋扫描还具有其它优势,例如更好地使用注入对比度(injected contrast)、任意位置处改善的图像重建和较好的三维图像。螺旋扫描的实例包括多切片螺旋扫描。在多切片螺旋扫描中,探测器阵列沿z轴延伸。通常,在多切片螺旋扫描中,探测器阵列包括多行,每一行相应于沿z轴不同的位置和不同的测量切片。在轴向扫描中,处理模拟投影数据以构建图像,该图像相应于透过患者所取的二维切片。对于离散切片,可进行全视场迭代重建,以提高图像质量。

[0007] 对于连续扫描,形成这样的扫描图案,其中患者沿z轴的部位随着台架的旋转而线性变化。在采集数据过程中,对连续扫描图案进行量化,生成患者周围有限个x射线源位置的一组离散的投影视角。常规的直接图像重建技术,例如二维或三维滤波反投影,根据投影数据如下重建图像体素:在投影数据中内插要素以将各投影角的贡献累加到多个图像体素中,从而通过对投影数据的单遍扫描形成图像或图像体(image volume)。应用滤波反投影生成的图像的典型分辨率基于探测器阵列的尺寸、焦斑尺寸、数据采集系统(DAS)采集模拟投影数据的采样速度和滤波反投影过程中过滤投影数据的滤波器的kernel。通常情况下,典型分辨率不高于CT成像系统等角点处各探测单元的投影尺寸。根据尼奎斯特定理,无需以大于两倍的极限典型分辨率采样。然而,通过常规的直接图像重建技术生成的图像体通

常不具备高的空间分辨率。

发明内容

[0008] 一方面,描述断层摄影成像系统中重建图像的方法。该方法包括通过迭代重建图像改善图像的空间分辨率。

[0009] 另一方面,描述权衡(trade-off)断层摄影成像系统性能的迭代重建方法。该方法包括调整一部分迭代重建图像的噪声和分辨率。

[0010] 再一方面,描述调整断层摄影成像系统分辨率的迭代重建方法。该方法包括调整迭代重建图像的面内分辨率(in-plane resolution),以及调整迭代重建图像的断面分辨率(cross-plane resolution)。

[0011] 再一方面,描述改善图像空间分辨率的方法。该方法包括迭代重建图像并改善图像的空间分辨率。该方法通过建立具有平滑曲线的正投影函数和建立具有平滑曲线的图像中的至少一种来改善图像的空间分辨率。正投影的建立包括通过确定一系列投影值来建立正投影。图像的建立包括通过确定所述一系列投影值的逆(inverse)来重建图像。

[0012] 再一方面,描述改善图像空间分辨率的处理器。配置该处理器以迭代重建图像并改善图像的空间分辨率。配置该处理器,以通过建立具有平滑曲线的正投影函数和建立具有平滑曲线的图像中的至少一种来改善图像的空间分辨率。正投影的建立包括通过确定一系列投影值来建立正投影。图像的建立包括通过确定所述一系列投影值的逆来重建图像。

[0013] 本发明包括以下内容:

[0014] 实施方式1.一种在断层摄影成像系统中重建图像的方法,所述方法包括通过迭代重建图像改善图像的空间分辨率。

[0015] 实施方式2.实施方式1的方法,其中所述断层摄影成像系统包括透射计算机断层摄影系统和发射计算机断层摄影系统之一。

[0016] 实施方式3.实施方式1的方法,其中所述迭代重建图像包括生成分辨率高于典型分辨率的图像。

[0017] 实施方式4.实施方式1的方法,其中所述迭代重建图像包括根据x射线多切片螺旋数据迭代重建图像,其中所述图像的空间分辨率高于典型分辨率。

[0018] 实施方式5.实施方式1的方法,其中所述迭代重建图像包括应用正则化函数。

[0019] 实施方式6.实施方式1的方法,其中所述空间分辨率包括各向同性空间分辨率。

[0020] 实施方式7.实施方式1的方法,还包括生成正模型,所述正模型表现出小于典型分辨率的图像体素尺寸,其中所述图像体素尺寸包括图像的图像体素的尺寸。

[0021] 实施方式8.实施方式1的方法,其中所述图像包括图像体素,所述方法还包括模型化所述图像体素,所述图像体素具有平行于第一坐标轴的第一维度和平行于第二坐标轴的第二维度,其中所述第一维度不同于所述第二维度,并且其中所述第一坐标轴不同于所述第二坐标轴。

[0022] 实施方式9.实施方式1的方法,其中所述图像包括图像体素,并且其中所述图像体素为立方形或除立方形以外的形状。

[0023] 实施方式10.实施方式1的方法,其中所述图像包括多个图像体素,其中所述多个图像体素中的第一个和第二个之间的间距不同于所述多个图像体素中第一个的尺寸。

- [0024] 实施方式11.实施方式1的方法,还包括由所述图像的图像体素生成正模型,其中所述正模型结合下述中的至少一种:
- [0025] 所述图像体素的几何形状、位置和取向;
- [0026] 所述正模型内包含的多个探测元的几何形状、位置和取向;
- [0027] 用于生成所述正模型的焦斑的几何形状、位置和取向;
- [0028] 时间采样,其取决于扫描的触发频率;和
- [0029] 成像系统的平台的运动。
- [0030] 实施方式12.实施方式1的方法,其中所述图像包括图像体素,所述方法还包括由所述图像体素生成正模型,其中所述正模型包括平滑函数。
- [0031] 实施方式13.实施方式1的方法,其中所述图像包括图像体素,所述方法还包括:
- [0032] 由所述图像体素生成正模型;和
- [0033] 通过调整所述正模型使断层摄影成像系统的组元表现为大于该组元的物理尺寸。
- [0034] 实施方式14.实施方式1的方法,其中所述图像包括图像体素,所述方法还包括:
- [0035] 由所述图像体素生成正模型;和
- [0036] 通过调整所述正模型使断层摄影成像系统的组元表现为小于该组元的物理尺寸。
- [0037] 实施方式15.实施方式1的方法,其中所述图像包括图像体素,所述方法还包括由所述图像体素生成正模型,其中所述正模型的置信度取决于所述图像体素的位置。
- [0038] 实施方式16.一种权衡断层摄影成像系统的性能的迭代重建方法,所述方法包括调整一部分迭代重建图像的噪声和分辨率。
- [0039] 实施方式17.一种调整断层摄影成像系统的分辨率的迭代重建方法,所述方法包括:
- [0040] 调整迭代重建图像的面内分辨率;和
- [0041] 调整迭代重建图像的断面分辨率。
- [0042] 实施方式18.实施方式17的方法,其中所述面内分辨率包括径向分辨率和方位角分辨率。
- [0043] 实施方式19.实施方式17的方法,其中所述面内分辨率等于所述断面分辨率。
- [0044] 实施方式20.一种改善图像的空间分辨率的方法,所述方法包括:
- [0045] 迭代重建所述图像;和
- [0046] 通过下述中的至少一种改善所述图像的空间分辨率:
- [0047] 建立具有平滑曲线的正投影函数,其中所述建立正投影包括通过确定一组投影值重建正投影;和
- [0048] 建立具有光滑曲线的图像,其中所述建立图像包括通过确定所述一组投影值的逆重建图像。
- [0049] 实施方式21.实施方式20的方法,其中所述改善空间分辨率包括沿探测器信道轴和探测器行轴中的至少一个调整所述图像的图像体素的尺寸。
- [0050] 实施方式22.实施方式20的方法,其中所述改善空间分辨率包括沿探测器信道轴和探测器行轴中的至少一个调整由图像体素正投影的探测元的数目,所述图像体素是图像的一部分并以一定的投影角形成。
- [0051] 实施方式23.实施方式20的方法,其中所述改善空间分辨率包括沿探测器信道轴

和探测器行轴中的至少一个调整探测元的数目,其中所述探测元的中心为图像体素的正投影,所述图像体素是图像的一部分并以一定的投影角形成。

[0052] 实施方式24.实施方式20的方法,其中所述改善空间分辨率包括生成图像体素的正投影,其中所述生成正投影包括将图像体素正投影在至少一个探测元上,其中所述正投影沿探测器信道轴和探测器行轴中至少一个的尺寸与所述图像体素的尺寸成正比。

