

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1945630 B

(45) 授权公告日 2010.06.09

(21) 申请号 200610142141.2

CN 1304036 A, 2001.07.18, 全文.

(22) 申请日 2006.10.08

US 5864598 A, 1999.01.26, 说明书第2列第46-47行.

(30) 优先权数据

2005-295261 2005.10.07 JP

US 2004/0047449 A1, 2004.03.11, 说明书第7-19段、第76-79段, 第148-168段.

(73) 专利权人 GE 医疗系统环球技术有限公司

US 2002/0131549 A1, 2002.09.19, 说明书第17段、第57段、第63段、第78段.

地址 美国威斯康星州

(72) 发明人 西出明彦 萩原明 森川琴子

审查员 许馨

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 王岳 刘杰

(51) Int. Cl.

G06T 11/00(2006.01)

A61B 6/03(2006.01)

G03B 42/02(2006.01)

(56) 对比文件

US 20050201511 A1, 2005.09.15, 说明书第8-106段、第150-151段, 附图11.

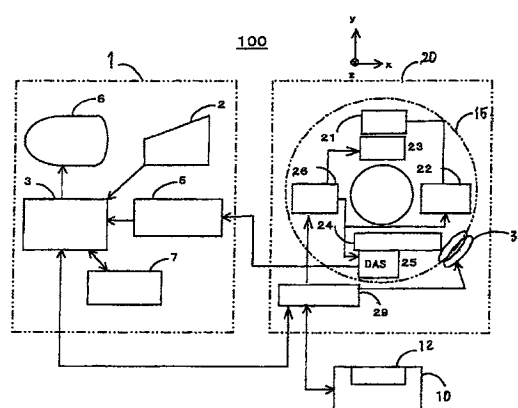
权利要求书 1 页 说明书 22 页 附图 19 页

(54) 发明名称

图像重构方法和计算 X 线断层成像设备

(57) 摘要

X 射线 CT 设备的 X 线断层照片的切片厚度在 xy 平面内保持为可行的恒定。在三维反投影之前的投影数据中,在卷积了 X 射线检测器(24)的行方向滤波器之后,可执行三维反投影以实现图像重构,由此根据距 xy 平面中心的距离控制 X 线断层照片的厚度,所述检测器的滤波器系数可逐个通道地调整。切片厚度可被控制以将其保持为可行的恒定而与距中心的距离无关,从而调整 X 线断层照片的图片质量。此外 X 射线检测器数据或在重构平面上所投影的投影数据的重构平面上距离的相对密度可通过创建虚拟投影数据来控制,从而提高 X 线断层照片的图片质量。



1. 一种图像重构方法,用于基于由多行 X 射线检测器 (24) 收集的投影数据来重构 X 线断层照片,所述多行 X 射线检测器用于检测从 X 射线生成装置 (21) 辐射的 X 射线,该图像重构方法包括:

基于所述投影数据来执行三维反投影处理,该三维反投影处理包括对所述投影数据卷积行方向滤波器,该行方向滤波器的滤波器系数在多行 X 射线检测器的一条通道和另一条通道彼此之间不同;和

对由所述三维反投影处理获得的数据卷积重构函数。

2. 一种 X 射线 CT 设备 (100),包括:

X 射线生成装置 (21);

多行 X 射线检测器 (24),用于检测从所述 X 射线生成装置 (21) 辐射的 X 射线;

数据收集装置 (25),用于通过围绕 X 射线生成装置 (21) 和多行 X 射线检测器 (24) 之间的旋转中心旋转所述 X 射线生成装置 (21) 和所述多行 X 射线检测器 (24) 来收集投影数据;

行方向滤波装置,用于对所述投影数据卷积行方向滤波器而滤波所述投影数据,该行方向滤波器使用的滤波器系数在所述多行 X 射线检测器的第一通道和第二通道彼此之间不同;和

反投影装置,用于通过三维反投影由所述行方向滤波装置处理而获得的投影数据来重构 X 线断层照片视图。

3. 根据权利要求 2 的 X 射线 CT 设备 (100),其中:

所述行方向滤波器的滤波器系数是去卷积滤波器。

4. 根据权利要求 2 的 X 射线 CT 设备 (100),其中:

所述反投影装置通过线性加权相加、多点加权相加或具有非线性加权系数的加权相加中的一种来在行方向上处理加权相加。

5. 根据权利要求 2 的 X 射线 CT 设备 (100),其中:

所述反投影装置包括反投影虚拟化的 X 射线检测器行的投影数据,该投影数据被虚拟化为通过加权相加或行方向滤波所创建的所述 X 射线检测器的投影数据。

6. 根据权利要求 2 的 X 射线 CT 设备 (100),其中:

在所述三维反投影处理中,X 射线检测器行的投影数据和通过加权相加或行方向滤波虚拟化 X 射线检测器行而创建的虚拟投影数据通过行方向滤波在重构平面上组合并匹配,并且该处理继续进行以便使给定方向上重构平面与数据的间隔和在 180 度的相反方向上重构平面与数据的间隔基本上相等。

7. 根据权利要求 6 的 X 射线 CT 设备 (100),其中:

在每个投影方向和相对该投影方向 180 度方向或基本上相反的 180 度方向上对组合所述 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量的投影数据行总量进行优化。

图像重构方法和计算 X 线断层成像设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种例如用于 X 射线 CT (计算 X 线断层成像) 设备的图像重构方法, 和 X 射线 CT 设备。

背景技术

[0002] 当要完成基于三维反投影方法对通过诸如螺旋扫描、传统扫描 (轴向扫描) 和电影扫描 (在三个方向扫描同一个点多次以在不同时间点获得 X 线断层照片) 所获得的投影数据进行图像重构时, 根据多行检测器每行上的完整投影数据执行图像重构的 X 射线 CT 设备是已知的。

[0003] 上述结构的设备不能执行如 Z 方向上相邻值的切片厚度的控制、噪声控制或伪像控制。

[0004] 考虑切片厚度, 其在图像重构的中心部分和周围部分之间不同, 并且不可能控制 X 线断层照片平面内位置上的切片厚度。

[0005] 在通过 X 射线 CT 设备的三维图像重构中, 为了通过使用不仅与 X 方向而且与 Z 方向对应的 X 射线检测器数据来计算图像像素的像素数据, 考虑其硬件适应, 以便可与要求特定像素具有多行信息的各种应用相兼容, 需要根据该信息的质量来执行三维反投影处理多次。但是, 这是冗余的计算。

[0006] 因此没有灵活性的图像重构硬件不能自由地将每行的投影数据反投影在给定像素上。

[0007] 为此, 当不同的来自该像素的多行投影数据经过反投影处理时, 应当根据多行投影数据的数据集合的几何条件 (X 射线生成源、X 射线检测器和对象之间的位置关系) 来执行反投影处理多次。

[0008] 为了解决上述问题, 所需要考虑的是三维图像重构算法, 该算法允许通过在投影数据空间中添加多行不同数据集合几何图形的投影数据来进行一轮反投影处理。

[0009] 更具体地, 例如如图 16 所示, 定义 X 射线管 21、X 射线检测器 24 和 X, Y, Z 轴的球面焦点。如图 16 所示的 X 射线管 21 和 X 射线检测器 24 绕 Z 轴旋转。

[0010] 图 17 是 X 轴方向所看到的图 16 中所示的结构视图。换句话说, 它在 YZ 平面。

[0011] 已经注意到, 图 17 示出了当在传统 (轴向) 重构或螺旋重构时以 Z 方向离开检测器中心达 ofz (以 z 方向的偏心, 也称为 dz) 的位置要产生图像时的特定视图的例子。

[0012] 接着如图 17 所示的在 Z 轴方向上要完成的重构的图像位置由重构平面 p 标识。在图 17 中, 在链接 X 射线管 21 和 X 射线检测器 24 的 X 射线焦点的直线 L 之外, 只示出穿过重构平面 p 的部分。

[0013] 只有重构平面 p 上该直线 L 所穿过的像素才直接与由检测器 12 检测的数据有关, 并且所有其它像素上的数据通过加权相加检测器数据而被创建, 每个这样的像素位于所述检测器数据之间。

[0014] 图 18 是来自 xy 平面的图 17 中所示的重构平面的视图。

[0015] 更详细地,与距离 X 射线管 21 相等距离相对应的部分中的像素直接与 X 射线检测器数据有关,并且所有其它像素上的数据通过加权相加检测器数据而被创建,每个这样的像素位于所述检测器数据之间。多行 X 射线检测器中具有诸如图 18 所示的曲线的一行投影线被称为实际弓形投影数据 rd。

[0016] 图 19 是示出虚拟检测器数据 vd、X 射线焦点、检测器和重构平面之间几何关系的图表。

[0017] 在三维图像重构中,如图 19 中例如用虚线表示的虚拟检测器数据 vd 根据图 18 中例如用实线表示的实际检测器数据 rd 来创建。因此,根据实际弓形投影数据 rd 来创建虚拟弓形投影数据 vd。

[0018] 这些由虚线表示的虚拟投影数据 vd 可使其看上去像数据以这种结构被收集。

[0019] 这种由虚线表示的虚拟投影数据 vd 可根据由实线表示的实际 X 射线检测器数据 rd 通过加权相加处理或其它方式来创建。

[0020] 从 YZ 平面看,由虚线表示的虚拟检测器数据 vd 具有诸例如如图 20 所示的结构。从 xy 平面看,它们具有诸例如如图 21 的结构。

[0021] 通过加权相加处理或其它方式根据实际 X 射线检测器数据 rd 来创建上述的虚拟数据 vd,将它们作为输入数据输入到三维图像重构硬件,并向三维图像重构硬件提供这种虚拟化的检测器结构的信息、例如如图 17 所示的 X 射线检测器结构的数据,来在图 20 所示的 X 射线检测器结构中重构图像。

[0022] 此外,在如图 22 所示的那样定义两个重构平面 p1 和 p2 并将它们彼此相加的情况下,在三维图像重构中,三维图像重构被处理两次以重构两个图像,并且添加那些图像。

[0023] 但是,将三维图像重构执行两次是冗余的。因为可在投影数据空间中完成添加,因此可能降低三维图像重构的处理质量。

[0024] 在实际操作中,考虑重构平面 p1,例如如图 23(a) 和 (b) 所示的那样获得实际弓形投影数据 rd。

[0025] 考虑重构图像 p2,例如如图 24(a) 和 (c) 所示的那样获得虚拟弓形投影数据 vd。

[0026] 例如,由于图 24(a) 和 (c) 所示的虚拟弓形投影数据 vd 因此经受了与如图 23(b) 和图 24(b) 所示的实际弓形投影数据 rd 同样的加权相加,因此有可能在三维图像重构之前添加重构平面 p1 和 p2 的投影,并且因此可在一轮完成处理三维图像重构以添加两个重构平面。

[0027] 此外,因为可按期望那样添加许多投影数据平面,并且可能使用加权来以任何期望的平衡添加它们并因此完成了加权相加。也可用并列投影数据获得类似效果。

[0028] 下面将讨论两个问题。

[0029] 具有不具有灵活性的图像重构硬件的问题

[0030] 如上所述,在三维图像重构的硬件适应中,不可能通过自由地根据每个视图各种图案中不同行的投影数据创建虚拟弓形投影数据来处理三维反投影。

[0031] 换句话说,与三维图像重构的硬件适应相兼容的是一般螺旋投影数据或传统(轴向)投影数据,其中缺乏虚拟弓形投影数据。

[0032] 对于这样的螺旋投影数据,桌子的移动速度可根据螺距信息、在 Z 方向上每个 X 射线检测器的宽度以及检测器行的数量得出。

[0033] 但是,这种信息项是固定的,直到一旦对于数据序列确定了拍摄条件为止,并且三维图像重构的几何系统由从检测器行的中心距图像的 Z 位置的距离 dz 来确定,以计算和确定三维图像重构的参数。

[0034] 在 xy 平面上该几何系统的表达可由例如图 25(a) 到 (f) 所示。在图 25(a) 到 (f) 中,为了简洁描述的缘故,旋转方向可以固定角度来表达,但是在实际中,其正确形式是已经在 xy 平面上的旋转方向上旋转了等效角度的状态。

[0035] 在上述情况中,Z 方向上的 dz 根据视图而变化,并且一行与 xy 平面上的重构平面匹配的等效弓形投影数据的位置根据该 dz 而变化。

[0036] 换句话说, dz 的绝对值约大,重构平面 p 上的一行等效弓形投影数据就越密,并且 dz 值越小,所述数据越松。

[0037] 因此在不具有灵活性的三维图像重构硬件中,在每个视图中 X 射线几何系统由给定的螺距、在 Z 方向检测器单元的厚度、以及切片数量来固定。

[0038] 类似地还在传统(轴向)扫描中,其 X 射线几何系统,即重构平面上的弓形投影数据的相对密度由 dz 固定。

[0039] 因此,弓形投影数据不能有效地在不具有灵活性的三维图像重构硬件(或软件)中被利用来按期望创建虚拟弓形投影数据。结果,没有足够图片质量的 X 线断层照片可经受图像重构。

[0040] 为此,存在对能够利用图像重构硬件(或软件)上的弓形投影数据来重构高精度图像的设备的需求。

[0041] 与通过 Feldkamp 重构对反投影处理进行加权的非一致性顺带地,在通用三维图像重构算法或通用 Feldkamp 图像重构算法中,存在对锥面射束重构加权系数进行加权的非一致性的问题。这是由于取决于上述 dz 值的弓形投影数据的相对密度。

[0042] 更详细地,在通过向相反数据施加加权相加来使用相反数据的图像重构算法中,是通过将加权相加的数据投影到重构平面上的像素来完成的,该投影是通过使用相位差 180 度的数据来完成的。还会出现不一致性,除非不同加权函数通过加权相加来创建时的和是 1.0,这导致 X 线断层照片上的伪像和 CT 值的均匀性不一致。

[0043] 例如,在如图 25 所示的重构平面 p 上的弓形投影数据 rd 中不直接匹配并且位于弓形投影数据 rd 之间的像素根据像素位于其间的弓形投影数据 rd 通过加权相加而被创建。

[0044] 当此时锥面射束重构加权系数的加权函数变化剧烈时,如果存在与相反数据不同的相对密度,那么像素加权函数的和将不同于 1.0。这导致加权的非一致性。

[0045] 参考图 26 来进行描述。如这里所示,在通过加权相加像素位于其间的弓形投影数据的创建之后,对使用加权相加的位于弓形投影数据之间的像素进行图像重构。因此,如果锥面射束重构加权系数的加权函数已经应用于弓形投影数据,那么也通过在此时进行加权相加来得出锥面射束重构加权系数的加权系数。

[0046] 如果加权相加是线性的加权相加并且原始锥面射束重构加权系数的加权函数不是线性的,那么将出现线性加权相加的差异,导致不一致性。

[0047] 例如,在三维图像重构时为每个像素计算用锥面射束重构加权系数所进行的加权,或者完成在形状上与加权函数类似的加权相加,将不会出现不一致性,但是这种处理将

要求复杂的三维图像重构处理。因此,计算的负载将变得太大而不现实。

[0048] 为此,通用 Feldkamp 图像重构算法涉及相对于加权的非一致性问题。

[0049] 本发明的目的是改善上述的问题,并提供一种用于处理三维图像重构的图像重构方法和 X 射线 CT 设备,能够实现高图片质量的 X 线断层照片的图像重构或所期望图片质量的 X 线断层照片的图像重构。

发明内容

[0050] 本发明可以在考虑三维反投影之前的投影数据的情况下,根据距 xy 平面中心的距离通过在检测器行方向(z 方向)卷积滤波器来控制 X 线断层照片的切片厚度,或者将切片厚度保持为可行的恒定而与中心距离无关,对于每个通道来调整所述滤波器的系数。

[0051] 根据第一方面,本发明提供一种图像重构方法,用于基于由多行 X 射线检测器收集的投影数据来重构 X 线断层照片,所述多行 X 射线检测器用于检测从 X 射线生成装置辐射的 X 射线,该图像重构方法包括:对所述投影数据卷积行方向滤波器的第一步骤;对所述由第一步骤获得的数据卷积重构函数的第二步骤;和基于所述由第二步骤获得的数据通过执行三维反投影处理来进行重构的第三步骤。

[0052] 通过根据上述第一方面的图像重构方法,切片厚度可通过对投影数据卷积行方向滤波器来控制,并且控制切片厚度的能力允许按照噪声和伪像来改善。

[0053] 根据本发明的第二方面,本发明提供了一种图像重构方法,用于基于由多行 X 射线检测器收集的投影数据来重构 X 线断层照片,所述多行 X 射线检测器用于检测从 X 射线生成装置辐射的 X 射线,该图像重构方法包括:对所述投影数据卷积重构函数的第一步骤;对所述由第一步骤获得的数据卷积行方向滤波器的第二步骤;和基于所述由第二步骤获得的数据通过执行三维反投影处理来进行重构的第三步骤。