[0053] 实施方式25.实施方式20的方法,其中所述改善空间分辨率包括沿探测器信道轴和探测器行轴中的至少一个调整正投影区的尺寸,所述正投影区通过正投影图像的图像体素而生成。

[0054] 实施方式26.实施方式20的方法,其中所述改善空间分辨率包括沿探测器信道轴和探测器行轴中的至少一个调整正投影区的形状,所述正投影区通过正投影图像的图像体素而生成。

[0055] 实施方式27.实施方式20的方法,其中所述改善空间分辨率包括在图像所呈现的视场内实现均匀的空间分辨率,其中所述均匀的空间分辨率如下实现:改变多个正投影沿探测器信道轴和探测器行轴中至少一个的多个尺寸,所述多个正投影通过正投影图像的多个图像体素而形成。

[0056] 实施方式28.实施方式20的方法,其中所述改善空间分辨率包括在图像所呈现的视场内实现均匀的空间分辨率,其中所述均匀的空间分辨率如下实现:改变多个正投影沿探测器信道轴和探测器行轴中至少一个的多个形状,所述多个正投影通过正投影图像的多个图像体素而形成。

[0057] 实施方式29.一种改善图像空间分辨率的处理器,所述处理器经配置:

[0058] 迭代重建图像;和

[0059] 通过下述中的至少一种改善所述图像的空间分辨率:

[0060] 建立具有平滑曲线的正投影函数,其中所述建立正投影包括通过确定一组投影值建立正投影;和

[0061] 建立具有光滑曲线的图像,其中所述建立图像包括通过确定所述一组投影值的逆重建图像。

[0062] 实施方式30.实施方式29的处理器,其中配置所述处理器,以通过沿探测器信道轴和探测器行轴中的至少一个调整所述图像的图像体素的尺寸,来改善空间分辨率。

[0063] 本申请还包括以下内容:

[0064] 实施方案1.使用断层摄影成像系统重建图像的方法,所述方法包括:

[0065] 生成图像第一估计值;

[0066] 在生成图像第一估计值之后,生成图像第二估计值;

[0067] 比较实际投影数据和图像第二估计值的预期投影数据;

[0068] 使用所述比较调整所述第一估计值;

[0069] 生成对应于断层摄影成像系统的真实X射线源的虚拟X射线源;

[0070] 生成包括多个对应于所述断层摄影成像系统的真实X射线探测器阵列的虚拟探测元的虚拟X射线探测面,所述真实X射线探测器阵列包括多个虚拟探测元所对应于的多个探测器单元;

[0071] 使用虚拟X射线源和虚拟X射线探测器确定包括表示图像体素的X射线密度的值的

图像体数据;

[0072] 赋予实际投影数据的第一部分和第一正投影函数第一权重,其中实际投影数据的第一部分和第一正投影函数是当虚拟X射线源处于第一位置时所生成的并用于重建图像像素;

[0073] 赋予实际投影数据的第二部分和第二正投影函数第二权重,其中实际投影数据的第二部分和第二正投影函数是当虚拟X射线源处于第二位置时所生成的并用于重建图像像素,所述第二权重小于所述第一权重,且所述第一位置比所述第二位置更接近所述图像像素;

[0074] 使用图像体数据调整所述第一估计值;和

[0075] 基于图像第一估计值输出图像,所述输出图像的分辨率高于所述第一估计值的分辨率。

[0076] 实施方案2.实施方案1的方法,还包括使用一系列图像的后来的估计值迭代调整所述第一估计值。

[0077] 实施方案3.实施方案2的方法,其中反复调整所述第一估计值还包括用现有的估计值替代先前的估计值以确定之后的估计值。

[0078] 实施方案4.实施方案1的方法,其中使用图像体数据调整第一估计值还包括使用图像体数据的函数调整第一估计值,其中所述函数使用实际投影数据,正投影函数,正则化函数,和失真量度中的至少一个来调整所述第一估计值。

[0079] 实施方案5.实施方案4的方法,其中使用图像体数据的函数还包括使用 r
 $\hat{r}(r)=\operatorname{argmin}\{D(p-F(r))+U(r)\}$ 作为函数,其中 $\hat{r}(r)$ 是调整的第一估计值, r 是图像体数据, D 是失真量度, p 是实际投影数据, $F(r)$ 是正投影函数,以及 $U(r)$ 是正则化函数。

[0080] 实施方案6.实施方案5的方法,还包括,当一系列估计值用于调整所述第一估计值时,用来自前一次迭代的 $\hat{r}(r)$ 替代本次迭代中的 r 以确定之后的 $\hat{r}(r)$ 。

[0081] 实施方案7.实施方案4的方法,还包括使用失真量度,该失真量度为实际投影数据和图像第一估计值的正投影函数之间失配的量度。

[0082] 实施方案8.实施方案4的方法,还包括使用失真量度,该失真量度是非负凸函数、概率密度函数的负对数和加权平方函数之一。

[0083] 实施方案9.实施方案4的方法,还包括使用正则化函数,该正则化函数根据相邻图像像素中至少一个的值补偿图像像素的值。

[0084] 实施方案10.实施方案4的方法,还包括使用正则化函数,该正则化函数根据与该图像像素不相邻并与该图像像素相隔预定间距的至少一个图像像素的值补偿该图像像素的值。

[0085] 实施方案11.实施方案4的方法,还包括调整邻近图像像素并补偿图像像素的值的图像像素的数目以达到以下的至少一种:相对于图像像素的第一空间分辨率提高图像像素的空间分辨率,在图像的视场内获得均匀的空间分辨率,在图像的视场内获得各向同性的空间分辨率,和在图像的视场内获得预定的空间分辨率。

[0086] 实施方案12.实施方案1的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括对所述图像像素应用正投影函数以生成包括至少一个虚拟探测面的虚拟探测元的正投影区。

[0087] 实施方案13.实施方案12的方法,其中对图像体素应用正投影函数还包括沿虚拟探测面的虚拟探测器行和虚拟探测面的虚拟探测器信道中至少一个调整图像体素相对于正投影区的尺寸。

[0088] 实施方案14.实施方案13的方法,其中调整图像体素的尺寸还包括调整图像体素的尺寸以提高图像体素的空间分辨率,这是与所述调整第一估计值的前一次迭代过程中确定的图像体素的之前空间分辨率相比而言的。

[0089] 实施方案15.实施方案1的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括通过从虚拟X射线源以一定的投影角将图像体素正投影在虚拟探测面上,确定贡献于图像体素的分辨率的一组虚拟探测元。

[0090] 实施方案16.实施方案15的方法,其中确定一组虚拟探测元还包括:

[0091] 将图像体素正投影在虚拟探测面上以在虚拟探测面上生成图像体素的阴影;和

[0092] 在生成的阴影内选择一组虚拟探测元作为确定组的虚拟探测元。

[0093] 实施方案17.实施方案15的方法,其中确定一组虚拟探测元还包括:

[0094] 通过使多条射线从虚拟X射线源延伸到虚拟探测面上以在虚拟探测面上产生正投影表面,将图像体素正投影在虚拟探测面上;和

[0095] 在正投影表面内选择虚拟探测元作为确定组的虚拟探测元。

[0096] 实施方案18.实施方案1的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括将虚拟探测元之一的尺寸调整为以下之一:大于和小于真实X射线探测器阵列的探测器单元的相应尺寸。

[0097] 实施方案19.实施方案1的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括确定在虚拟探测面内并且用于重建图像体数据的一组虚拟探测元的多个值。

[0098] 实施方案20.实施方案19的方法,其中确定一组虚拟探测元的多个值还包括给虚拟探测面的预定部分内的每个虚拟探测元赋值。

[0099] 实施方案21.实施方案19的方法,其中确定一组虚拟探测元的多个值还包括根据沿虚拟探测器行轴和虚拟探测器信道轴之一的每个虚拟探测元离虚拟探测面上预定点的距离给每个虚拟探测元赋值。

[0100] 实施方案22.实施方案19的方法,其中确定一组虚拟探测元的多个值还包括在虚拟探测面的预定部分内根据预定曲线函数给每个虚拟探测元赋值。

[0101] 实施方案23.实施方案19的方法,其中确定一组虚拟探测元的多个值还包括在虚拟探测面内根据多个预定条件给每个虚拟探测元赋值。

[0102] 实施方案24.实施方案1的方法,其中使用图像体数据调整所述第一估计值还包括在虚拟探测面内确定多个虚拟探测元以在图像的视场内获得均匀的空间分辨率。

[0103] 实施方案25.实施方案1的方法,其中赋予第一权重还包括使用第一失真量度以赋予第一权重,并且权重赋予第二权重还包括使用第二失真量度以赋予第二权重,所述第二失真量度不同于所述第一失真量度。

[0104] 实施方案26.断层摄影成像系统,其包括:

[0105] X射线源,其配置为生成射线束;

[0106] 探测器阵列,其配置为接收射线束;和

[0107] 与所述X射线源和所述探测器阵列相通的图像重建器用于接收图像数据,所述图

像重建器配置为:

- [0108] 生成图像第一估计值;
- [0109] 在生成图像第一估计值之后,生成图像第二估计值;
- [0110] 比较实际投影数据和图像第二估计值的预期投影数据;
- [0111] 使用所述比较调整所述第一估计值;
- [0112] 生成对应于断层摄影成像系统的真实X射线源的虚拟X射线源;
- [0113] 生成包括多个对应于所述断层摄影成像系统的真实X射线探测器阵列的虚拟探测元的虚拟X射线探测面,所述真实X射线探测器阵列包括多个虚拟探测元所对应于的多个探测器单元;
- [0114] 使用虚拟X射线源和虚拟X射线探测器确定包括表示图像体素的X射线密度的值的图像体数据;和
- [0115] 如下调整第一估计值:
- [0116] 对正投影函数应用图像体素以生成包括虚拟探测面的至少一个虚拟探测元的正投影区;
- [0117] 通过从虚拟X射线源以一定的投影角将图像体素正投影在虚拟探测面上,确定贡献于图像体素的分辨率的一组虚拟探测元;
- [0118] 将虚拟探测元之一的尺寸调整为以下之一:大于和小于真实X射线探测器阵列的探测器单元的相应尺寸;
- [0119] 确定在虚拟探测面内且用于重建图像体数据的一组虚拟探测元的多个值;
- [0120] 赋予实际投影数据的第一部分和第一正投影函数第一权重,其中实际投影数据的第一部分和第一正投影函数是当虚拟X射线源处于第一位置时所生成的并用于重建图像体素;和
- [0121] 赋予实际投影数据的第二部分和第二正投影函数第二权重,其中实际投影数据的第二部分和第二正投影函数是当虚拟X射线源处于第二位置时所生成的并用于重建图像体素,所述第二权重小于所述第一权重,且所述第一位置比所述第二位置更接近图像体素;和
- [0122] 基于调节的图像第一估计值输出图像,所述输出图像的分辨率高于所述第一估计值的分辨率。
- [0123] 实施方案27.使用断层摄影成像系统重建图像的方法,所述方法包括:
- [0124] 在视场内生成图像第一估计值;
- [0125] 在生成图像第一估计值之后,在视场内生成图像第二估计值;
- [0126] 比较实际投影数据和图像第二估计值的预期投影数据;
- [0127] 使用第二估计值的比较调整所述第一估计值以在视场内生成图像第三估计值;
- [0128] 在调整第一估计值以生成第三估计值之后,在视场内生成图像第四估计值;
- [0129] 比较实际投影数据和图像第四估计值的预期投影数据;
- [0130] 使用第四估计值的比较调整所述第三估计值以在视场内生成图像第五估计值;和
- [0131] 基于图像第五估计值输出图像,所述输出图像的分辨率高于所述第一估计值的分辨率。

附图说明

- [0132] 图1是实现图像分辨率改善方法的多切片CT成像系统的实施方式的等视图。
- [0133] 图2是图1的CT成像系统的方框图。
- [0134] 图3是图像分辨率改善方法的实施方式的示意图。
- [0135] 图4是图3的方法的示意图。
- [0136] 图5是图像分辨率改善方法的实施方式的流程图。
- [0137] 图6是图5的流程图的续图。
- [0138] 图7示出多个图像的实施方式,显示应用图像分辨率改善方法的实施方式的效果。

具体实施方式

[0139] 迭代重建包括如下形成图像的方法:根据实际投影数据和预期投影数据之间匹配的质量基于图像的先验估计值(current estimate)反复调整现有的估计值。对图像多个特性的考虑,例如图像的平滑度和/或预建模型的满意度,也可能影响匹配质量。进行多次迭代,从而形成基于预定标准与实际投影数据匹配最佳的图像。由于使一组重建图像形成患者的三维重现,并且各图像像素或像点对应于三维重建中的单个体素或体元(volume element),因而将整组重建图像称为三维重建。

[0140] 参考图1和图2,示出了多切片透射计算机断层摄影(CT)成像系统10的实施方式,该系统应用重建受检体12(如医学上的患者或影像)的解剖部位图像的方法。CT成像系统10包括台架14,台架14具有包括x射线源18和探测器阵列20的旋转内部16。x射线源18和探测器阵列20随台架14的旋转而转动。x射线源18朝向探测器阵列20投射x射线束32。x射线源18和探测器阵列20围绕置于可操作平移的平台22上的受检体12旋转。平台22沿平行于z方向的z轴在源18和探测器阵列20之间平移来进行解剖部位的螺旋扫描,或者在解剖部位的整个轴向扫描过程中停留在沿z轴的同一位置。在探测器阵列20处探测透过患者孔24内受检体12之后的x射线束32,从而建立用于形成解剖部位CT图像的模拟投影数据。

[0141] x射线源18和探测器阵列20围绕平行于z轴的中心轴30旋转。束32由探测器阵列20的多个探测器行中的多个探测器单元34接收。探测器阵列20包括多行探测器单元34和多道探测器单元34。探测器信道(detector channel)平行于信道轴,信道轴平行于台架24的平面。探测器行平行于行轴(row axis),行轴平行于z轴。各探测器行沿着台架24旋转所围绕的z轴在z方向上偏离所有其它探测器行。探测器单元34生成模拟投影数据,所述模拟投影数据表现为相应于束32强度的电信号。束32由于穿过受检体12而衰减。台架14的旋转和源18的操作由控制机构36控制。控制机构36包括向x射线源18提供动力和定时信号的x射线控制器38以及控制台架14的转速和位置的台架电动机控制器40。数据采集系统(DAS)42从探测器单元34采集模拟投影数据并将模拟投影数据从模拟形式转换为数字信号,从而生成采样数字化投影数据,即实际投影数据。图像重建器44从DAS 42接收实际投影数据并进行图像重建,例如改善图像分辨率的方法,从而生成CT图像。主控制器46将CT图像存储在大容量存储装置48中。大容量存储装置48的实例包括非易失性存储器如只读存储器(ROM)和易失性存储器如随机存取存储器(RAM)。大容量存储装置48的其它实例包括软盘、紧致盘——ROM(CD-ROM)、磁光盘(MOD)和数字多功能盘(DVD)。

[0142] 主控制器46还经由操作员控制台50接收来自操作员的指令和扫描参数。监视器52使操作员能够观察到CT图像和来自主控制器46的其它数据。监视器52可以是阴极射线管

(CRT)或液晶显示器(LCD)。主控制器46将操作员发出的指令和参数用于DAS 42、x射线控制器38和台架电动机控制器40的操控。另外,主控制器46操控平台电动机控制器54,平台电动机控制器54平移平台22,从而将解剖部位置于台架14中。

[0143] x射线控制器38、台架电动机控制器40、图像重建器44、主控制器46和平台电动机控制器54均不仅仅限于本领域称为控制器的集成电路,而是广泛地表示计算机、处理器、微控制器、微型计算机、可编程逻辑控制器、专用集成电路和/或任意其它可编程电路。x射线控制器38、台架电动机控制器40、图像重建器44、主控制器46和平台电动机控制器54可以是中央控制器的一部分或者各自为如图所示的独立部件。

[0144] 尽管上述具体实施方式是指第三代CT成像系统10,但迭代重建图像的方法等同地应用于具有固定探测器和旋转x射线源的第四代CT系统、具有固定探测器和电子束偏转x射线源的第五代CT系统、包括多个x射线源和/或探测器的未来各代CT系统、以及发射CT系统如单光子发射CT系统(SPECT)或正电子发射断层摄影系统(PET)。