[0054] 通过根据第二方面的图像重构方法,切片厚度可通过在卷积重构函数之后卷积行方向滤波器来控制,并且控制切片厚度的能力允许按照噪声和伪像来改善。

[0055] 根据第三方面,本发明提供了一种根据第一或第二方面的图像重构方法,其特征在于数据通过传统扫描(轴向扫描)、螺旋扫描或电影扫描来收集。

[0056] 通过根据本发明上述第三方面的图像重构方法,切片厚度可通过传统扫描(轴向扫描)、螺旋扫描或电影扫描等等或通过卷积重构函数之后卷积行方向滤波器来控制,并且控制切片厚度的能力允许按照噪声和伪像来改善。

[0057] 根据第四方面,本发明提供了一种根据第一到第三任一方面的图像重构方法,其特征在于多行 X 射线检测器的通道彼此之间的行方向滤波的滤波器系数不同。

[0058] 通过根据上述第四方面的图像重构方法,当向投影数据施加行方向滤波时,通道彼此之间行方向滤波的滤波器系数的差异使得切片厚度能够在重构的中心和周围之间相等。并且,控制切片厚度的能力允许按照噪声和伪像来改善。

[0059] 根据第五方面,本发明提供了一种根据第一到第四任一方面的图像重构方法,其特征在于多行 X 射线检测器的行彼此之间行方向滤波的滤波器系数不同。

[0060] 通过根据上述第五方面的图像重构方法,由于对行彼此之间滤波器系数不同的行方向滤波器进行卷积,尤其用传统扫描(轴向扫描)来进行卷积,因此可执行通过 X 射线锥面角度的差异来调整图片质量。

[0061] 根据第六方面,本发明提供了一种根据第一到第五任一方面的图像重构方法,其特征在于行方向滤波的滤波器系数是去卷积滤波。

[0062] 通过根据上述第六方面的图像重构方法,因为去卷积行方向滤波器是逐行卷积的,所以每行的切片厚度可变薄。

[0063] 根据第七方面,本发明提供了一种根据第一到第六任一方面的图像重构方法,其特征在于当要完成三维反投影处理时,执行在行方向上通过线性加权相加的加权相加、多点加权相加或具有非线性加权相加系数的加权相加。

[0064] 通过根据第七方面的图像重构方法,当行方向上的加权相加要通过多点加权相加或具有非线性加权相加系数的加权相加来完成时,“X 线断层照片的图片质量改善”,“控制切片厚度变薄”等等变得可能。

[0065] 根据第八方面,本发明提供了一种根据第一到第七任一方面的图像重构方法,其特征在于当要完成三维反投影处理时,通过加权相加或行方向滤波来创建 X 射线检测器行的投影数据,其是通过 X 射线检测器虚拟化的投影数据,并且还可通过覆盖由加权相加创建的虚拟化 X 射线检测器行的投影数据来完成三维反投影处理。

[0066] 通过根据第八方面的图像重构方法,因为通过加权相加或行方向滤波来创建虚拟化检测器行的投影数据,并且执行三维图像重构,因此 X 射线检测器数据或投影数据的实际和虚拟行可精确与锥面射束加权系数相乘,得到高图片质量的 X 线断层照片。

[0067] 根据第九方面,本发明提供了一种根据第八方面的图像重构方法,其特征在于当要完成三维反投影处理时,就如此来执行该处理,如果 X 射线检测器的投影数据和虚拟化的 X 射线检测器的通过加权相加或行方向滤波创建的虚拟投影数据在组合上与重构平面匹配,那么重构平面上给定方向上组合投影数据的投影数据与虚拟投影数据匹配的间隔基本上等于在重构平面上在 180 度相反方向上组合投影数据的投影数据和虚拟投影数据匹配的间隔。

[0068] 通过根据上述第九方面的图像重构方法,因为可能使在重构平面的给定方向上所组合的实际和虚拟投影数据的间隔基本上等于在重构平面与之相反的 180 度方向上所组合的实际和虚拟投影数据的间隔,因此锥面射束重构加权系数的和,即在一个方向上的数据和与之相反的 180 度方向上的数据的和大约被一直保持为 1,不存在加权函数的不一致性,并且经受了三维重构的 X 线断层照片减少了伪像,并导致重构平面内 CT 值改善的一致性。

[0069] 根据第十方面,本发明提供了一种根据第八方面的图像重构方法,其特征在于可在每个投影方向(视向)和相对该投影方向 180 度方向或基本上相反的 180 度方向上优化组合 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量的投影数据行总量。

[0070] 通过根据上述第十方面的图像重构方法,因为在每个投影方向(视向)和相对该投影方向 180 度方向或基本上相反的 180 度方向上优化组合 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量的投影数据行总量,可以在短的图像重构期间中获得高图片质量的 X 线断层照片。

[0071] 根据第十一方面,本发明提供了一种根据第八方面的图像重构方法,其特征在于在投影数据行总量最大处的每个投影方向(视向)上统一所有投影方向(视向),投影数据

行总量组合了 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量。

[0072] 通过根据上述第十一方面的图像重构方法,因为在每个投影方向(视向)上组合 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量的投影数据行总量与每个投影方向上的最大值匹配,因此获得高图片质量的 X 线断层照片。

[0073] 根据第十二方面,本发明提供了一种 X 射线 CT 设备,具有 X 射线生成装置;多行 X 射线检测器,用于检测从 X 射线生成装置辐射的 X 射线;数据收集装置,用于通过围绕 X 射线生成装置和多行 X 射线检测器之间的旋转中心旋转 X 射线生成装置和多行 X 射线检测器来收集投影数据;行方向滤波装置,用于对由所述数据收集装置收集的投影数据卷积行方向滤波器;重构卷积装置,用于对由所述行方向滤波装置获得的投影数据卷积重构函数;和反投影装置,用于通过三维反投影由所述重构卷积装置处理而获得的投影数据来重构 X 线断层照片视图。

[0074] 在根据上述第十二方面的 X 射线 CT 设备中,切片厚度可通过对投影数据卷积行方向滤波来控制,并且控制切片厚度的能力允许按照噪声和伪像来改善。

[0075] 根据第十三方面,本发明提供了一种 X 射线 CT 设备,其特征在于包括:所谓的用于该 X 射线 CT 设备的数据收集装置,其可通过使对应于 X 射线生成装置的多行 X 射线检测器围绕它们之间的旋转中心旋转来收集 X 射线数据;重构卷积装置,用于对由所述数据收集装置收集的投影数据卷积重构函数;行方向滤波装置,用于基于由所述重构卷积装置获得的投影数据在行方向上卷积行方向滤波器;和反投影装置,用于通过三维反投影由所述行方向滤波装置处理而获得的投影数据来重构 X 线断层照片视图。

[0076] 在根据上述第十三方面的 X 射线 CT 设备中,切片厚度可通过在卷积重构函数之后卷积行方向滤波器来控制,并且控制切片厚度的能力允许按照噪声和伪像来改善。

[0077] 根据第十四方面,本发明提供了一种根据第十二或十三方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于数据收集是通过传统扫描、螺旋扫描或电影扫描来完成的。

[0078] 在根据上述第十四方面的 X 射线 CT 设备中,切片厚度可在预处理之后或类似地在通过传统扫描、螺旋扫描和电影扫描的任一个的卷积重构函数之后进行行方向滤波来控制,并且控制切片厚度的能力允许按照噪声和伪像来改善。

[0079] 根据第十五方面,本发明提供了一种根据第十二到十四任一方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于通道彼此之间行方向滤波器的滤波器系数不同。

[0080] 在根据上述第十五方面的 X 射线 CT 设备中,在图像重构的中心部分和周围部分之间切片厚度可被控制为相同,因为在将投影数据施加到行方向滤波器时通道彼此之间行方向滤波器的滤波器系数不同,并且控制切片厚度的能力允许按照噪声和伪像来改善。

[0081] 根据第十六方面,本发明提供了一种根据第十二到十五任一方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于行彼此之间行方向滤波器的滤波器系数不同。

[0082] 在根据上述第十六方面的 X 射线 CT 设备中,由于对行彼此之间滤波器系数不同的行方向滤波器进行卷积,尤其用传统扫描(轴向扫描)来进行卷积,因此可执行通过 X 射线锥面角度的差异来调整图片质量。

[0083] 根据第十七方面,本发明提供了一种根据第十二到十六任一方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于行方向滤波的滤波器系数是去卷积滤波。

[0084] 在根据上述第十七方面的 X 射线 CT 设备中,因为在每行上去卷积行方向滤波器,

所以每行的切片厚度可变薄。

[0085] 根据第十八方面,本发明提供了一种根据第十二到十七任一方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于反投影装置通过线性加权相加、多点加权相加或具有非线性加权系数的加权相加来在行方向上处理加权相加。

[0086] 在根据上述第十八方面的 X 射线 CT 设备中,当行方向上的加权相加要通过多点加权相加或具有非线性加权相加系数的加权相加来完成时,“X 线断层照片的图片质量改善”,“控制保持切片厚度变薄”等等变得可能。

[0087] 根据第十九方面,本发明提供了一种根据第十二到十八任一方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于当要完成三维反投影处理时,通过加权相加或行方向滤波来创建 X 射线检测器行的投影数据,其是通过 X 射线检测器虚拟化的投影数据。

[0088] 在根据上述第十九方面的 X 射线 CT 设备中,因为通过加权相加或行方向滤波来创建虚拟化检测器行的投影数据,并且执行三维图像重构,因此 X 射线检测器数据或投影数据的实际和虚拟行可精确与锥面射束加权系数相乘,得到高图片质量的 X 线断层照片。

[0089] 根据第二十方面,本发明提供了一种根据第十九方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于当要完成三维反投影处理时,如果 X 射线检测器的投影数据和通过加权相加或用 z 滤波器创建的虚拟投影数据在组合上与重构平面匹配,那么重构平面上给定方向上组合投影数据的投影数据与虚拟投影数据匹配的间隔基本上等于在重构平面上在 180 度相反方向上组合投影数据的投影数据和虚拟投影数据匹配的间隔。

[0090] 在根据上述第二十方面的 X 射线 CT 设备中,因为可能使在重构平面的给定方向上所组合的实际和虚拟投影数据的间隔基本上等于在重构平面与之相反的 180 度方向上所组合的实际和虚拟投影数据的间隔,因此锥面射束重构加权系数的和,即在一个方向上的数据和与之相反的 180 度方向上的数据的和大约被一直保持为 1,不存在加权函数的一致性,并且经受了三维重构的 X 线断层照片减少了伪像,并导致重构平面内 CT 值改善的一致性。

[0091] 根据第二十一方面,本发明提供了一种根据第十九方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于可在每个投影方向(视向)和相对该投影方向 180 度方向或基本上相反的 180 度方向上优化组合 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量的投影数据行总量。

[0092] 根据上述第二十一方面,因为在每个投影方向(视向)和相对该投影方向 180 度方向或基本上相反的 180 度方向上优化组合 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量的投影数据行总量,可以在短的图像重构期间中获得高图片质量的 X 线断层照片。

[0093] 根据第二十二方面,本发明提供了一种根据第二十方面的 X 射线 CT 设备,其特征在于在投影数据行总量最大处的每个投影方向(视向)上统一所有投影方向(视向),投影数据行总量组合了 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量。

[0094] 根据上述第二十二方面,因为在每个投影方向(视向)上组合 X 射线检测器行的投影数据数量和虚拟化 X 射线检测器行的投影数据数量的投影数据行总量与每个投影方向上的最大值匹配,因此获得高图片质量的 X 线断层照片。

[0095] 根据本发明,提供了一种用于处理三维图像重构的图像重构方法和 X 射线 CT 设备,能够实现高图片质量的 X 线断层照片的图像重构或所期望图片质量的 X 线断层照片的图像重构。

[0096] 此外,根据本发明的图像重构方法和 X 射线 CT 设备使 X 线断层照片的切片厚度能够通过所谓的行方向滤波根据距 xy 平面中心的距离来控制,该 xy 平面是重构平面。

[0097] 并且,将切片厚度保持为可行的恒定而与到中心的距离无关。

[0098] 这提供了按照噪声和伪像来进行改善的效果。还存在通过去卷积 z 滤波来使切片厚度变薄的效果。

[0099] 此外,本发明的特征在于,在执行三维反投影时,通过加权相加或 z 方向滤波来创建检测器行的投影数据,其是通过 X 射线检测器虚拟化的投影数据。存在另一种通过三维重构方法改善图片质量的效果,其特征在于,当已经用重构函数进行卷积处理的投影数据要受到三维反投影时,其中实际 X 射线检测器的投影数据和通过加权相加或用 z 滤波器由虚拟 X 射线检测器创建的虚拟投影数据在组合上与重构平面匹配,那么重构平面上给定方向上组合投影数据的投影数据与虚拟投影数据匹配的间隔基本上等于在重构平面上在 180 度相反方向上所组合的实际和虚拟投影数据匹配的间隔。

[0100] 并且,可在不能自由创建虚拟弓形投影数据的三维图像重构硬件(或软件)中的任何期望的位置上创建弓形投影数据。

[0101] 此外,当虚拟弓形数据被投影到重构平面时可控制不同数据之间距离的相对密度。

[0102] 还可能在将相反数据的虚拟弓形投影数据投影到重构平面时,使不同数据之间距离的相对密度统一。

[0103] 前述三种效果使得有可能确保各种应用的灵活性,这使三维图像重构即使在没有自由度的三维图像重构硬件(或软件)中也能适应。

[0104] 还通过控制虚拟弓形投影数据的相对密度,用卷积三维图像重构算法或 Feldkamp 图像重构算法加权三维图像重构的不一致性可降低。因此,图像重构的精确性增强,使图片质量提高。

[0105] 此外,通过保证应用的灵活性,在传统非三维图像重构中实现的 z 滤波器技术现在可实现为在三维图像重构中不仅用螺旋扫描而且用传统扫描(轴向扫描)或电影扫描来进行的行方向滤波。这使得减少伪像并且改善噪声得以实现。

[0106] 尽管当一个或多个循环的数据用来执行三维图像重构时需要一个或多个循环的三维反投影,由于相同角度的数据可根据本发明在投影数据空间中被合并或经过加权相加,因此三维图像重构一个或多个循环的数据可在一个循环的三维反投影中实现。

[0107] 并且,由于投影数据在相位上相差 180 度或 360 度,如果它们是平行的,则可在投影数据空间中被合并或经过加权相加,那么可通过半个循环的反投影来实现半个或更多循环的数据的图像重构。

[0108] 此外,不仅对于螺旋数据而且对于传统数据,当要通过用任何期望 dz 的虚拟弓形投影数据或任何期望间距的螺旋数据来替换实际弓形投影数据进行特定 dz 位置中的重构时,就可能控制虚拟弓形投影数据的相对密度并降低与加权有关的不一致性。

[0109] 并且,传统数据可经过行方向滤波。

附图说明

- [0110] 图 1 是在一种模式下执行本发明的 X 射线 CT 设备的框图。
- [0111] 图 2 是用于描述 X 射线管和多行 X 射线检测器的旋转的附图。
- [0112] 图 3 是示出在一种模式下执行本发明的 X 射线 CT 设备的操作概观的流程图。
- [0113] 图 4 是示出预处理细节的流程图。
- [0114] 图 5 是示出三维图像重构处理细节的流程图。
- [0115] 图 6 包括示出在 X 射线发射方向上在重构区域投影线条的状态的概念图。
- [0116] 图 7 是示出在检测平面上所投影的线条的概念图。
- [0117] 图 8 是示出在重构区域上所投影的状态数据 DT (视图, x, y) 的概念图。
- [0118] 图 9 是示出在重构区域上的像素的反投影像素数据 D2 的概念图。
- [0119] 图 10 是用于描述通过全视图添加与像素对应的反投影像素数据 D2 来获得反投影数据 D3 的状态的附图。
- [0120] 图 11 包括示出在 X 射线发射方向上在圆形重构区域中投影线条的状态的概念图。
- [0121] 图 12 包括用于描述行方向滤波卷积的附图。
- [0122] 图 13 包括示出行方向滤波系数和切片厚度之间关系的图表。
- [0123] 图 14 是一个图表, 示出在周围部分中经过行方向滤波的 X 线断层照片, 其中切片厚度较大, 并且示出通过行方向滤波而有统一的切片厚度的 X 线断层照片。
- [0124] 图 15 包括示出为周围部分中通道去卷积行方向滤波和为重构中心部分中的通道去卷积行方向滤波的图表。
- [0125] 图 16 是示出 X 射线几何系统的图表。
- [0126] 图 17 是示出如 X 轴方向上看去的 X 射线检测器和重构平面的图表。
- [0127] 图 18 是示出重构平面和从 X 射线检测器投影的弓形投影数据的图表。
- [0128] 图 19 是示出重构平面和从 X 射线检测器投影的实际弓形投影数据和虚拟弓形投影数据的图表。
- [0129] 图 20 是示出重构平面和 X 射线检测器的图表。
- [0130] 图 21 是示出重构平面和虚拟弓形投影数据的图表。
- [0131] 图 22 是示出在投影数据空间中多图像添加的图表。
- [0132] 图 23 是示出重构平面 p1 的图表。
- [0133] 图 24 包括示出重构平面 p2 的图表。
- [0134] 图 25 包括示出重构平面和虚拟弓形投影数据的图表。
- [0135] 图 26 是用于描述相反数据和锥面射束加权系数之间不一致性的图表。
- [0136] 图 27 包括示出彼此相反的数据集合之间密度差异的概念图的图表。
- [0137] 图 28 包括示出弓形投影数据集合之间密度差异的概念图的图表。
- [0138] 图 29 是示出降低相反数据和锥面射束加权系数之间不一致性情况的图表。
- [0139] 图 30 包括示出密度相等的弓形投影数据的相反集合的图表。
- [0140] 图 31 包括示出弓形投影数据的概念图的图表。