[0145] 另外,尽管就医疗设施对迭代重建图像的方法进行描述,但可以预期所述方法的多个技术效果可由非医疗成像系统实现,如通常应用于工业设施或运输设施的系统,例如但不限于,非破坏性检测系统,用于机场、其它运输中心、政府大楼和办公大楼的行李扫描系统。所述技术效果还可由微PET和CT系统实现,裁定所述系统的尺寸以研究实验用动物体而非人体。

[0146] 图3和4为示意图,图5和6为流程图,示出了迭代重建图像的方法的实施方式。源302示例x射线源18的虚拟像,探测面304示例探测器阵列20面的虚拟像。探测器阵列20面朝向x射线源18。探测面304包括多个探测元306、308、310、312和314,探测面304的各探测元是探测器单元34的虚拟像。图像重建器44根据实验数据例如线影的变化获取x射线源18的位置,并生成x射线源18的虚拟像。根据实验数据获取源302的位置变化。例如,通过在x射线源18和探测器阵列20之间放置线来确定源302的位置。线相对x射线源18是固定的,相对探测器阵列20是不固定的。形成在探测器阵列20上的线影的位置变化提供了源302的位置变化。

[0147] 图像重建器44还从位置编码器获取探测器阵列20的位置,位置编码器相对于x射线源18探测位置。可根据x射线源18和探测器阵列20的位置(相对图1所示的xyz坐标系),通过图像重建器44生成x射线源18和探测器阵列20的虚拟像。源302的位置改变以配合x射线源18的位置变化,探测面304的位置改变以配合探测器阵列20面的位置变化。源302和探测面304之间的距离与x射线源18和探测器阵列20面之间的距离成比例。

[0148] 对于特定的视角,迭代重建图像方法的优化问题表达为:

$$[0149] \quad \hat{r}(r) = \operatorname{argmin}_r \{ D(p - F(r)) + U(r) \} \quad (1)$$

[0150] 其中r代表图像体318,该图像体318通过应用改善图像分辨率的方法而重建并代表受检体12的解剖部位。图像体318是图像体r的实例。图像体318包括表示x射线密度的值,例如以Hounsfield为单位测量的图像体素320的CT值。尽管图像体素320为立方体,但在替换性实施方式中,图像体318内的图像体素具有其它形状,例如球形、椭球形、柱形、平行六面体形、梯形或多面体形。在替换性实施方式中,图像体318包括多个表示代表解剖部位的图像体素320和多个图像体素322、324、326、330、332的x射线密度的值。在替换性实施方式中,沿x、y和z轴之一平行于图像体素322设置图像体素320。在另一替换性实施方式中,可将图像体素322设置在图像体318周围。在等式(1)中,p表示实际投影数据。在等式(1)中,F(r)

表示探测面304上r的正投影函数或正投影模型。正投影F(r)以模拟CT成像系统10的方式转换r。

[0151] 在等式(1)中,U(r)为补偿局部图像体素差的正则化函数。U(r)的实例包括凸函数,例如图像体素320的CT值和与其相邻的图像体素328的CT值之差的平方。

[0152] 另外,在等式(1)中,D是实际投影数据p和图像估计值的正投影函数F(r)之间失配的失真量度(distortion measure)。失真量度D的实例包括非负凸函数、概率密度函数的负对数和其它补偿函数。再例如,在等式(2)中失真量度D以加权平方形式表示为:

$$[0153] \quad \hat{r}(r) = \operatorname{argmin}\{(p - F(r))^T W(p - F(r)) + U(r)\} \quad (2)$$

[0154] 其中W为加权函数,T为转置运算。加权函数的实例包括具有多个对角元的对角矩阵,所述多个对角元为实际投影数据的逆。在替换性实施方式中,等式(1)和(2)中任意一个均不包括U(r)。在另一替换性实施方式中,等式(2)不包括加权函数W并包括(p-F(r))而不是W(p-F(r))。

[0155] r和p之间关系的实例包括线性关系,例如 $p = Ar + n$,其中A为探测面304的探测元贡献值的矩阵,n表示一组至少一个噪声值,该噪声值代表p围绕实际投射数据平均值的随机涨落,例如方差。在等式(1)的每次迭代中,图像重建器44计算r的微扰,随着每次迭代r的微扰使等式(1)中 $\hat{r}(r)$ 的值减小。图像重建器44根据计算正投影函数F(r)和正则化函数U(r)之前的前一次迭代中计算得到的 $\hat{r}(r)$ 值,在本次迭代中计算正投影函数F(r)和正则化函数U(r)。在本次迭代中,图像重建器44以 $\hat{r}(r)$ 代替等式(1)中的r。在前一次迭代中,图像重建器44由根据实际投影数据p滤波反投射重建的图像体318生成 $\hat{r}(r)$ 。在替换性实施方式中,在前一次迭代中,图像重建器44可由具有操作员经由操作员控制台50选择的值的图像体318生成 $\hat{r}(r)$ 。 $\hat{r}(r)$ 的质量强烈依赖于正投影函数F(r)反映CT成像系统10的物理现实的程度。

[0156] 图像重建器44将正投影函数F(r)应用于图像体素320,以生成包括探测面304的探测元308的正投影区。例如,由尺寸例如面积小于典型分辨率的正投影图像体素320形成正投影区。在替换性实施方式中,正投影区包括多个探测元,例如探测元306、308、310和312中的至少两个。在一种实施方式中,图像重建器44沿探测器行轴329和探测器信道轴331中的至少一个调整502例如增大或者减小图像体素320的尺寸。探测器行轴329平行于z轴,探测器信道轴331平行于台架14平面。探测元如探测元308和310平行于探测器信道轴331。探测元如探测元306和308平行于探测器行轴329。图像重建器44通过沿x轴和y轴中的至少一个调整图像体素320的尺寸,沿探测器信道轴331调整图像体素320的尺寸。图像重建器44沿探测器行轴329和探测器信道轴331中的至少一个相对于正投影区域的尺寸调整例如减小图像体素320的尺寸。例如,图像重建器44将沿探测器行轴329测量的图像体素320的深度减小为沿探测器行轴329测量的正投影区的长度的一半。再例如,图像重建器44将沿探测器信道轴331测量的图像体素320的宽度减小为沿探测器信道轴331测量的正投影区的宽度的三分之一。

[0157] 图像重建器44在本次迭代中调整图像体素320的尺寸,从而相对于等式(1)的前一次迭代中图像体素320的分辨率以及相对于常规重建技术如滤波反投射,改善图像体素320的空间分辨率,例如断面分辨率和面内分辨率中的至少一个。例如,图像重建器44沿探测器行轴329调整图像体素320的尺寸,以改善图像体素320的断面分辨率。再例如,图像重建器

44沿探测器信道轴331调整图像体素320的尺寸,以改善图像体素320的面内分辨率。再例如,图像重建器44沿探测器行轴329和探测器信道轴331中的至少一个调整图像体素320的尺寸,使得图像体素320的面内分辨率等于图像体素320的断面分辨率。面内分辨率是在平面内沿径向方向以及在平面内成一定方位角的平面内分辨率。图像重建器44调整图像体素320的尺寸,使得图像体素320的所有尺寸不同于图像体素320和332之间的距离。