具体实施方式

- [0141] 下面参考附图详细描述一种执行本发明的模式。顺带地, 这不是对本发明的限制。

[0142] 图 1 是在一种模式下执行本发明的 X 射线 CT 设备的结构框图。

[0143] 在该模式下执行本发明的 X 射线 CT 设备 100 装备有操作工作台 1、图像拾取台 10 和扫描台架 20。

[0144] 操作控制台 1 装备有用于接受操作员的输入的输入单元 2、用于执行图像重构处理等和与本发明有关操作的中心处理单元 3、用于收集通过扫描台架 20 所采集的投影数据的数据收集缓冲器 5、用于显示根据投影数据重构的 CT 图像的监视器 6、和用于存储程序、数据和 X 射线 CT 图像的存储器单元 7。

[0145] 图像拾取台单元 10 装备了安装有对象的支架 12, 该支架移进和移出扫描台架 20 的膛 (空的部分)。支架 12 通过构建在台单元 10 中的电极随所述台上升、下降并线性移动。

[0146] 扫描台架 20 装备有 X 射线管 21、X 射线控制器 22、准直仪 23、检测从 X 射线管 21 辐射的 X 射线的多行 X 射线检测器 24、DAS (数据采集系统) 25、控制 X 射线管 21 的旋转控制器 26、围绕在 X 射线管 21 和多行 X 射线检测器 24 之间的旋转中心、或更具体地围绕对象身体轴线的多行 X 射线检测器 24 等等、和与操作控制台 1 和图像拾取台 10 交换控制信号等的调整控制器 29。

[0147] X 射线管 21 对应于与本发明有关的 X 射线生成装置的一个例子, 并且多行 X 射线检测器 24 对应于与本发明有关的多行 X 射线检测器的一个例子。多行 X 射线检测器 24 可以是平面 X 射线检测器。

[0148] 图 2 是用于描述 X 射线管 21 和多行 X 射线检测器 24 的几何排列的附图。

[0149] 例如, X 射线管 21 和多行 X 射线检测器 24 围绕旋转中心 IC 旋转。

[0150] 垂直方向被表示为 y 方向, 水平方向为 x 方形, 并且与之垂直的台行进方向为 z 方向, X 射线管 21 和多行 X 射线检测器 24 旋转的平面是 xy 平面。支架 12 运动的方向是 z 方向。

[0151] X 射线管 21 生成 X 射线束, 称为锥面射束 CB。当锥面射束 CB 的中心轴的方向与 y 方向平行时, 视角设定为 0° 。

[0152] 多行 X 射线检测器 24 例如具有 256 个检测器行。每个检测器行例如具有 1024 个信道。

[0153] 通过来自多行 X 射线检测器 24 的 DAS25 对用 X 射线照射而收集的投影数据进行 A/D 转换, 并且经由滑环 30 将所述投影数据输入到数据收集缓冲器 5。由 CPU (中央处理单元) 3 根据存储单元 7 中的程序, 对输入到数据收集缓冲器 5 的数据进行有关本发明的图像重构处理, 以生成显示在监视器 6 上的图像。

[0154] 图 3 是示出 X 射线 CT 设备 100 操作概观的流程图。在参考图 3 的同时在下面将描述与本发明有关的操作, 集中在中央处理单元 3 的操作。

[0155] 在步骤 S1, X 射线管 21 和多行 X 射线检测器 24 围绕拍照对象旋转, 并且当支架 12 要被螺旋扫描时, 由视角视图、检测器行编号 j 和通道编号 i 表示的投影数据 $D0(\text{view}, j, i)$ 在线性移动台的同时被收集。

[0156] 在传统扫描 (轴向扫描) 的情况下, 投影数据 $D0(\text{view}, j, i)$ 在台保持静止的同时被收集。(考虑到该数据收集处理, 之后将参考图 4 到图 12 来进行描述。)

[0157] 对投影数据 $D0(\text{view}, j, i)$ 进行预处理。如图 4 所示, 预处理例如包括偏移校正的

步骤 S21、对数转换的步骤 S22、X 射线质量校正的步骤 S23、和灵敏度校正的步骤 S24。

[0158] 在步骤 S3, 预处理的投影数据 $D1(\text{view}, j, i)$ 经过射束硬化校正。在射束硬化校正 S3 中, 由 $D1(\text{view}, j, i)$ 表示的已经经过预处理 S2 的灵敏度校正 S4 的投影数据和由 $D11(\text{view}, j, i)$ 表示的射束硬化校正 S 3 之后的数据例如以多项式形式表达, 就如以下的数学表达式 (1) 所表示的那样。

[0159] 数学表达式 1

[0160] $D11(\text{view}, j, i) =$

[0161]
$$(1)$$

[0162] $D1(\text{view}, j, i) \cdot (B_0(j, i) + B_1(j, i) \cdot D1(\text{view}, j, i) + B_2(j, i) \cdot D1(\text{view}, j, i)^2)$

[0163] 因为每 j 行的检测器经过独立的射束硬化校正, 因此如果不同数据收集系统的管电压在拍摄条件下不同, 那么行彼此之间检测器的 X 射线能量特性之间的差异可被补偿。

[0164] 在步骤 S4, 对经过了射束硬化校正的投影数据 $D11(\text{view}, j, i)$ 进行 z 滤波器卷积处理, 由此在 z 方向应用了滤波。

[0165] 因此在步骤 S4, 如图 12(a) 所示, 切片厚度可通过改变行方向滤波的滤波器的数量被控制。在该情况下, 如图 12(b) 所示, 对每行 X 射线投影数据卷积行方向滤波系数。如图 12 所示, 在以每个视角和在每个数据收集系统中进行预处理之后, 已经经过射束硬化校正的多行 X 射线检测器 $D11(\text{view}, j, i)$ ($i = 1$ 到 CH, $j = 1$ 到 ROW) 的投影数据在行方向经过滤波, 该滤波的行方向滤波尺寸是 5 行, 比如 ($w_1(i), w_2(i), w_3(i), w_4(i)$ 和 $w_5(i)$)。

[0166] 因此, 如数学表达式 (2) 所表示的那样, 滤波器系数的和是 1。

[0167] 数学表达式 2

[0168]
$$\sum_{k=1}^5 w_k(i) = 1 \quad (2)$$

[0169] 校正的检测器数据 $D12(\text{view}, j, i)$ 如以下数学表达式 (3) 所表示的那样。

[0170] 数学表达式 3

[0171]
$$D12(\text{view}, j, i) = \sum_{k=1}^5 (D11(\text{view}, j+k-3, i) \cdot w_k(j)) \quad (3)$$

[0172] 顺带地, 由 CH 表示的通道最大值和由 ROW 表示的行的最大值, 将由数学表达式 (4) 和 (5) 来控制。

[0173] 数学表达式 4

[0174] $D11(\text{view}, -1, i) = D11(\text{view}, 0, i) = D11(\text{view}, 1, i) \quad (4)$

[0175] 数学表达式 5

[0176] $D11(\text{view}, \text{ROW}, i) = D11(\text{view}, \text{ROW}+1, i) = D11(\text{view}, \text{ROW}+2, i) \quad (5)$

[0177] 更详细地, 例如图 13(a) 所示, 当要使切片厚度变薄时, 使用行方向滤波 FL_a, 行方向滤波的滤波系数 FL 是在行方向上 X 射线检测器 24 的中心位置 Wk_0 中的第一量值 F_a 并且和距中心位置 Wk_0 的距离成比例地减小直到其在距离 Wk_a 处变为 0。

[0178] 例如图 13(a) 所示, 当要增加切片厚度时, 使用行方向滤波 FL_b, 行方向滤波的滤波系数 FL 是在行方向上 X 射线检测器 24 的中心位置 Wk_0 中的第二量值 F_b (其小于第一量值 F_a) 并且和距中心位置 Wk_0 的距离成比例地减小直到其在距离 Wk_b 处变为 0, 其中距离 Wk_b 大于距离 Wk_a 。

[0179] 作为执行本发明的另一模式,例如图 15(a) 到 (c) 所示,较薄的切片厚度的 X 线断层照片可通过使行方向滤波的滤波器系数经受去卷积滤波而被实现。

[0180] 更具体地,例如图 15(a) 到 (c) 所示,来自 X 射线检测器 24 周围部分中通道的投影数据经受去卷积行方向滤波处理 FLc,其具有在中心位置 Wk0 附近变化剧烈的滤波器系数,并且来自重构中心部分中通道的投影数据经受去卷积行方向滤波处理 FLd,其具有低于去卷积行方向滤波处理 FLc 中的滤波器系数。

[0181] 或者例如图 14 所示,相比于在通用 CT X 线断层照片 PA 中重构中心部分,在周围部分中的切片厚度 SLa 较大。

[0182] 在另一方面,在与本发明有关的行方向滤波中,其随着距例如图 13(b) 所示的中心部分中通道的距离而变化。

[0183] 更具体地,例如图 13(b) 所示,与本发明有关的行方向滤波如此处理行方向滤波,以便随距中心部分中通道的距离增加而增大中心位置的滤波器系数,并减小距离 WK,其中根据相比于中心部分在周围部分附近较少的行上的投影数据来使滤波器系数变为 0。

[0184] 在该过程中,如图 13(b) 所示,可用周围部分中的滤波器系数 FLa 和中心部分中的滤波器 FLb 来处理行方向滤波,或者根据距中心位置 Wk0 的距离,可用从滤波器系数 FLa 平滑且连续变化到滤波器系数 FLb 的滤波器系数来处理行方向滤波。

[0185] 通过这样做,例如图 14 所示,就使得在使用与本发明有关的行方向滤波的情况下,无论在重构的周围部分或在中心部分中其厚度是基本上均匀的 X 线断层照片 p 可经受图像重构。

[0186] 通过以如此方式控制多行 X 射线检测器 24 的中心部分中通道和周围部分中通道的行方向滤波器系数,还可在中心部分和周围部分中控制切片厚度。通过稍微增加行方向滤波中的切片厚度,可依照伪像和噪声来得到实质上的改善。以如此方式,依照伪像和依照噪声的改善程度也可被控制。换句话说,可控制已经经过三维图像重构的 X 线断层照片,即 xy 平面上的图片质量。此外,在另一个执行本发明的模式下,通过将去卷积滤波器用作为行方向(z 方向)滤波器系数,也可实现较薄切片厚度的 X 线断层照片。

[0187] 在步骤 S5,处理重构函数卷积。因此,进行傅立叶变换,进行与重构函数的乘法,和进行傅立叶逆变换。在重构函数卷积处理 S5,z 滤波器卷积处理之后的数据由 D12 表示、重构函数卷积处理之后的数据由 D13 表示、以及重构函数要与 Kernel(j) 卷积,重构函数卷积处理可由以下数学表达式 (6) 来表示。

[0188] 数学表达式 6

$$D13(\text{view}, j, i) = D12(\text{view}, j, i) * \text{Kernel}(j) \quad (6)$$

[0190] 因此,由于重构函数 kernel(j) 允许 j 个检测器行的每一行进行独立的重构函数卷积处理,所以可逐行校正噪声特性和分辨率特性的差异。

[0191] 在步骤 S6,已经经过了重构函数卷积处理的投影数据 D13(view, j, i) 经受三维反投影,以得出反投影数据 D3(x, y)。经过图像重构的图像在与 z 轴正交的平面(即 xy 平面)上经受三维图像重构。随后的重构区域 P 被设定为与 xy 平面平行。该三维反投影处理将在之后参考图 5 来描述。

[0192] 在步骤 S7,反投影数据 D3(x, y, z) 经过后处理,包括图像滤波器卷积和 CT 值的转换,以获得 X 线断层照片 D31(x, y)。

[0193] 在后处理的图像滤波器卷积中,由 $D31(x, y, z)$ 表示的三维反投影的 X 线断层照片、由 $D32(x, y, z)$ 表示的已经经过图像滤波器卷积的数据、和由 $Filter(z)$ 表示的图像滤波器,受以下数学表达式 (7) 的控制。

[0194] 数学表达式 7

$$[0195] \quad D32(x, y, z) = D31(x, y, z) * Filter(z) \quad (7)$$

[0196] 因此,由于允许对 j 个检测器行的每一行进行独立的卷积处理,因此可逐行补偿噪声特性和分辨率特性的差异。

[0197] 所获得的 X 线断层照片显示在显示器 6 上。

[0198] 图 5 是示出三维反投影处理细节的流程图 (图 4 中的步骤 S6)。

[0199] 在该实施例中,要重构的图像在与 z 轴正交的平面 (即 xy 平面) 上经过三维图像重构。随后的重构区域 P 被设定为与 xy 平面平行。

[0200] 在步骤 S61,注意到图像重构 X 线断层照片所需的所有视图之一 (即 360 度视图或“180 度视图 + 扇形角度视图”),并且提取与重构区域 P 中像素匹配的投影数据 Dr 。

[0201] 如图 6(a) 和 (b) 中所示, 512×512 个像素的正方区域平行于 xy 平面,被选作为具有多行的重构区域 P ,所述多行包括平行于 X 轴的 $y = 0$ 的像素行 $L0$ 、 $y = 63$ 的像素行 $L63$ 、 $y = 127$ 的像素行 $L127$ 、 $y = 191$ 的像素行 $L191$ 、 $y = 255$ 的像素行 $L255$ 、 $y = 319$ 的像素行 $L319$ 、 $y = 383$ 的像素行 $L383$ 、 $y = 447$ 的像素行 $L447$ 和 $y = 511$ 的像素行 $L511$,如图 7 所示,如果提取行 $T0$ 到行 $T511$ 上的数据,那么它们将是像素行 $L0$ 到行 $L511$ 的投影数据 ($view, x, y$),其中这些像素行 $L0$ 到行 $L511$ 在 X 射线发射方向上被投影到多行 X 射线检测器 24 的平面上。注意到, x 和 y 匹配 X 线断层照片的像素 (x, y)。

[0202] 虽然 X 射线发射方向由 X 射线管 21 的 X 射线焦点的几何位置、像素和多行 X 射线检测器 24 来确定,但是随着线性移动 z 方向位置 $Ztable(view)$, X 射线检测器数据 $D0(view, j, i)$ 的 z 坐标 $z(view)$ 被附着到 X 射线检测器数据,并且因此已知的是,在 X 射线焦点和多行 X 射线检测器的数据收集几何系统中加速或减速期间, X 射线发射方向还可根据 X 射线检测器数据 $D0(view, j, i)$ 精确得出。

[0203] 顺带地,当一些线离开多行 X 射线检测器 24 的通道方向,如由于例如将像素行 $L0$ 在 X 射线发射方向投影到多行 X 射线检测器 24 的平面而引起线 $T0$ 离开,匹配投影数据 $Dr(view, x, y)$ 被减小为“0”。或者,如果它离开 z 方向,那么将通过对投影数据 $Dr(view, x, y)$ 进行外插来得出它。

[0204] 以如此方式,可如图 8 所示那样提取与重构区域 P 的像素匹配的投影数据 $Dr(view, x, y)$ 。

[0205] 参考图 5,在步骤 S62,投影数据 $DT(view, x, y)$ 与锥面射束重构加权系数相乘以创建如图 9 所示的投影数据 $D2(view, x, y)$ 。

[0206] 这里,锥面射束重构加权系数 $w(i, j)$ 如下。在扇形射束图像重构的情况下,由以 $view = \beta a$ 、X 射线管 21 的焦点和重构区域 P 上 (xy 平面上) 的像素 $g(x, y)$ 链接 X 射线束的中心轴 Bc 的直线形成的角度通常由 γ 表示,并且其相反的视图由 $view = \beta b$, $\beta b = \beta a + 180^\circ - 2\gamma$ 来控制。

[0207] 当用 αa 和 αb 来表示穿过重构区域 P 上的像素 $g(x, y)$ 的 X 射线束及其相反的 X 射线束在重构区域 P 形成的角度的情况下,它们依照其本身与锥面射束重构加权系数 ωa

和 ω_b 相乘,并且将乘积相加;根据下面的方程式 (8) 来得出反投影像素数据 $D2(0, x, y)$ 。

$$[0208] \quad D2(0, x, y) = \omega_a \cdot D2((0, x, y)_a) + \omega_b \cdot D2(0, x, y)_b \quad (8)$$

[0209] 在前面的叙述中, $D2(0, x, y)_a$ 是视图 β_a 的投影数据, $D2(0, x, y)_b$ 是视图 β_b 的投影数据。

[0210] 顺带地,锥面射束重构加权系数的相反射束的和是 $\omega_a + \omega_b = 1$ 。

[0211] 通过将锥面射束重构加权系数 ω_a 和 ω_b 彼此相乘并将乘积相加,可降低锥角伪像。

[0212] 例如,可将由下面方程式得出的内容用作锥面射束重构加权系数 ω_a 和 ω_b 。顺带地, g_a 是特定 X 射束的加权系数,而 g_b 是相反 X 射束的加权系数。

[0213] 在扇形射束角度的 $1/2$ 由 $\gamma_{\max}$ 表示的情况下,根据方程式 (9) 到 (14) 来进行计算。这里,例如设定 $q = 1$ 。

[0214] 数学表达式 8

$$[0215] \quad g_a = f(\gamma_{\max}, a_a, \beta_a) \quad (9)$$

$$[0216] \quad g_b = f(\gamma_{\max}, a_b, \beta_b) \quad (10)$$

$$[0217] \quad x_a = 2 \cdot g_a^q / (g_a^q + g_b^q) \quad (11)$$

$$[0218] \quad x_b = 2 \cdot g_b^q / (g_a^q + g_b^q) \quad (12)$$

$$[0219] \quad w_a = x_a^2 \cdot (3 - 2x_a) \quad (13)$$

$$[0220] \quad w_b = x_b^2 \cdot (3 - 2x_b) \quad (14)$$

[0221] 如果,作为 g_a 和 g_b 的例子, $\max[]$ 例如被设定为获取较大值的函数,将由下面的方程式 (15) 和 (16) 来控制。

[0222] 数学表达式 9

$$[0223] \quad g_a = \max[0, \{(\pi/2 + \gamma_{\max}) - |\beta_a|\}] \cdot |\tan(a_a)| \quad (15)$$

$$[0224] \quad g_b = \max[0, \{(\pi/2 + \gamma_{\max}) - |\beta_b|\}] \cdot |\tan(a_b)| \quad (16)$$

[0225] 在扇形射束图像重构的情况下,重构区域 P 上的每个像素与距离系数相乘。距离系数是 $(r_1/r_0)^2$,其中 r_0 是从 X 射线管 21 的焦点到与投影数据 D_r 匹配的多行 X 射线检测器 24 的检测器行 j 的通道 i 的距离,并且 r_1 是从 X 射线管 21 的焦点到与投影数据 D_r 匹配的重构区域 P 上的像素的距离。

[0226] 在平行射束图像重构的情况下,重构区域 P 上的每个像素只需要与锥面射束重构加权系数 $w(i, j)$ 相乘。

[0227] 在步骤 S63,如图 10 所示,投影数据 $D2(\text{view}, x, y)$ 被相应地加到像素、加到事先已清除的反投影数据 $D3(x, y)$ 。

[0228] 在步骤 S64,为获得如图 10 所示的反投影数据 $D3(x, y)$,对图像重构 X 线断层照片所需的所有视图(即 360 度视图或“180 度视图 + 扇形角度视图”)重复从步骤 S61 到 S63。

[0229] 顺带地,如图 11(a) 和 (b) 所示,重构区域 P 可以是直径为 512 个像素的圆形区域,而不是 512 个像素 $\times$ 512 个像素的正方区域。

[0230] 在目前所述的基本三维图像重构中,向随后的发明应用进一步改善图片质量的视图。

[0231] 除了上述的实施例之外,弓形投影数据有效地在不具有自由度的三维图像重构硬件(或软件)中使用,并且改善了传统三维重构算法或 Feldkamp 图像重构算法中固有的不

一致性,从而改进 X 线断层照片的图片质量。

[0232] 为了实现上述目的,应当可能在任何期望的位置创建虚拟弓形投影数据,并且应当通过压缩弓形投影数据的相对密度来降低不一致性。

[0233] 但是,在任何期望的位置中创建虚拟弓形数据不能用不具有自由度的三维图像重构硬件(或软件)来实现。

[0234] 此外,如上所述,不具有自由度的三维图像重构硬件仅仅能根据给定的视图、螺距、和 z 方向上 X 射线检测器的宽度、切片数量和其它信息项来执行三维图像重构。

[0235] 下面将描述用于解决这些自相矛盾的点的方法。

[0236] 这里考虑了用不同螺距的螺旋数据来代替给定的螺旋数据。

[0237] 这是一种通过例如给出包括将虚拟弓形投影数据与不具有自由度的三维图像重构硬件匹配的螺距的信息而重构图像的方法。

[0238] 更详细地,越大的 dz 将导致增加弓形投影数据信息的密度。

[0239] 该特性可用于创建与比实际螺距大的螺距相匹配的虚拟弓形投影数据。

[0240] 越大的螺距意味着越大的 dz。结果,就可能创建比传统实际弓形投影数据更密的虚拟弓形投影数据。

[0241] 还可能使用这些虚拟弓形投影数据和虚拟螺距信息将这些虚拟弓形投影数据作为输入来完成三维图像重构。

[0242] 换句话说,这将会把螺旋数据重新布置为螺距不同的螺旋数据。

[0243] 更具体地,把例如图 28(a) 和 (b) 所示的两个投影数据(螺旋数据)集合重新安排成如图 28(c) 和 (d) 所示的两个螺距不同的投影数据(螺旋数据)的相反集合。

[0244] 下面说明通过操作螺距信息而引起在螺距不同的虚拟弓形投影数据中相对密度的变化,如图 27(a) 到 (c) 所示。

[0245] 图 27(a) 示出了其视图方向为 30 度的弓形投影数据以及其视图方向为 210 度的与之相反的弓形投影数据如何被投影到重构平面,其中螺距为 1.0。可以看出,虽然其视图方向为 30 度的弓形投影数据以足够的密度分布,而在 210 度方向上的弓形投影数据在重构平面上具有较小的弓形并分布稀疏。

[0246] 图 27(b) 示出了其视图方向为 30 度的弓形投影数据以及其视图方向为 210 度的与之相反的弓形投影数据如何被投影到重构平面,其中螺距为 2.0。其视图方向为 30 度的弓形投影数据在重构平面上分布得更密。可以看出,在 210 度方向上的弓形投影数据在重构平面上具有稍微增加的弓形。

[0247] 图 27(c) 示出了其视图方向为 30 度的弓形投影数据以及其视图方向为 210 度的与之相反的弓形投影数据如何被投影到重构平面,其中螺距为 3.0。其视图方向为 30 度的弓形投影数据在重构平面上分布得甚至更密。可以看出在 210 度方向上的弓形投影数据在重构平面上具有进一步增加的弓形,与视图方向为 30 度并且螺距为 1.0 的情况相比,分布得更加足够得密。

[0248] 如图 27(a) 到 (c) 所示,通过改变螺距信息,甚至用不具有自由度的三维图像重构硬件(或软件),可在任何期望的位置创建虚拟弓形投影数据,尽管其具有对 X 射线数据集合的逻辑几何系统的约束。

[0249] 并且,通过以如此方式按期望创建虚拟弓形投影数据,还可控制虚拟弓形投影数

据的相对密度。

[0250] 此外,通过以如此方式控制虚拟弓形投影数据的相对密度,由例如图 26 所示的相反数据的密度差异所引起的三维图像重构的锥面射束重构加权系数中的不一致性可由例如图 29 所示的那样被减小。

[0251] 但是,在通过控制螺距来创建与实际螺距不同的 X 射线数据集合的几何系统的虚拟弓形投影数据并且要使用不具有自由度的三维图像重构硬件的情况下,不可能改变相反数据的相对密度的比率。换句话说,图像的精确度取决于低密度的弓形投影数据的密度,低密度的弓形投影数据的 dz 较小,并且具有较大 dz 的弓形投影数据将变得比需要得更密,导致图像效率低下。

[0252] 接下来将考虑用传统扫描的投影数据来替换螺旋数据的情况。

[0253] 所要考虑的是,消除由具有视图的 dz 引起的虚拟弓形投影数据的相对密度差异,以进一步改善有关的上述问题。当然,由于三维图像重构硬件不具有自由度,这一障碍应当被清除,但是其实现可通过利用传统扫描(轴向扫描)或电影扫描的三维图像重构来完成。

[0254] 与螺旋扫描不同,传统扫描(轴向扫描)或电影扫描的 dz 在所有视图中是恒定的。

[0255] 相反, dz 被接收作为参数输入,并且该 dz 被应用于所有视图数据。如图 30(a) 和 (b) 所示,其图示在 xy 平面上。如图 31(a) 到 (d) 所示,其表示在 XZ 平面上。

[0256] 图 30(a) 示出其视图方向为 30 度的弓形投影数据以及图 30(b) 示出其视图方向为 210 度的构成相反数据的弓形投影数据如何投影在重构平面上。可以看出,通过控制 dz ,可使在重构平面上以 30 度的弓形投影数据的分布密度和在重构平面上以 210 度的弓形投影数据的分布密度相等。

[0257] 图 31(a) 示出其视图方向为 30 度的弓形投影数据以及图 31(b) 示出其视图方向为 210 度的构成相反数据的弓形投影数据如何看上去像来自 yz 平面。可以看出,通过增大 dz ,从看上去来自 yz 平面的图 31(c) 中其视图方向为 30 度的弓形投影数据以及其视图方向为 210 度的构成相反数据的弓形投影数据看来,穿过重构平面投影的 X 射线的数量增加。

[0258] 可以看出,通过以如此方式控制 dz ,可控制重构平面上的弓形投影数据的分布密度。

[0259] 因此,甚至对于 dz 不同的视图数据集合,通过用传统数据虚拟地替换 dz ,可实现控制,以均匀化虚拟弓形投影数据的相对密度。

[0260] 为了均匀化虚拟弓形投影数据的相对密度并同时增加总密度,虚拟传统扫描的 dz 值可升高。

[0261] 相反,为了通过将密度保持为低来降低数据大小和减轻输入/输出的负载,虚拟传统扫描的 dz 值被降低。

[0262] 如果彼此相反的数据集合的相对密度以如此方式被均匀化,则可有效地降低前述的加权的 inconsistency。

[0263] 通过上述两个方法,可在任何期望的位置创建虚拟弓形投影数据,并且可控制其相对密度水平。

[0264] 并且,彼此相反的数据集合的相对密度比率可被均匀化。

[0265] 此外,通用三维重构算法或 Feldkamp 图像重构算法和弓形投影数据中固有的加

权不一致性可被降低,使之可能在质量上改善 X 线断层照片。

[0266] 并且,尽管基本集中于在扇形图像重构来准备本发明的附图,但是本发明还可良好地应用于横向射束图像重构。

[0267] 顺带地,本发明不限于这些实现模式,还可适当按期望来修改。

[0268] 所述的结构和操作不限于这些实现模式。

[0269] 目前所述的 X 射线 CT 设备 100 可使得例如图 14 所示的 X 线断层照片在其中心部分和周围部分之间的切片厚度基本均匀。

[0270] 并且,例如图 13(b) 所示,通过为多行检测器 24 的中心部分中的通道和周围部分中的通道来控制行方向滤波的滤波器系数,还可控制在中心部分和周围部分之间的切片厚度。

[0271] 此外,还可控制有关伪像的改进和有关噪声的改进。换句话说,可控制已经经过三维图像重构的 X 线断层照片的图片质量。

[0272] 顺带地,图像重构方法还可以是通过 Feldkamp 图像重构技术的三维图像重构方法。

[0273] 此外,还可使用在 JP-A No. 2004-73360、JP-A No. 2003-33418、JP-A No. 2003-159244、JP-A No. 2004-41674 等中公开的三维图像重构方法或其它已知的三维图像重构方法。要点在于,根据本发明通过使用行方向滤波器来处理图像重构。

[0274] 其它可能的实现模式包括通过例如逐行卷积滤波器系数不同的行方向滤波来调整图片质量的波动,由此根据伪像和噪声来逐行实现切片厚度和图片质量的一致性;在该方面可想到各种 z 方向滤波器系数,并且它们将提供与这些实施例类似的效果。已经参考医疗用途的 X 射线 CT 设备来描述这些实施例,但是还可将它们用作为工业用途的 X 射线 CT 设备或作为与其它装置组合的 X 射线 CT-PET 设备或 X 射线 CT-SPECT 设备。

[0275] 零件列表

[0276] [图 1]

[0277] X 射线 CT 设备 100

[0278] 1 操作控制台

[0279] 2 输入单元

[0280] 3 中央处理单元

[0281] 5 数据收集缓冲器

[0282] 6 监视器

[0283] 7 存储单元

[0284] 10 图像拾取台

[0285] 12 支架

[0286] 15 旋转单元

[0287] 20 扫描台架

[0288] 21X 射线管

[0289] 22X 射线控制器

[0290] 23 准直仪

[0291] 24 多行 X 射线检测器

- [0292] 26 旋转单元控制器
- [0293] 29 调整控制器
- [0294] 30 滑环
- [0295] [图 2]
- [0296] X 射线管 21
- [0297] X 射线焦点
- [0298] X 射线束（锥面射束）
- [0299] 旋转中心（ISO）
- [0300] 检测器平面 dp
- [0301] 重构区域 P
- [0302] 多行 X 射线检测器 24
- [0303] 通道方向
- [0304] [图 3]
- [0305] 开始
- [0306] 数据收集步骤 S1
- [0307] 预处理步骤 S2
- [0308] 射束硬化校正步骤 S3
- [0309] z 滤波器卷积处理步骤 S4
- [0310] 重构功能卷积处理步骤 S5
- [0311] 三维反投影处理步骤 S6
- [0312] 后处理步骤 S7
- [0313] 结束
- [0314] [图 4]
- [0315] 开始
- [0316] 偏移校正步骤 S21
- [0317] 对数转换步骤 S22
- [0318] X 射线质量校正步骤 S23
- [0319] 灵敏度校正步骤 S24
- [0320] 结束
- [0321] [图 5]
- [0322] 步骤 S6
- [0323] 开始三维反投影处理
- [0324] S61 提取与在重构区域 P 中像素匹配的投影数据 Dr
- [0325] S62 将锥面射束重构系数与投影数据 Dr 相乘用来创建反投影数据 D2
- [0326] S63 将反投影数据 D2 添加到对应于像素的反投影数据 D3
- [0327] S64 为图像重构所需的所有视图添加反投影数据 D2 ?
- [0328] 结束
- [0329] [图 6]
- [0330] (a)

- [0331] 21X 射线管
- [0332] 重构区域 P(xy 平面)
- [0333] 原点 (0,0)
- [0334] (b)
- [0335] 21X 射线管
- [0336] 重构区域 P
- [0337] xy 平面
- [0338] 旋转轴
- [0339] z 轴
- [0340] 24 多行 X 射线检测器
- [0341] [图 7]
- [0342] 24 多行 X 射线检测器
- [0343] 检测器行的方向
- [0344] 通道的方向
- [0345] [图 8][图 9]
- [0346] 重构区域
- [0347] [图 11]
- [0348] (a)
- [0349] 21X 射线管
- [0350] 重构区域 P
- [0351] (b)
- [0352] 21X 射线管
- [0353] 重构区域 P
- [0354] xy 平面
- [0355] 旋转轴
- [0356] z 轴
- [0357] 24 多行 X 射线检测器
- [0358] [图 12]
- [0359] 通道
- [0360] 行
- [0361] 行方向滤波器卷积
- [0362] 行
- [0363] n 行的数据
- [0364] Det(ch. 行) 通道
- [0365] 行方向滤波器系数
- [0366] 行
- [0367] [图 13]
- [0368] (a) 行方向滤波器系数
- [0369] 切片厚度较小