[0158] 在替换性实施方式中,图像重建器44通过从源302以一定的投影角将图像体素320正投影在探测面304上,来确定或绘出贡献于图像体素320的分辨率的大量探测元。例如,图像重建器44将图像体素320的中心321正投影在探测面304上以生成正投影点334,并沿探测器行轴329和探测器信道轴331中的至少一个在探测面304内选择预定数目例如两个或三个探测元。在一个实例中,经由操作员控制器50获取操作员发出的预定数目。在一个实例中,所选择的探测元与包括正投影点334的探测元308相邻。在一个实例中,替换性地,所选择的探测元不与包括正投影点334的探测元308相邻,而是通过探测面304的大量探测元与探测元308相隔。再例如,图像重建器44将图像体素320的中心321正投影在探测面304上以生成正投影点334,并选择位于正投影区内的大量探测元,所述探测元沿探测器信道轴331和探测器行轴329中的至少一个设置并且尺寸与图像体素320的尺寸成正比。在一个实例中,图像重建器44所选择的并且与图像体素320的尺寸成正比的探测元的尺寸包括沿探测器行轴329的探测元深度。在一个实例中,该深度为图像体素320沿探测器行轴329的深度的两倍或三倍。正投影区内探测元数目的变化改变正投影区的尺寸和正投影区的形状中的至少一个。再例如,图像重建器44将图像体素320正投影在探测面304上以在探测面304上形成图像体素320的阴影,并沿探测器行轴329和探测器信道轴331中的至少一个选择落在图像体素320的阴影内的大量探测元。图像体素320的阴影沿探测器行轴329和探测器信道轴331具有与图像体素320底面336的尺寸相同的尺寸。底面336面向探测面304。或者,图像体素320沿探测器行轴329的阴影尺寸至少等于底面336沿探测器行轴329的尺寸。在另一替换性实施方式中,图像体素320的阴影尺寸至少等于底面336沿探测器信道轴331的尺寸。在一个实例中,图像重建器44选择位于探测面304内并落在图像体素320的阴影内的探测元。再例如,通过使多条射线从源302经由图像体素320的多条边339、341、343和345延伸到探测面304上,图像重建器44将图像体素320正投影在投影面304上,从而在探测面304上生成正投影表面。在一个实例中,图像重建器沿探测器行轴329和探测器信道轴331中的至少一个选择落在探测面304上正投影表面内的大量探测元。再例如,通过使多条射线从源302经由图像体素320的边339、341、343和345上的多个点延伸到探测面304上,图像重建器44将图像体素320正投影在探测面304上,从而在探测面304上生成正投影带。在一个实例中,图像重建器44沿探测器行轴329和探测器信道轴331中的至少一个选择落在探测面304上正投影带内的大量探测元。正投影点334是正投影区的中心。在替换性实施方式中,正投影点334不是正投影区的中心。

[0159] 图像重建器44通过选择探测面304的探测元,选择沿探测器行轴329的多列探测元和沿探测器信道轴331的多道探测元中至少之一。图像重建器44将探测元308的尺寸调整为大于探测器单元34的尺寸。例如,图像重建器44将探测元308的体积增大为大于探测器单元34的体积。或者,图像重建器44将探测元308的尺寸调整为小于探测器单元34的尺寸。例如,图像重建器44将探测元308的体积调整为小于探测器单元34的体积。图像重建器44应用所

选择的并且贡献于图像体素320的分辨率的大量探测元,重建等式(1)中的 $\hat{r}(r)$ 并相对于滤波反投影生成的典型分辨率改善空间分辨率 $\hat{r}(r)$ 。

[0160] 在另一替换性实施方式中,图像重建器44确定落在探测面304内并用于重建图像体318的探测元的多个值。例如,图像重建器44为探测面304的正投影区、正投影表面和正投影带内各探测元随机赋值例如正值或负值。再例如,图像重建器44根据图像体素320的中心321和源302之间的距离333以及源302和图像体素322的中心337之间的距离335,为正投影区内各探测元和正投影面内各探测元赋值。当距离333大于距离335时,图像重建器44为图像体素322的正投影面内大量探测元赋值,所述探测元的数目大于图像体素320的正投影区内探测元的数目。为图像体素322的正投影面内数目较大的探测元赋值使得图像体素322的分辨率大于图像体素320的分辨率。图像体素322的分辨率提高使得图像体素322内的噪声增加,图像体素320的分辨率下降使得图像体素320内的噪声降低。

[0161] 或者,当距离335大于距离333时,图像重建器44为图像体素320的正投影区内大量探测元赋值,所述探测元的数目大于图像体素322的正投影面内探测元的数目。为图像体素320的正投影区内数目较大的探测元赋值使得图像体素320的分辨率大于图像体素322的分辨率。图像体素320的分辨率提高使得图像体素320内的噪声增加,图像体素322的分辨率下降使得图像体素322内的噪声降低。

[0162] 图像重建器44通过将射线从源302经由图像体素322正投影在探测面304上而在探测面304上形成正投影面。图像重建器44通过应用改善图像分辨率的系统和方法从正投影面迭代重建图像体素322。例如,在改变正投影面内探测元的数目时图像重建器44从正投影面迭代重建图像体素322,以改善图像体素322的分辨率。正投影面与正投影区相分离并且不包括正投影区。源302和中心321之间的距离决定图像体素320在x射线源18的视场内的位置。视场包括图像体318。另外,源302和图像体素322的中心337之间的距离335决定图像体素322在视场内的位置。

[0163] 图像重建器44继续确定探测面304内用于重建图像体318的多个探测元的值。例如,图像重建器44如下确定正投影区内探测元的值:根据探测元与正投影点334沿探测器行轴329和探测器信道轴331中至少一个的距离,为探测元赋值。例如,当图像重建器44确定探测元306和正投影点334之间沿探测器行轴329的距离大于探测元308和正投影点334之间沿探测器行轴329的距离时,图像重建器44赋予探测元306的值小于赋予探测元308的值。再例如,当图像重建器44确定探测元310和正投影点334之间沿探测器信道轴331的距离大于探测元308和正投影点334之间沿探测器信道轴331的距离时,图像重建器44赋予探测元310的值小于赋予探测元308的值。

[0164] 图像重建器44进一步继续确定探测面304内用于重建图像体318的多个探测元的值。例如,根据图像体素320的中心321和正投影区的正投影点334之间的距离338以及图像体素322的中心337和正投影面的正投影点342之间的距离340,图像重建器44为正投影区内各探测元和正投影面内各探测元赋值。当距离338大于距离340时,图像重建器44赋予正投影区内探测元的值大于赋予正投影面内探测元的值。或者,当距离340大于距离338时,图像重建器44赋予正投影面内探测元的值大于赋予正投影区内探测元的值。正投影点342为正投影面的中心。在替换性实施方式中,正投影点342不是正投影面的中心。中心321和正投影点334之间的距离338决定中心321的位置,中心337和正投影面的正投影点342之间的距离

340决定中心337的位置。再例如,图像重建器44根据预定曲线为正投影区内多个探测元赋值。图像重建器44经由操作员控制台50接收来自操作员的预定曲线。预定曲线可以是下述中至少一个的函数:正投影区内探测元的数目,正投影区沿探测器信道轴331和探测器行轴329中至少一个的尺寸,图像体素320沿x、y和z维度中至少一个的尺寸。x维度平行于x轴,y维度平行于y轴,z维度平行于z轴。y轴垂直于z轴,x轴同时垂直于y轴和z轴。图像重建器44赋予探测面304内与预定曲线重合的探测元预定曲线上的值。

[0165] 在替换性实施方式中,图像重建器44为探测面304内的探测元赋值以满足至少两个条件。第一个条件是正投影函数 $F(r)$ 为不包括高频分量如脉冲的平滑曲线。高频分量的另一实例包括不符合正投影函数 $F(r)$ 通常预期的多个缓慢变化的多个快速局部变化。平滑曲线是预定曲线的一种实例。正投影函数 $F(r)$ 的实例为 $Ar+n$ 。当图像重建器44设定 $r=1$ 且 $n=0$ 时,图像重建器44确定A的值以生成平滑曲线形式的正投影函数 $F(r)$ 。第二个条件是图像体素318为平滑曲线。当图像重建器44设定 $n=0$ 时,图像重建器44确定 A^{-1} 的值以生成不包括高频分量的平滑曲线形式的图像体素318。

[0166] 在另一替换性实施方式中,图像重建器44确定506探测面304内探测元的数量,以在视场内沿探测器信道轴331和探测器行轴329中的至少一个获得均匀的空间分辨率。例如,图像重建器44确定正投影区内探测元的数目等于正投影面内探测元的数目。再例如,图像重建器44确定正投影区内沿探测器行轴329的探测元数目等于正投影面内沿探测器行轴329的探测元数目。再例如,图像重建器44确定正投影区内沿探测器信道轴331的探测元数目等于正投影面内沿探测器行轴329的探测元数目。图像重建器44经由操作员控制台50接收操作员发出的均匀空间分辨率的请求。

[0167] 在再一替换性实施方式中,图像重建器44根据CT成像系统10进行扫描的触发频率改变正投影区内探测元的数目。触发频率决定x射线源18围绕受检体12旋转一周在受检体12周围采集的投影数据视角的离散值。例如,当采集用于重建图像体素320的实际投影数据的触发频率增大时,正投影区内所选择的探测元的数目减少。再例如,当采集实际投影数据的触发频率减小时,正投影区内所选择的探测元的数目增加。