- [0370] 切片厚度较大
- [0371] 行方向
- [0372] (b) 行方向滤波器系数
- [0373] 周围部分中通道的行方向滤波器
- [0374] 图像重构中心部分中通道的行方向滤波器
- [0375] 行方向
- [0376] [图 14]
- [0377] Pa :公共 X 线断层照片 (周围部分中较厚)
- [0378] Pb :在行方向滤波器中具有统一切片厚度的 X 线断层照片
- [0379] [图 15]
- [0380] (a)
- [0381] 滤波器系数
- [0382] FLc 去卷积周围部分中通道的行方向滤波器
- [0383] FLd 去卷积图像重构中心部分中通道的行方向滤波器
- [0384] 行方向
- [0385] (b)
- [0386] 通道
- [0387] 行方向滤波器卷积
- [0388] (c)
- [0389] 行
- [0390] n 行数据
- [0391] Det(ch. 行) 通道
- [0392] 行方向滤波器系数
- [0393] 行
- [0394] [图 16]
- [0395] 21 :X 射线管的球面焦点
- [0396] 24 :X 射线检测器
- [0397] [图 17][图 20]
- [0398] P :重构平面
- [0399] z 轴
- [0400] [图 18][图 21]
- [0401] P :重构平面
- [0402] [图 19]
- [0403] P :重构平面
- [0404] rd :实际弓形投影数据
- [0405] vd :虚拟弓形投影数据
- [0406] [图 22]
- [0407] P1 :重构平面 A
- [0408] P2 :重构平面 B

- [0409] z 轴
- [0410] [图 23]
- [0411] P : 重构平面
- [0412] P1 : 重构平面
- [0413] z 轴
- [0414] [图 24]
- [0415] P : 重构平面
- [0416] P1 : 重构平面
- [0417] P2 : 重构平面
- [0418] z 轴
- [0419] [图 25]
- [0420] 重构平面
- [0421] 1.25mm 厚 $\times$ 16 个切片 $\times$ 1.75/2 的螺距
- [0422] [图 26]
- [0423] 锥面射束重构加权系数
- [0424] 锥面射束重构加权系数的不一致性
- [0425] 30 度处的锥面射束重构加权系数
- [0426] 210 度处的相反锥面射束重构加权系数
- [0427] 行方向
- [0428] [图 27]
- [0429] 弓形投影数据 (在 30 度的方向)
- [0430] 弓形投影数据 (在 210 度的方向)
- [0431] 重构平面
- [0432] 密度增加
- [0433] [图 28]
- [0434] (a)
- [0435] 弓形投影数据 (在 30 度的方向)
- [0436] P : 重构平面
- [0437] z 轴
- [0438] 相反关系
- [0439] (b)
- [0440] 弓形投影数据 (在 210 度的方向)
- [0441] [图 29]
- [0442] 锥面射束重构加权系数
- [0443] 30 度处的锥面射束重构加权系数
- [0444] 210 度处的相反锥面射束重构加权系数
- [0445] 行方向
- [0446] [图 30]
- [0447] (a)

- [0448] 弓形投影数据（在 30 度的方向）
- [0449] 相反关系
- [0450] (b)
- [0451] 弓形投影数据（在 210 度的方向）
- [0452] [图 31]
- [0453] (a)
- [0454] 弓形投影数据（在 30 度的方向）
- [0455] P:重构平面
- [0456] z 轴
- [0457] 相反关系
- [0458] (b)
- [0459] 弓形投影数据（在 210 度的方向）

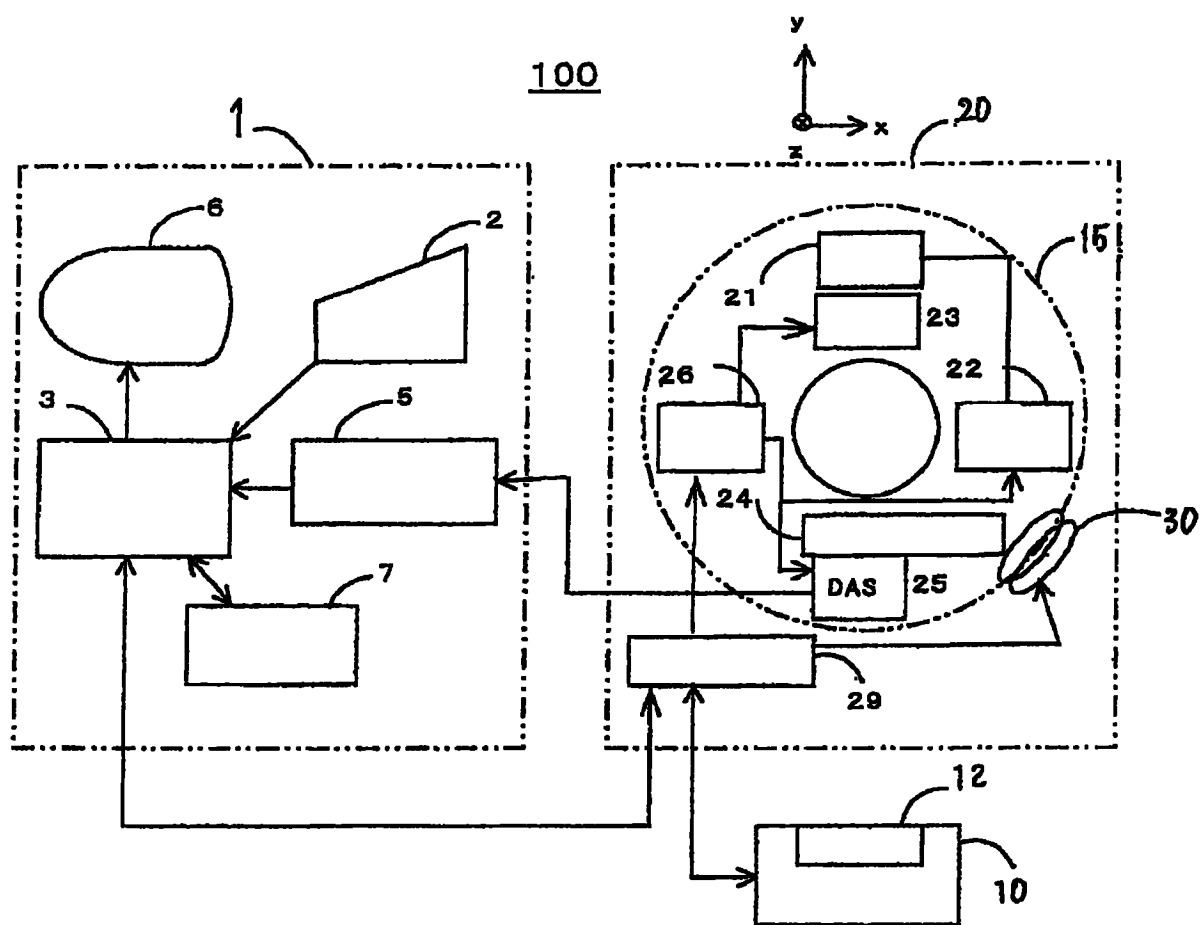


图 1

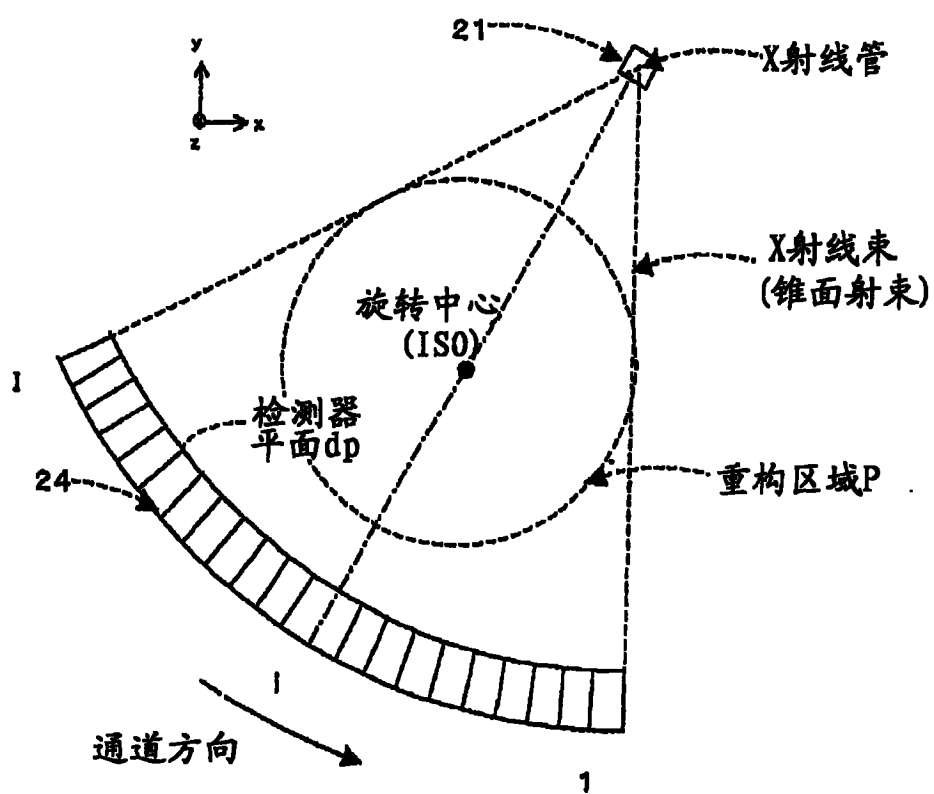


图 2

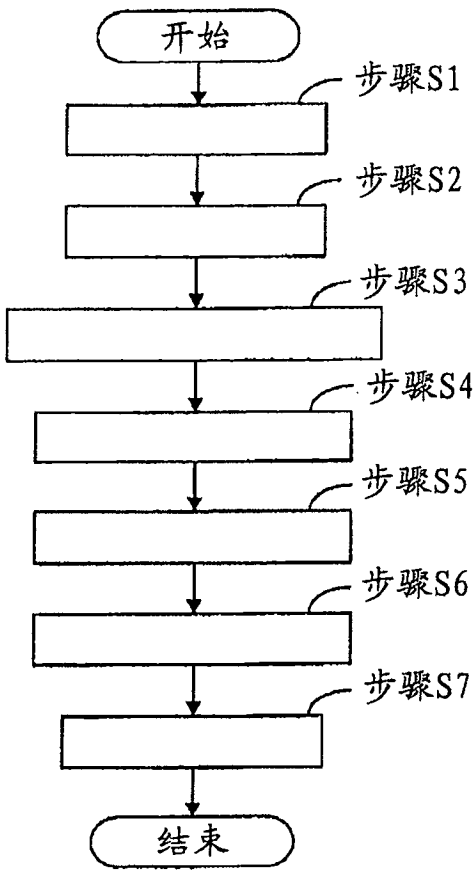


图 3

步骤S2

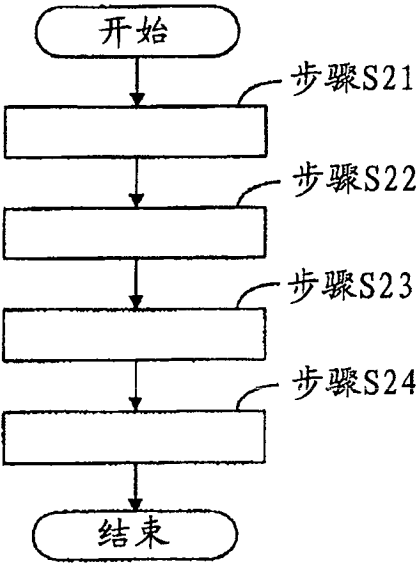


图 4

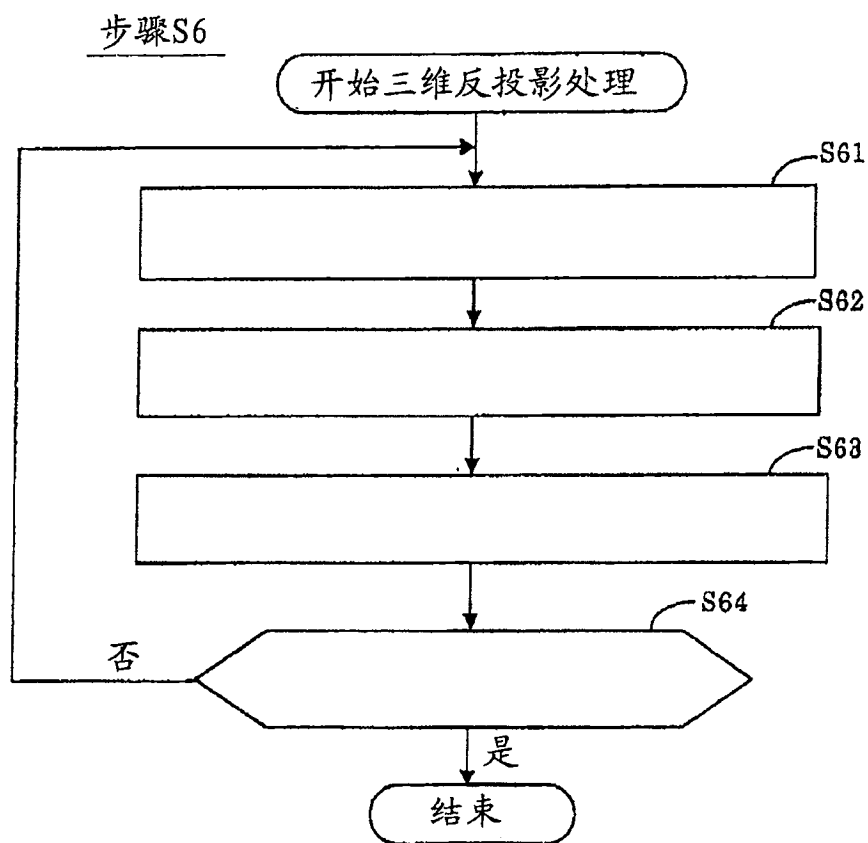


图 5

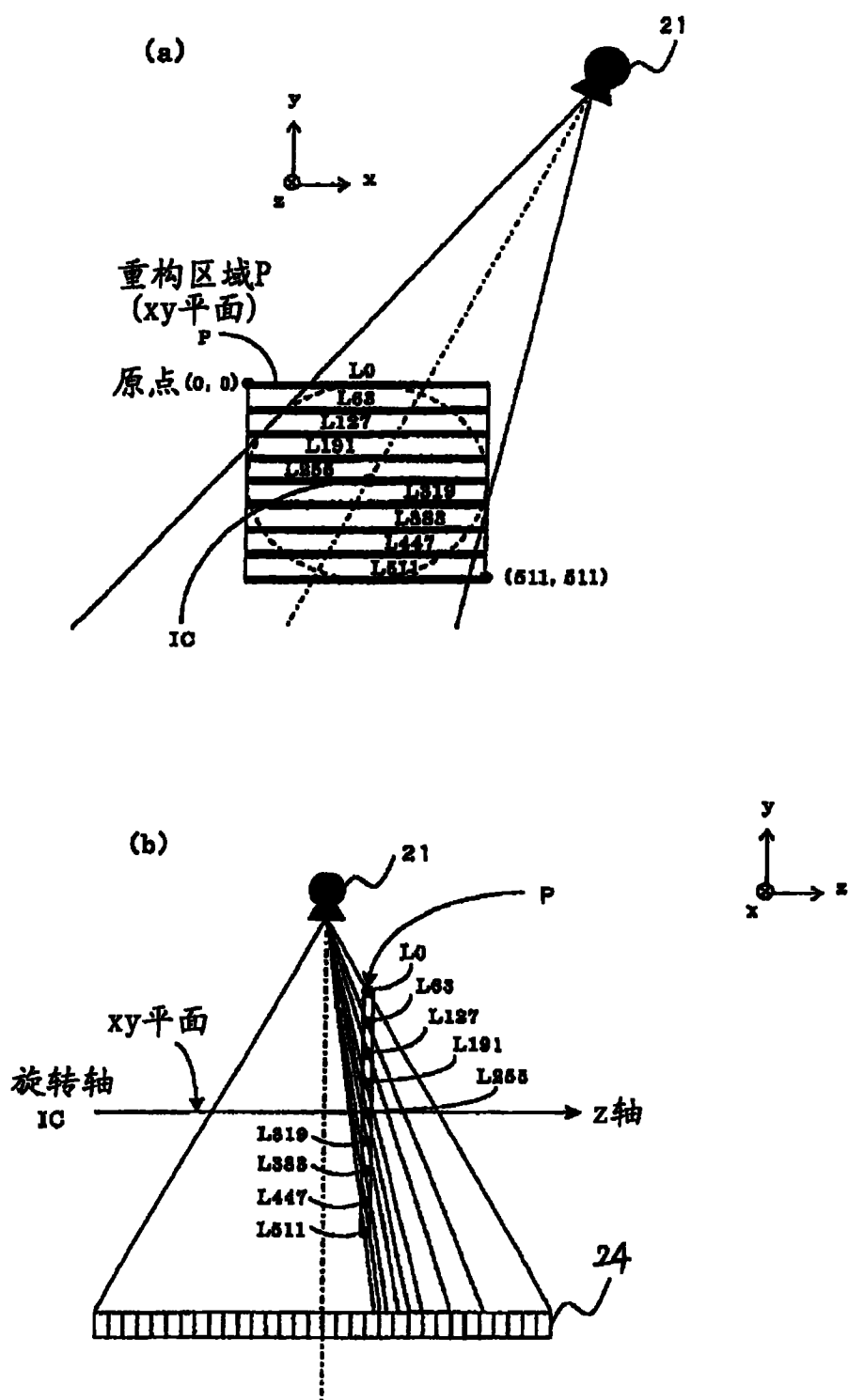


图 6

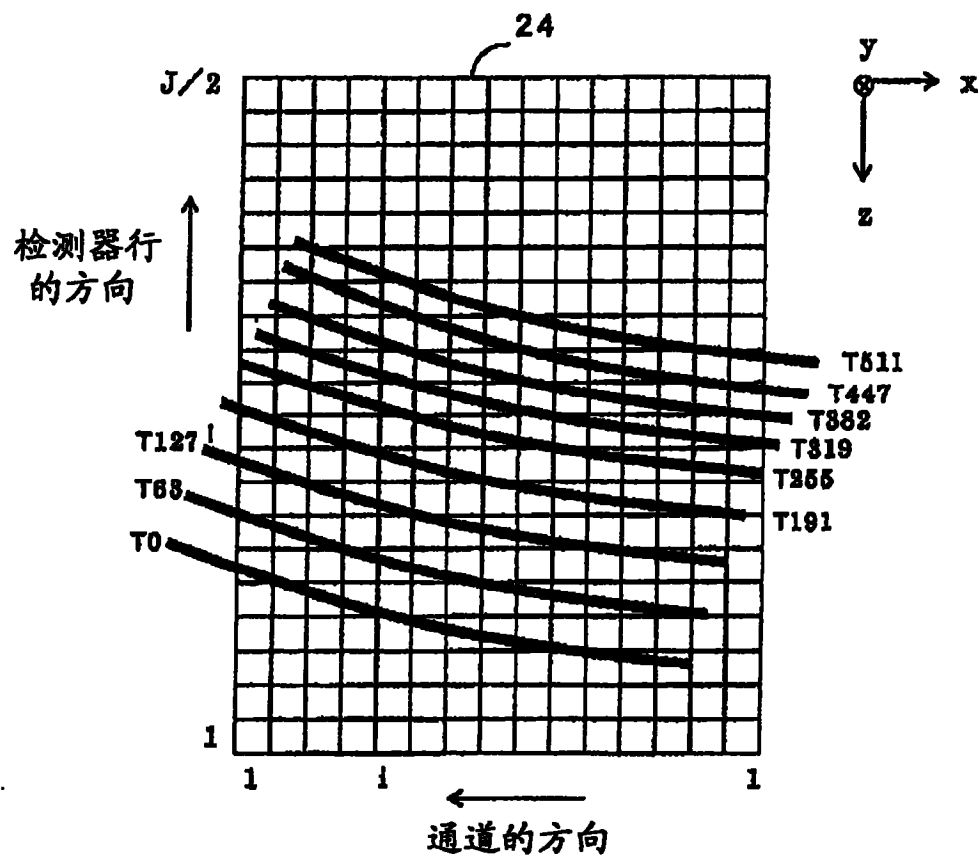


图 7

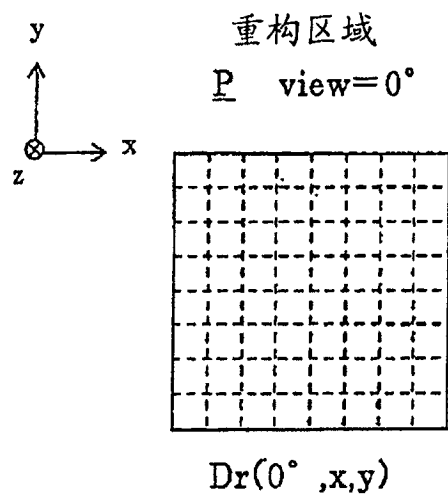


图 8

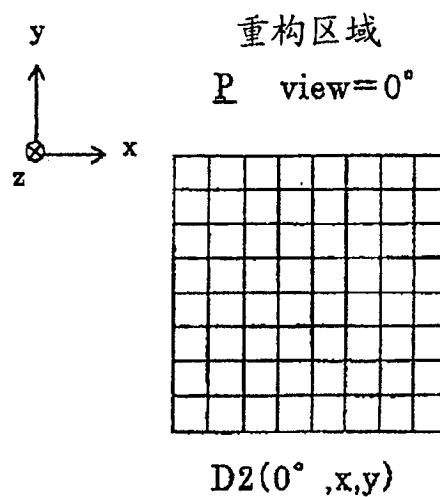


图 9

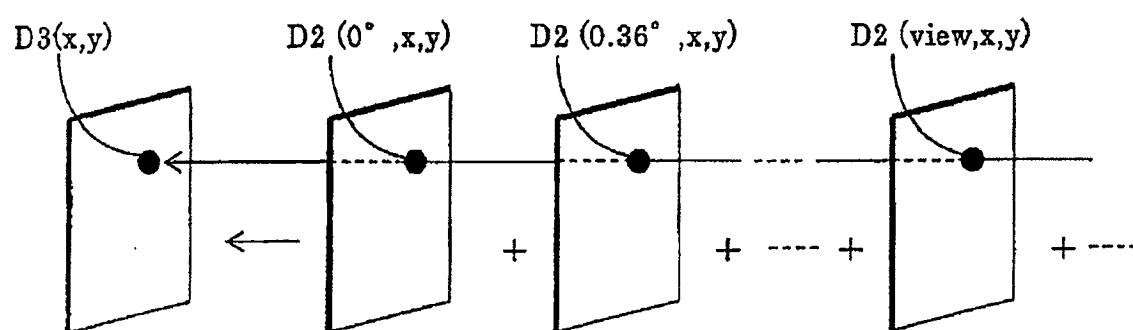


图 10

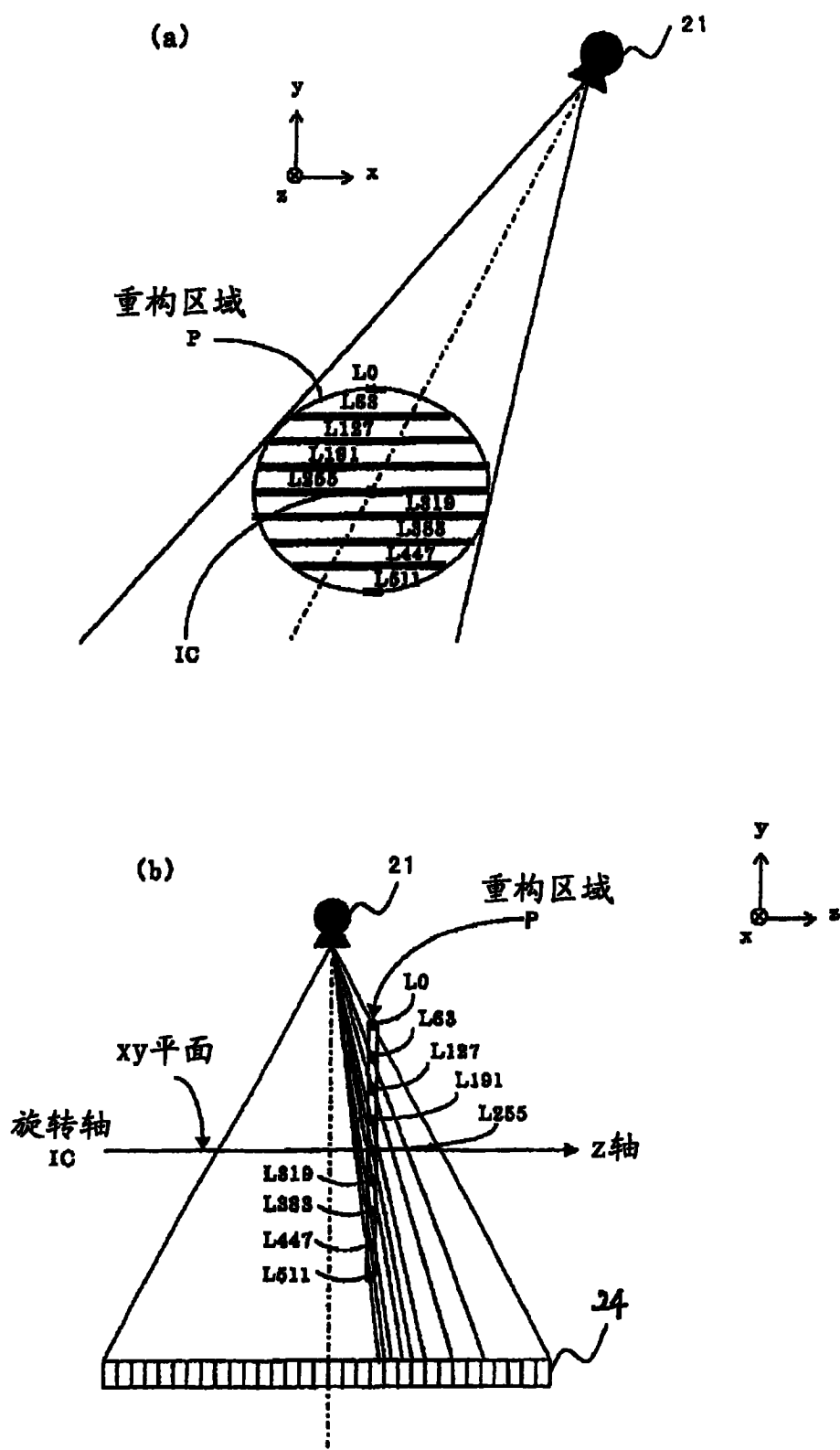


图 11

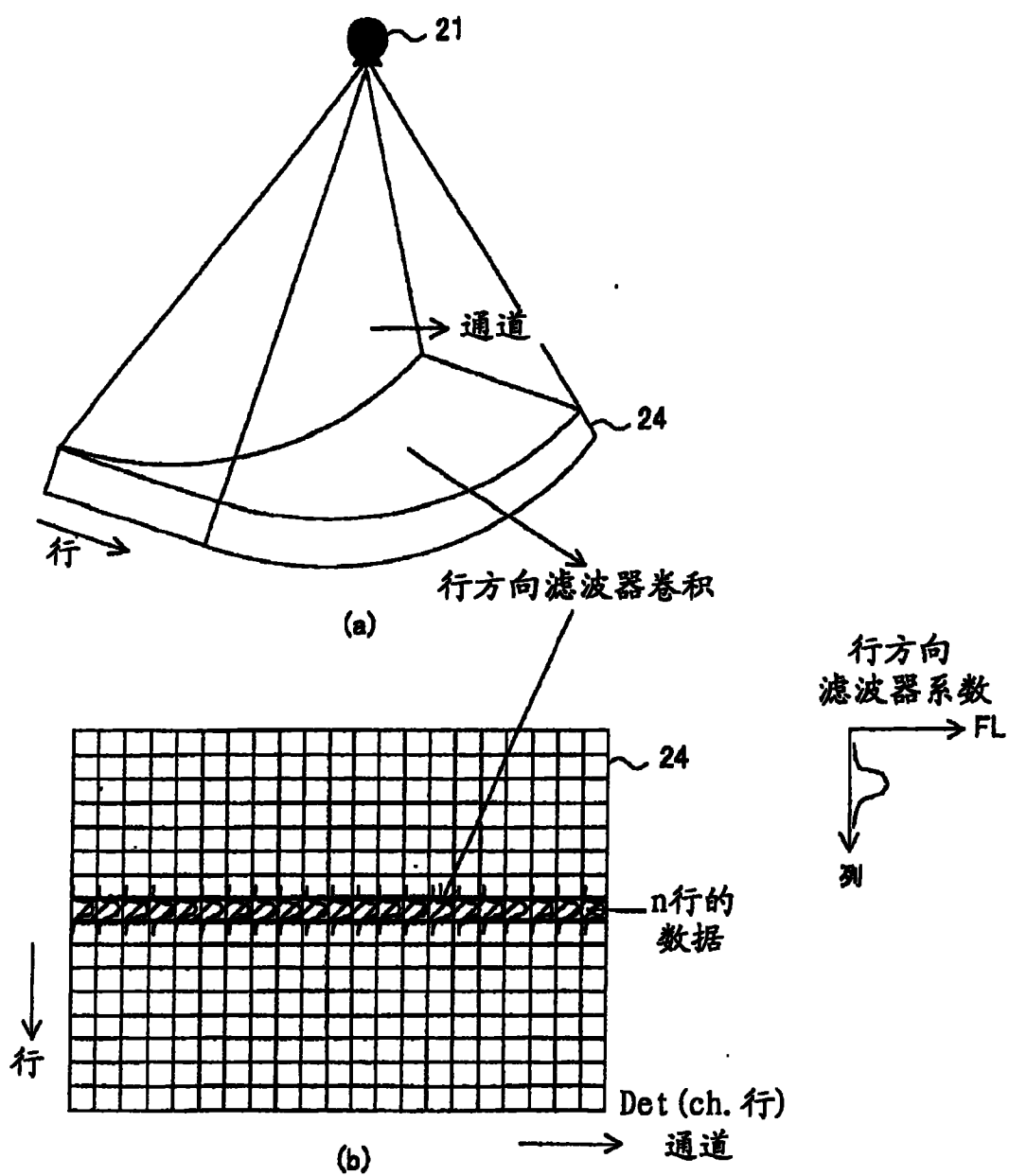
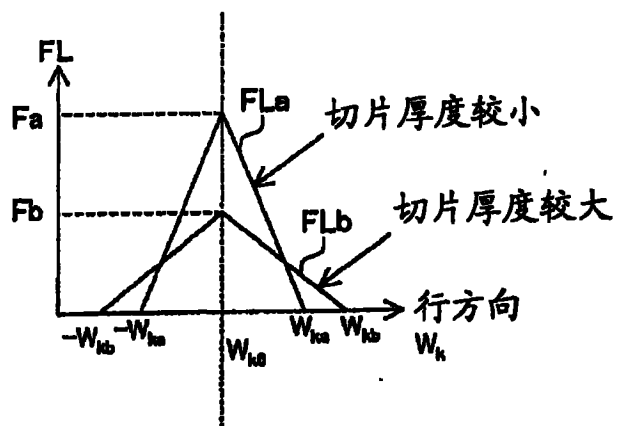