[0168] 正则化函数 $U(r)$ 根据邻近图像体素320的图像体素的值约束图像体素320。例如,正则化函数 $U(r)$ 根据相邻图像体素324、326、328和332中至少一个的值补偿图像体素320的值。再例如, $U(r)$ 根据与图像体素320不相邻并与图像体素320相隔一定数目如一个或两个图像体素的图像体素的值补偿图像体素320的值。根据邻近图像体素320的图像体素的值补偿图像体素320的值的实例包括图像体素320的值不大于接近图像体素320的图像体素的平均值。根据邻近图像体素320的图像体素的值补偿图像体素320的值的另一实例包括图像体素320的值不大于邻近图像体素320的图像体素的中间值。

[0169] 在再一替换性实施方式中,图像重建器44调整508沿探测器行轴329和探测器信道轴331中至少一个邻近图像体素320并补偿图像体素320的值的图像体素的数目,以改善图像体素320的空间分辨率。例如,图像重建器44调整沿探测器行轴329的图像体素的数目以补偿图像体素320的值。再例如,图像重建器44调整沿探测器信道轴331的图像体素的数目以补偿图像体素320的值。再例如,图像重建器44根据下述函数中的至少一个改变 $U(r)$:视场内图像体素320的位置的函数以及沿x轴、y轴和z轴中至少一个测量的图像体素320的尺寸的函数。再例如,图像重建器44根据下述函数改变 $U(r)$:图像体素320和与其邻近的至少

一个图像像素之间尺寸大小之差的函数。例如, $U(r) =$

$$[0170] \quad U(r) = \alpha \sum_{i,j \in C} b_{ij} |r_i - r_j|^p \quad (3)$$

[0171] 其中 α 为度量常数如正实数, p 为指数参数如正实数, b_{ij} 为定向权重系数如正实数, r_i 表示图像体318内位置 i 处的图像像素320的值, r_j 表示图像体318内邻近图像像素320的图像像素 j 的值, C 是选择用于补偿图像像素320的邻近图像像素320的图像像素的邻域。例如,图像重建器44根据视场内图像像素320的位置改变 α 和 b_{ij} 。

[0172] 在一种实施方式中,图像重建器44调整邻近图像像素320并补偿图像像素320的值的图像像素的数目,并调整邻近图像像素322并补偿图像像素322的值的图像像素的数目,以沿视场内径向方向、视场内方位角方向和视场内 z 方向中的至少一个获得均匀的空间分辨率。例如,图像重建器44确定邻近图像像素320并补偿图像像素320的值的图像像素的数目等于邻近图像像素322并补偿图像像素322的值的图像像素的数目。在替换性实施方式中,图像重建器44调整邻近图像像素320并补偿图像像素320的值的图像像素的数目,并调整邻近图像像素322并补偿图像像素322的值的图像像素的数目,以沿视场内径向方向、方位角方向和 z 方向中至少两个获得各向同性的空间分辨率。图像重建器44经由操作员控制台50接收操作员发出的沿视场内径向方向、视场内方位角方向、视场内 z 方向中至少两个的多个所需的分辨率值。在另一替换性实施方式中,图像重建器44调整邻近图像像素320并补偿图像像素320的值的图像像素的数目,并调整邻近图像像素322并补偿图像像素322的值的图像像素的数目,以沿视场内径向方向、方位角方向和 z 方向中的至少一个获得所需的分辨率。图像重建器44经由操作员控制台50接收操作员发出的所需的分辨率。

[0173] 图像重建器44还可改变正投影区内探测元的数目和接近图像像素320并补偿图像像素320的值的图像像素的数目,以沿视场内径向方向、视场内方位角方向和视场内 z 方向中至少一个方向获得空间分辨率,例如均匀的空间分辨率、所需的分辨率和各向同性的分辨率。

[0174] 在一种实施方式中,在对解剖部位进行半扫描或全扫描过程中,图像重建器44赋予510实际投影数据的一部分和正投影函数 $F(r)$ 大的置信度(confidence)或权重,其中所述实际投影数据的一部分和正投影函数 $F(r)$ 是源302处于第一位置时所生成的并用于迭代重建图像像素320。所述大的置信度大于图像重建器44赋予实际投影数据的一部分和正投影函数 $F(r)$ 的置信度,其中所述实际投影数据的一部分和正投影函数 $F(r)$ 是在源302处于第二位置时生成的并用于迭代重建图像像素320。例如,当确定在 x 射线源18处于0度投影角时由第一组实际投影数据迭代重建图像像素320以及在源302处于90度投影角时由第二组实际投影数据迭代重建图像像素320时,并且当确定源302处于0度投影角时比其处于90度投影角时更接近图像像素320时,图像重建器44赋予第一组实际投影数据的置信度高于其赋予第二组实际投影数据的置信度。第一位置比第二位置更接近图像像素320。图像像素320相对源302的位置随源302的投影角而改变。图像重建器44改变应用于实际投影数据 p 和正投影函数 $F(r)$ 的失真量度 D ,以改变置信度。例如,图像重建器44将失真量度 D 从 $(p-F(r))$ 的二次方提高到 $(p-F(r))$ 的三次方,以增大置信度。

[0175] 在替换性实施方式中,图像重建器44调整例如增加正投影区内探测元的数目,以改善由于采集用于迭代重建图像像素320的实际投影数据过程中焦斑尺寸的改变而劣化的

图像体素320的分辨率。焦斑的尺寸包括x射线源18的面积,束32源于该面积。此外,在另一替换性实施方式中,图像重建器44沿探测器行轴329和探测器信道轴331中的至少一个移动正投影点334的位置,以改善由于采集用于迭代重建图像体素320的实际投影数据过程中焦斑位置的改变而劣化的图像体素320的分辨率。

[0176] 在再一替换性实施方式中,图像重建器44沿z轴移动正投影点334的位置,以改善由于采集用于迭代重建图像体素320的实际投影数据过程中平台22沿z轴的位置测量误差而劣化的图像体素320的分辨率。在一种实施方式中,图像重建器44移动正投影点334的位置和/或调整例如增加正投影区内沿z轴的探测元数目,以改善由于平台22下沉而劣化的图像体素320的分辨率。

[0177] 在替换性实施方式中,图像重建器44随着时间的变化和/或源302的投影角的变化沿探测器信道轴331移动正投影区的正投影点334的位置,以改善由于采集用于重建图像体素320的一部分实际投影数据过程中出现的台架14振动而劣化的图像体素320的分辨率。源302的投影角随x射线源18的位置的改变而改变。在另一替换性实施方式中,图像重建器44调整正投影区内探测元的数目和正投影区的正投影点334的位置中至少之一,以改善由于采集用于重建图像体素320的实际投影数据过程中出现的焦斑尺寸的改变、焦斑位置的改变、平台22沿z轴的位置改变、平台22的下沉、台架14的多个振动中的至少一种而劣化的图像体素320的分辨率。

[0178] 图7示出了应用常规方法和改善图像分辨率的方法形成的多个图像602、604、606和608的实施方式。通过低分辨率探测装置进行的同一扫描重建图像602和608。通过高分辨率探测装置进行的两个独立扫描重建图像604和606。通过应用Feldkamp类重建重建图像602、604和606,通过应用改善图像分辨率的方法重建图像608。显然图像608的分辨率优于图像602的分辨率并且与图像604和606的分辨率相近。

[0179] 尽管利用多切片CT成像系统10对改善图像分辨率的系统和方法进行了描述,但所述系统和方法能够用于多种成像系统,包括但不限于,磁共振成像(MRI)系统、光学扫描系统、CT系统、放射治疗系统、x射线成像系统、超声系统、核成像系统、磁共振波谱系统和正电子发射断层摄影(PET)成像系统。还应当指出的是,图像重建器44确定图像体318内任意图像体素相对于源302和探测面304的位置。还应当指出的是,在一种实施方式中,操作员经由操作员控制台50控制图像重建器44以改善图像的分辨率并确定分辨率是否改善。