图 12

(a) 行方向滤波器系数



(b) 行方向滤波器系数

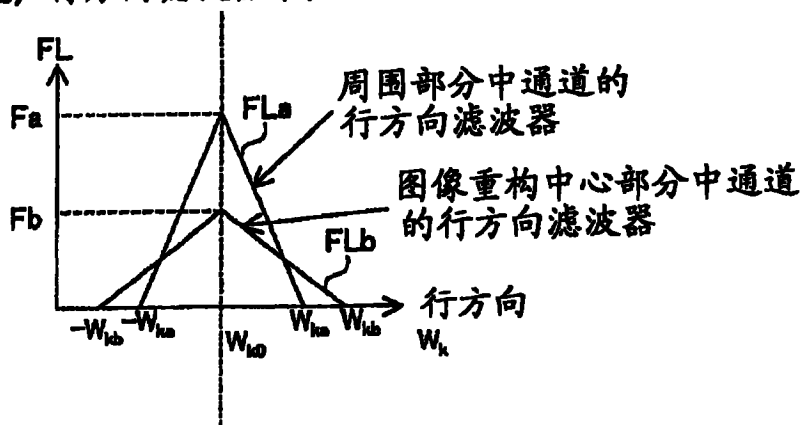


图 13

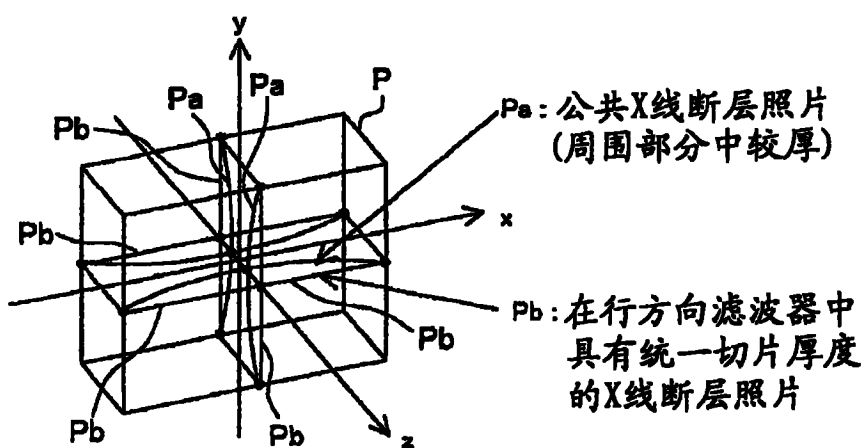


图 14

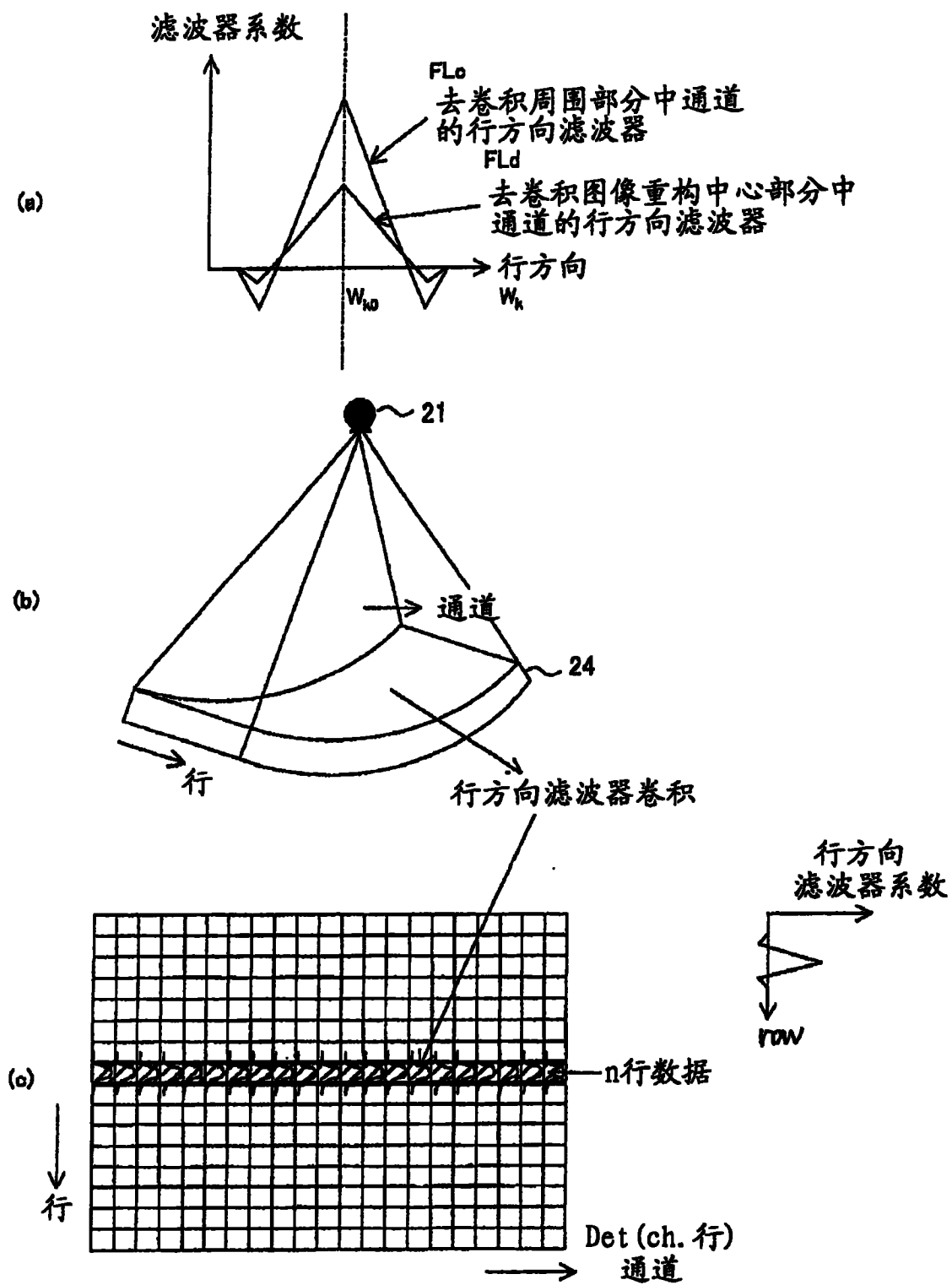


图 15

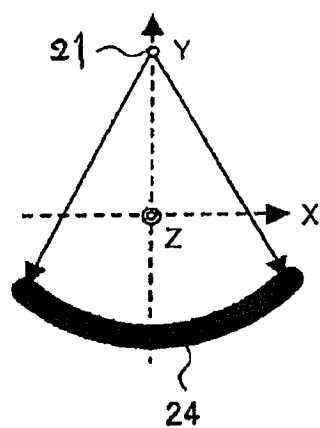


图 16

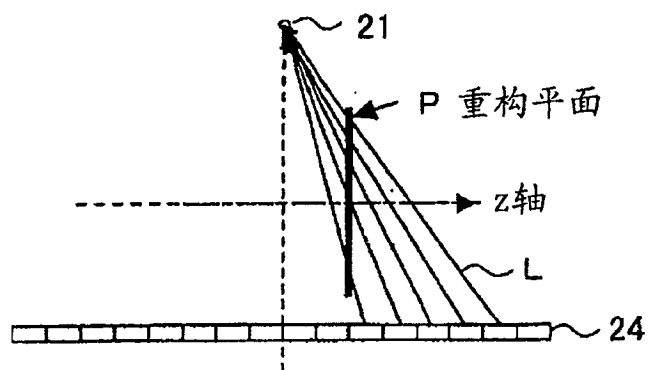


图 17

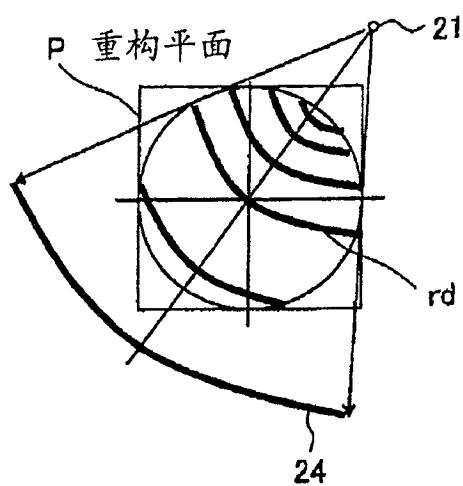


图 18

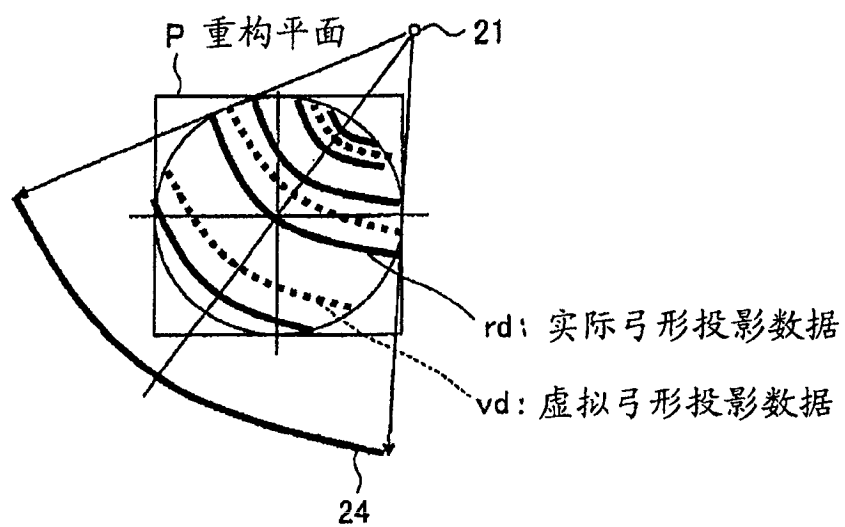


图 19

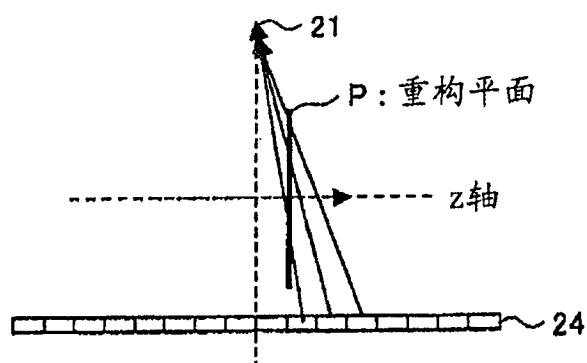


图 20

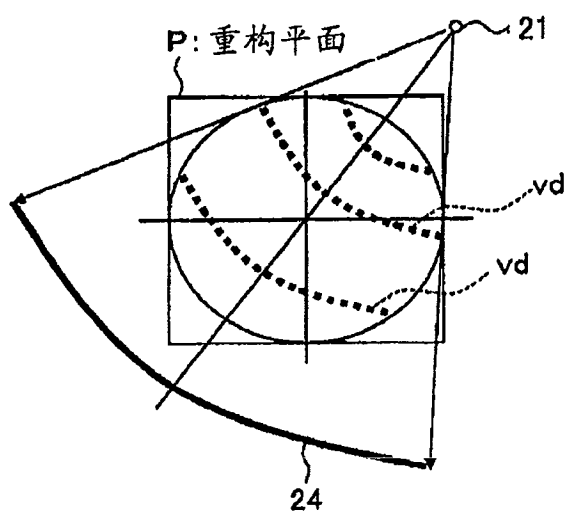


图 21

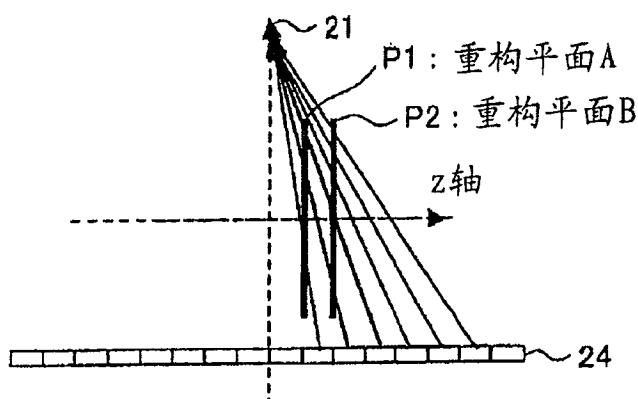


图 22

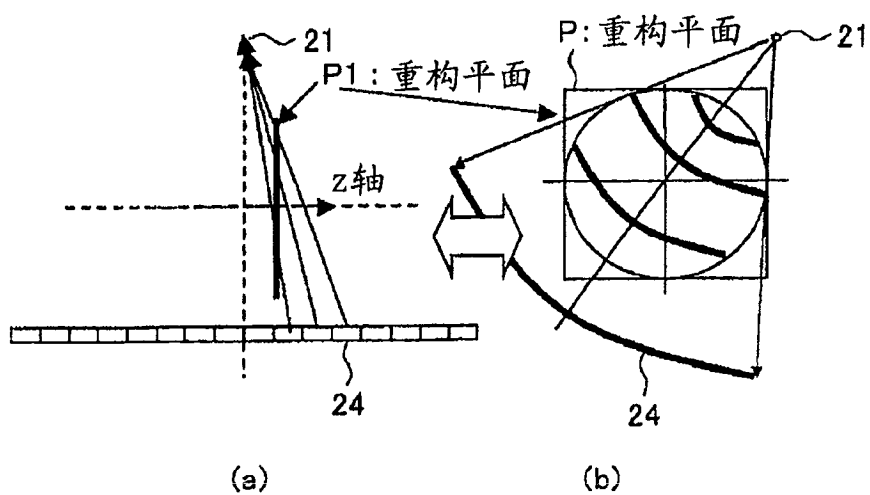


图 23

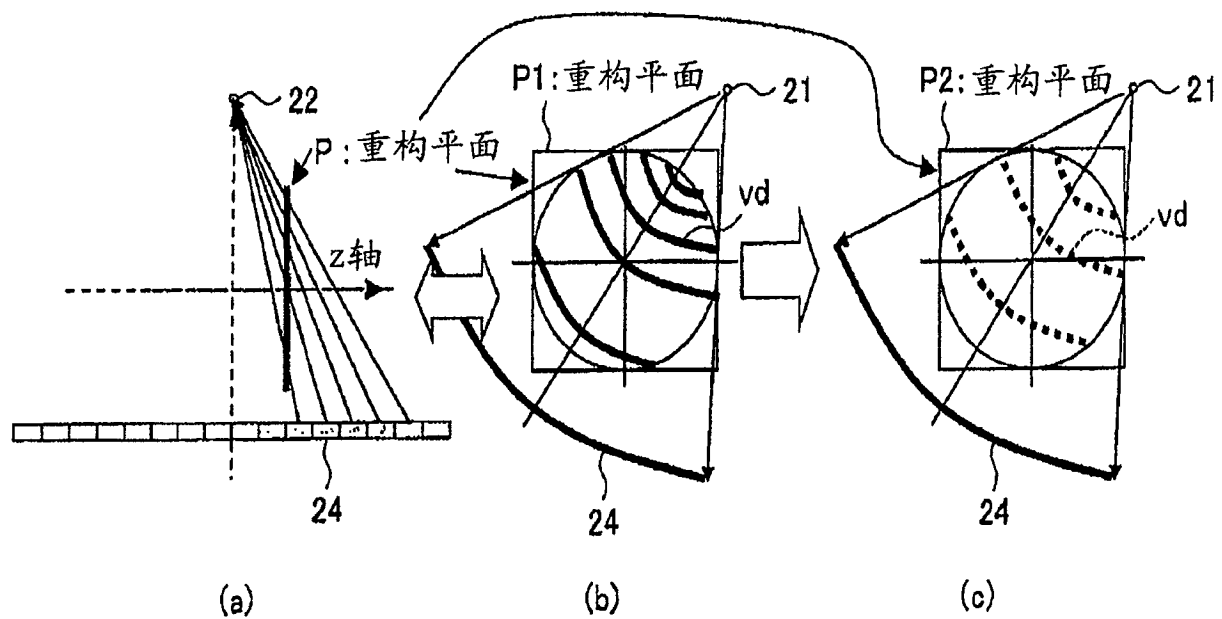


图 24

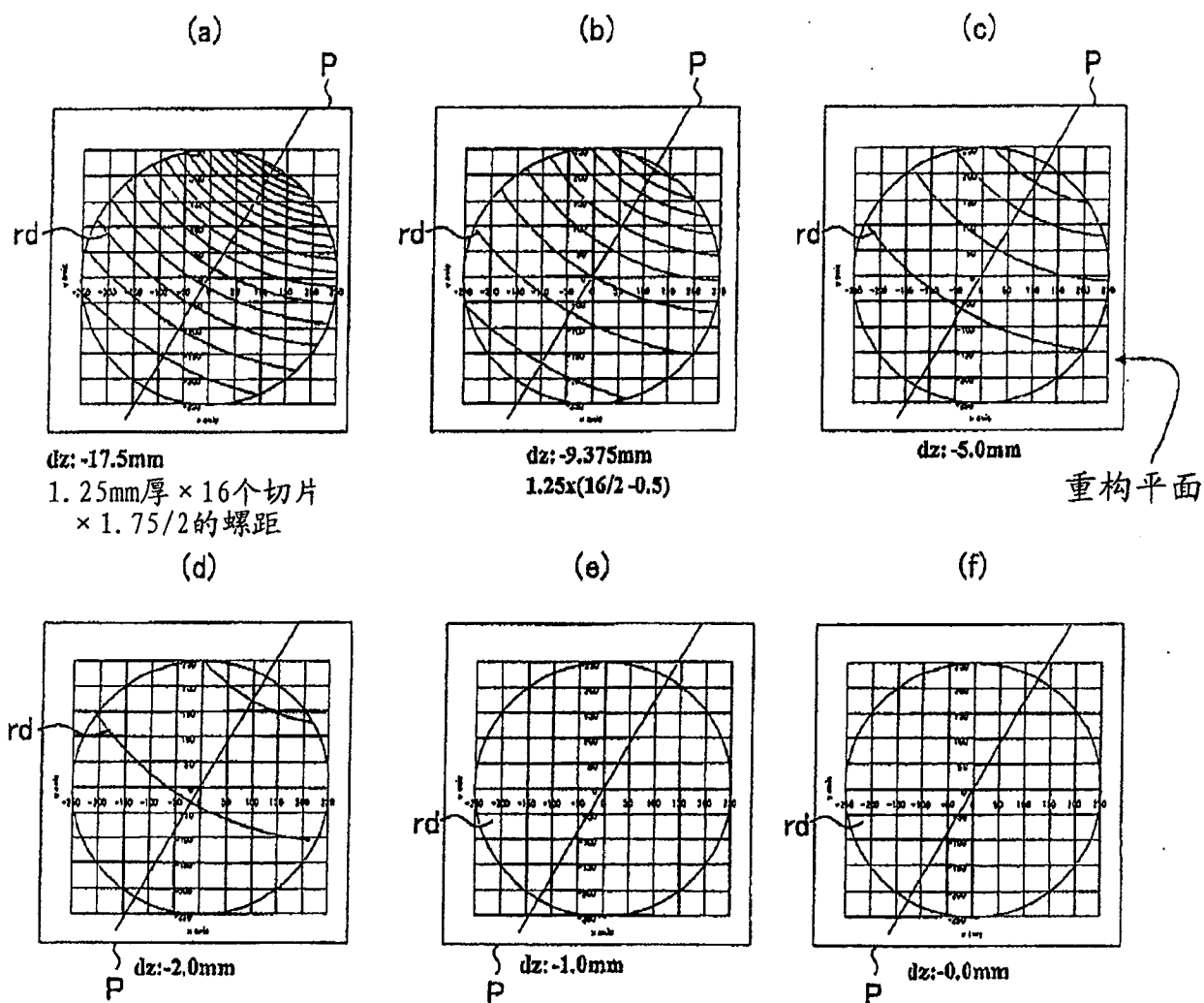


图 25

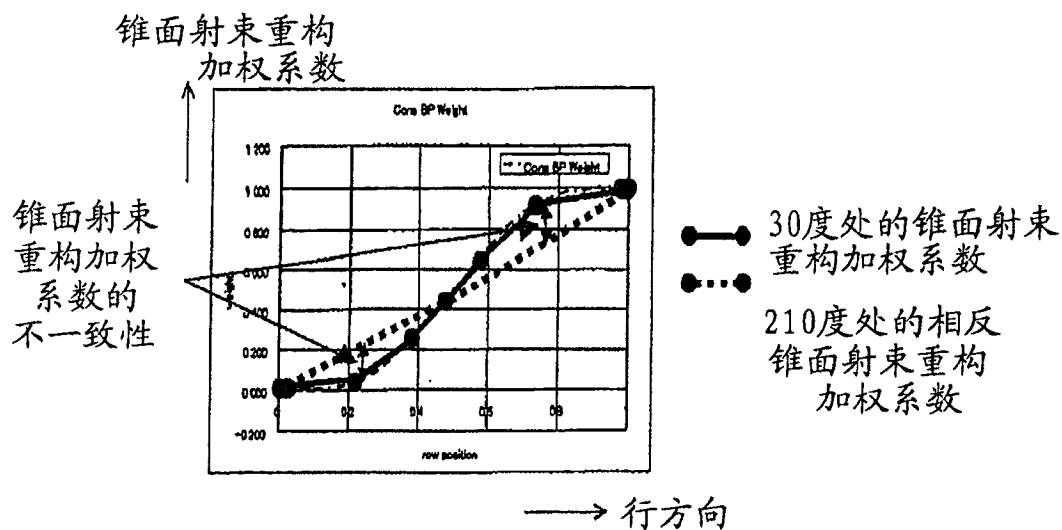


图 26

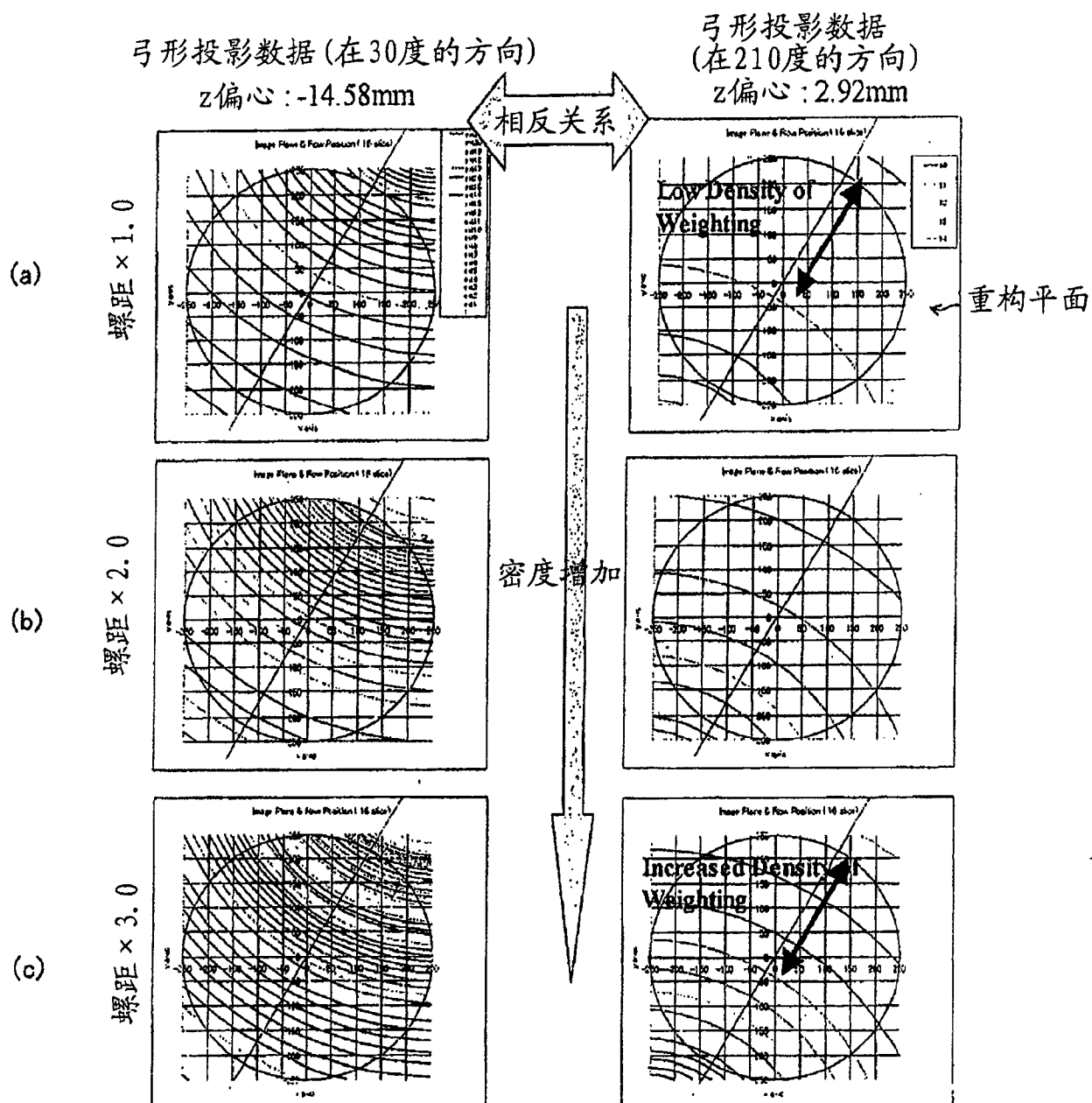


图 27

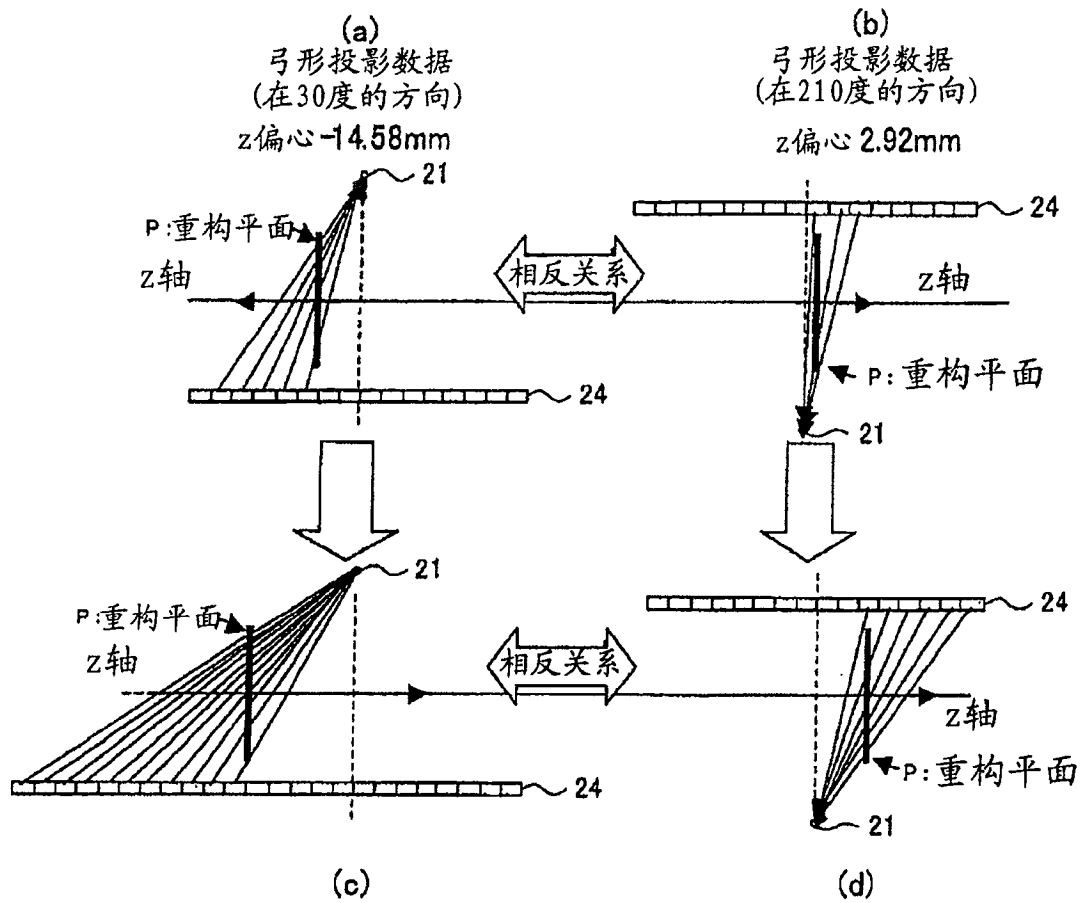


图 28

锥面射束重构加权系数

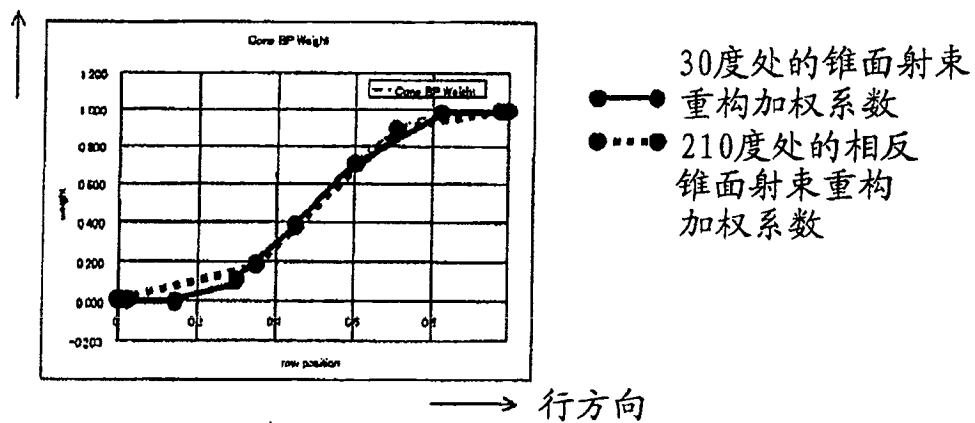


图 29

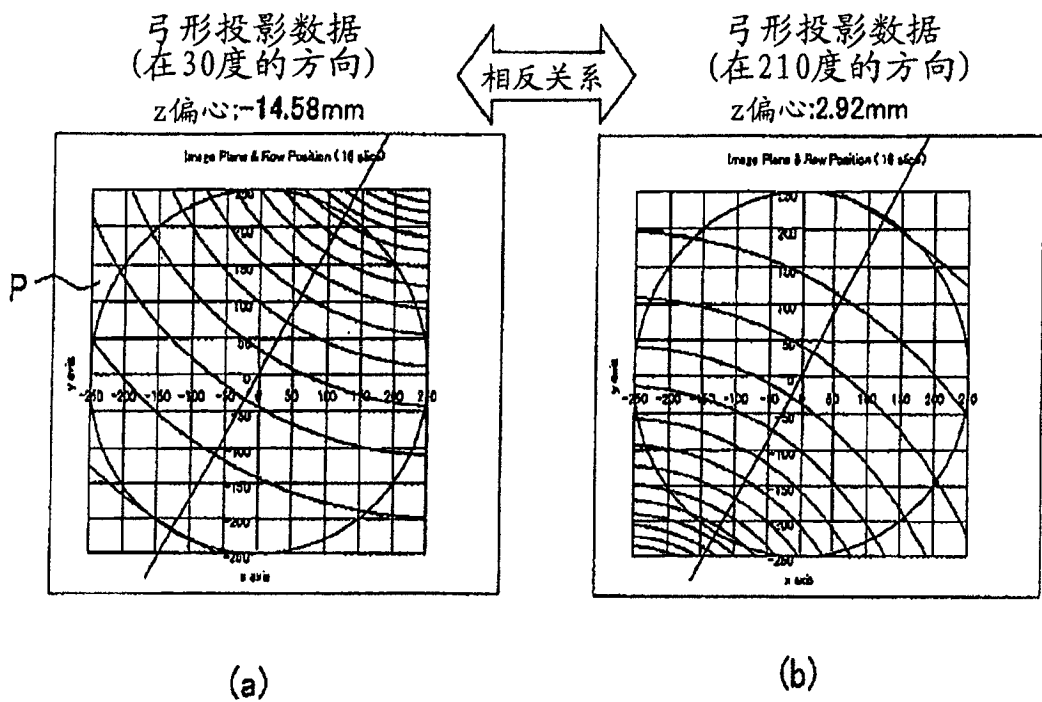


图 30

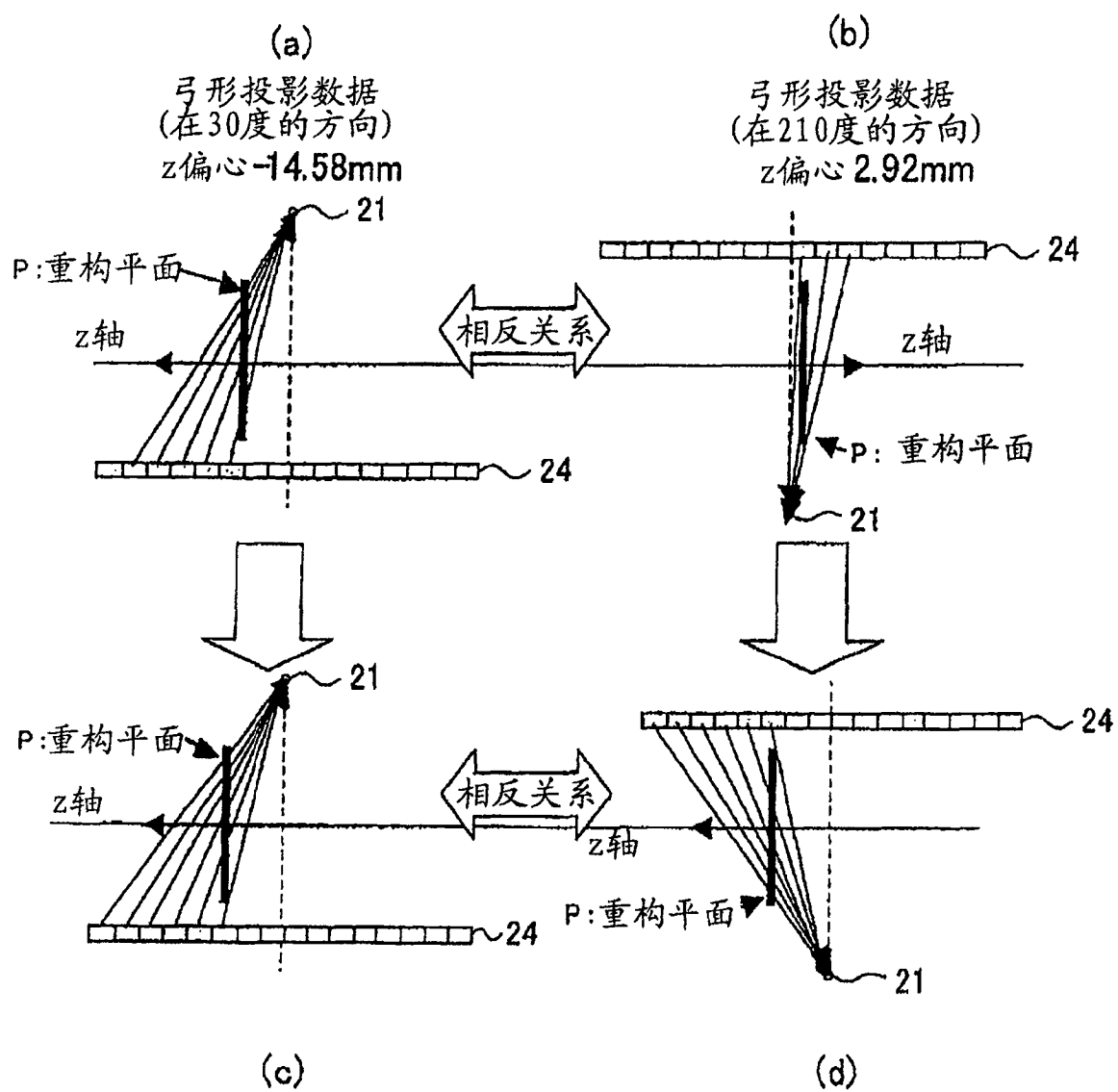


图 31