[0180] 迭代重建图像的系统和方法的技术效果包括改善图像的分辨率。其它技术效果包括通过实现均匀的空间分辨率降低图像体素320的空间分辨率的差异。通过应用迭代重建图像的系统和方法而迭代重建的图像的分辨率的提高使得图像的噪声降低。图像体318的空间分辨率的差异可以是台架14的等角点和图像体素320、322中任意一个之间距离的函数。例如,图像体素320的空间分辨率随图像体素320和322中任意一个与等角点之间距离的增大而降低。等角点和图像体素320、322中任意一个之间的距离由于束32的投影角、DAS 42的有限积分时间、heel效应和其它因素中的至少一个因素而改变。在有限积分时间内,DAS 42对以一定的投影角采集的实际投影数据的一部分进行积分。然而,实际上,实际投影数据中进行积分的部分不是以精确的投影角采集到的,因而,在图像体318内产生方位角模糊。图像重建器44通过根据DAS触发频率选择正投影区内多个探测元来减轻方位角模糊。

[0181] 尽管针对不同的具体实施方式对本发明进行了描述,但本领域技术人员应当理解

的是,可在不脱离权利要求的构思和范围进行改进的情况下实现本发明。

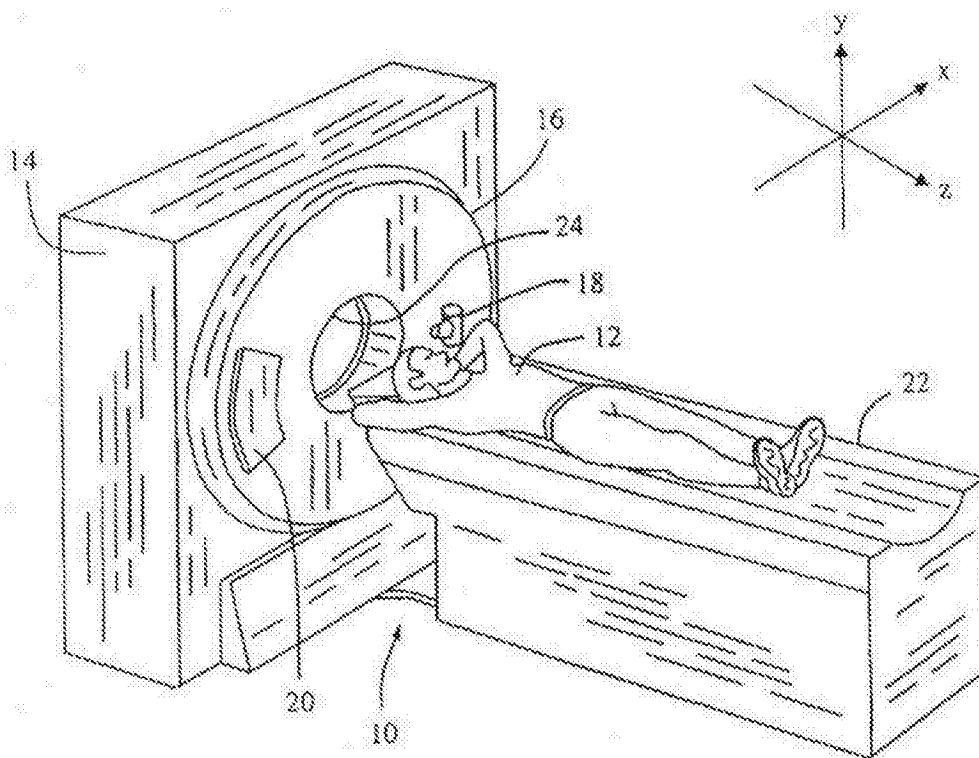


图1

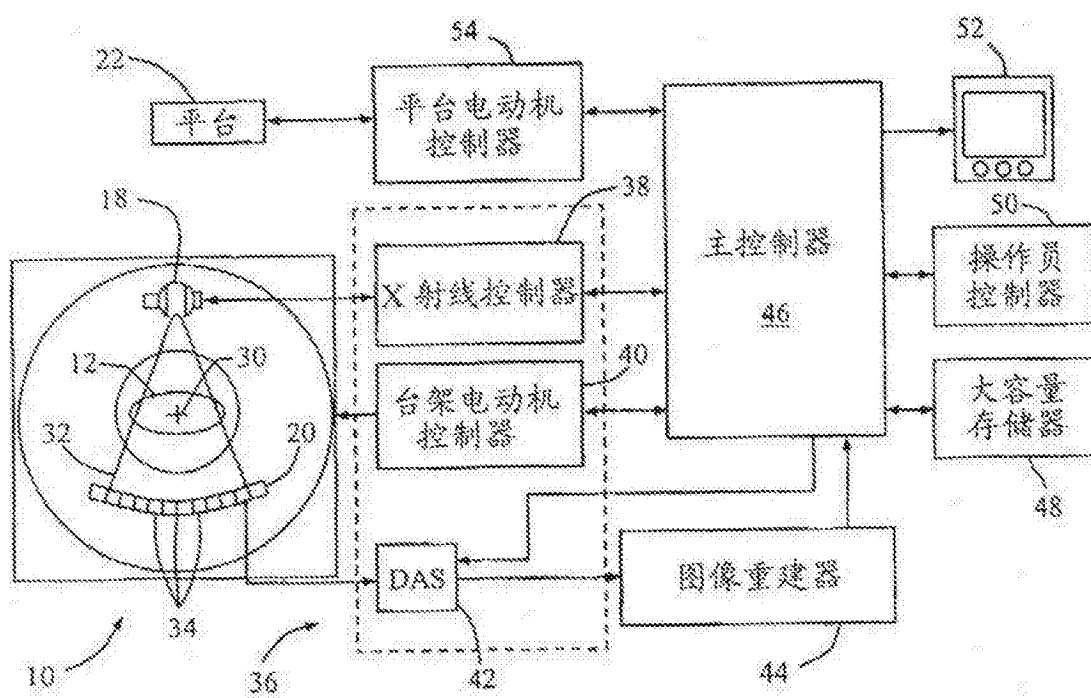


图2

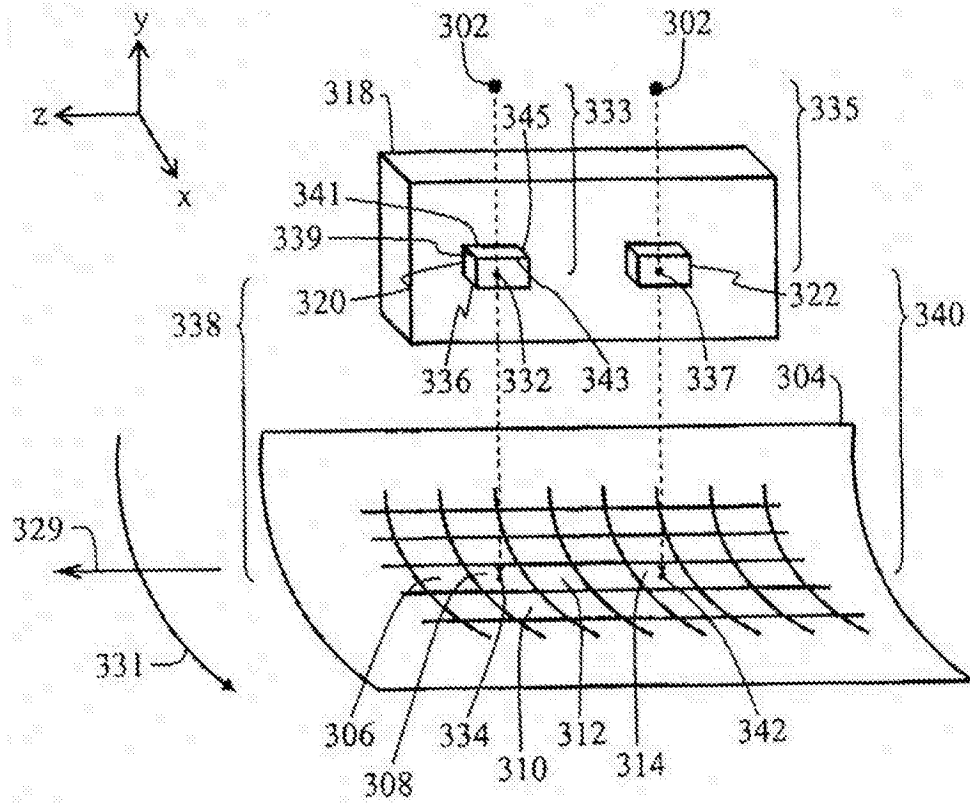


图3

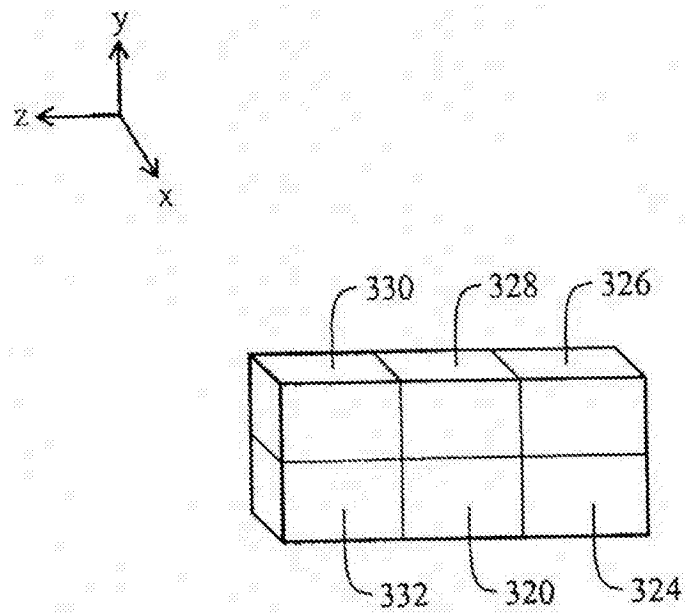


图4

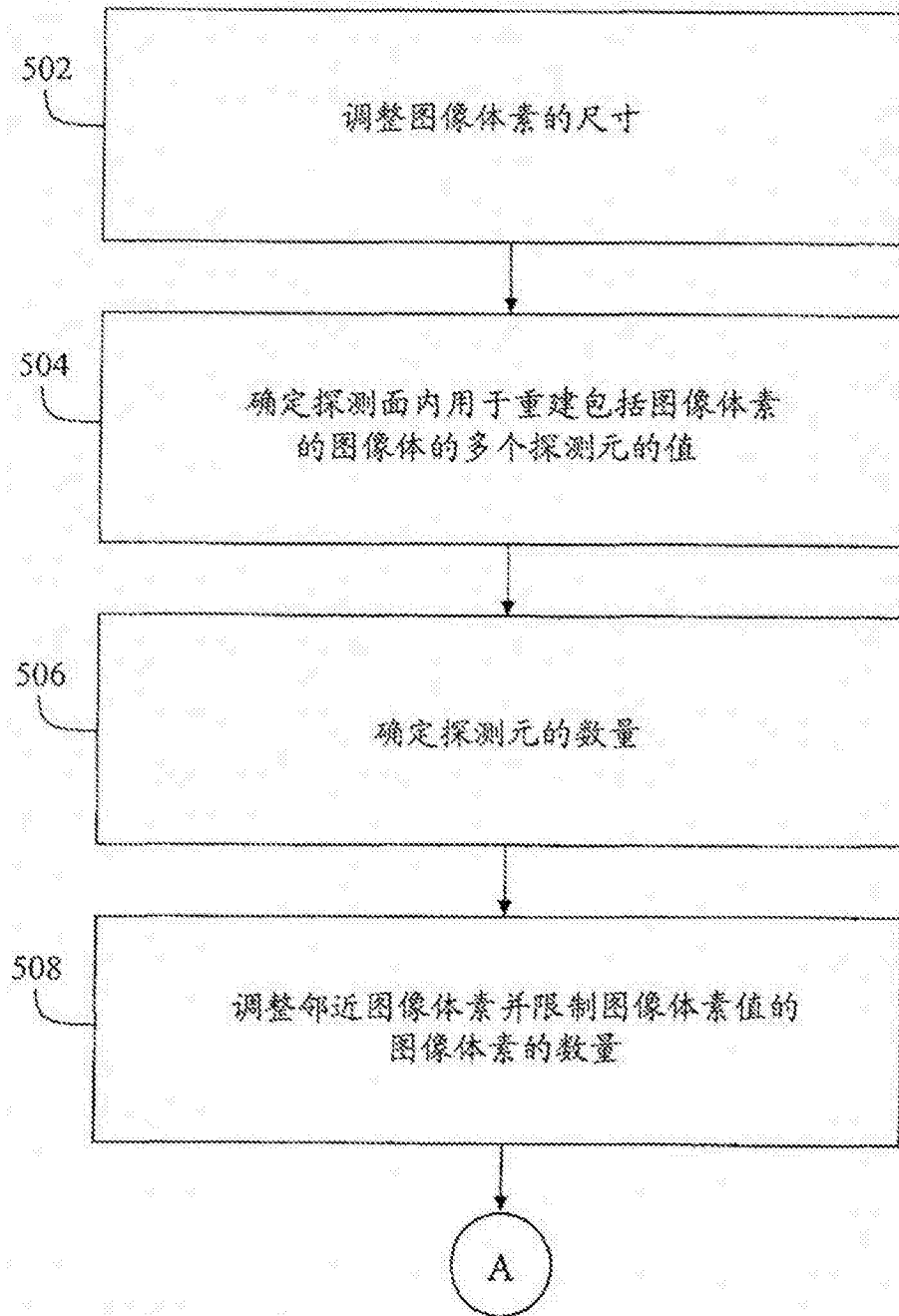


图5

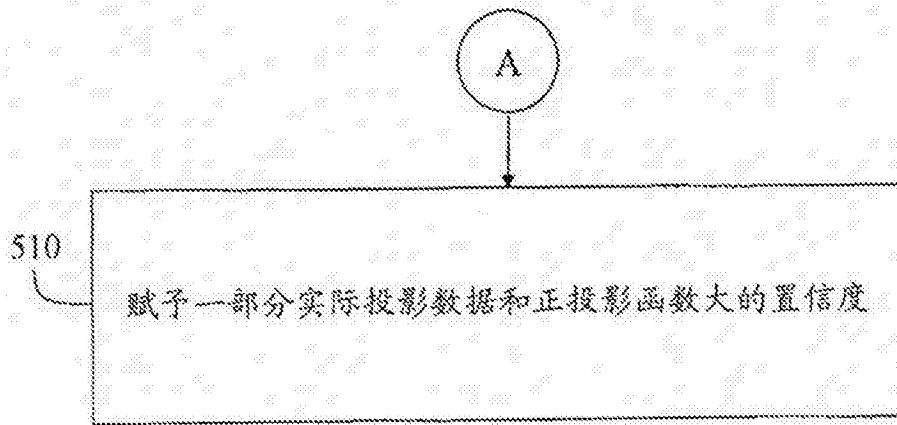


图6

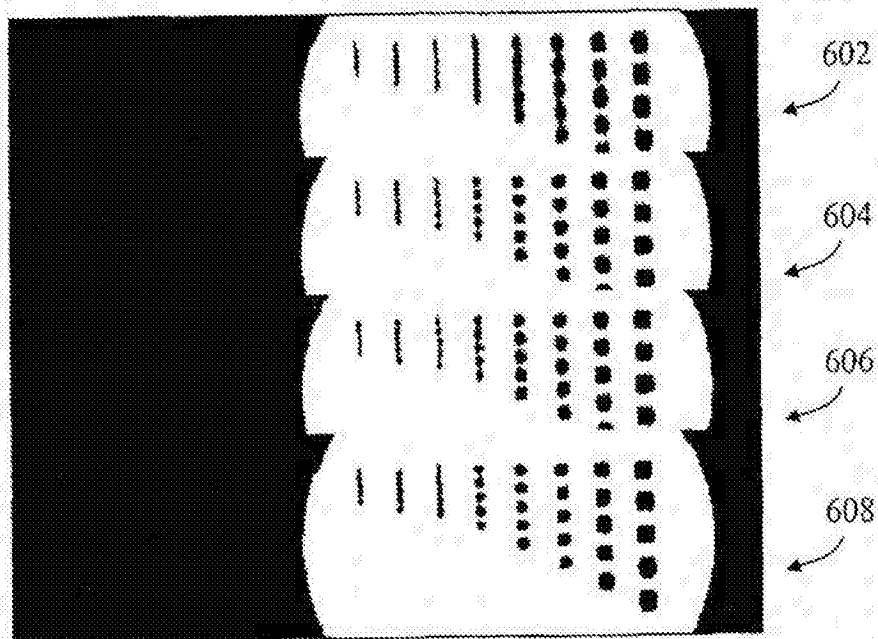


图7