



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 99800286.0

[45] 授权公告日 2004 年 3 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 1143243C

[22] 申请日 1999. 1. 12 [21] 申请号 99800286.0

[30] 优先权

[32] 1998. 1. 13 [33] SE [31] PCT/SE98/00029

[86] 国际申请 PCT/IB99/00027 1999. 1. 12

[87] 国际公布 WO99/36885 德 1999. 7. 22

[85] 进入国家阶段日期 1999. 11. 12

[71] 专利权人 皇家飞利浦电子有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 P - E · 丹尼尔松

审查员 孙治国

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

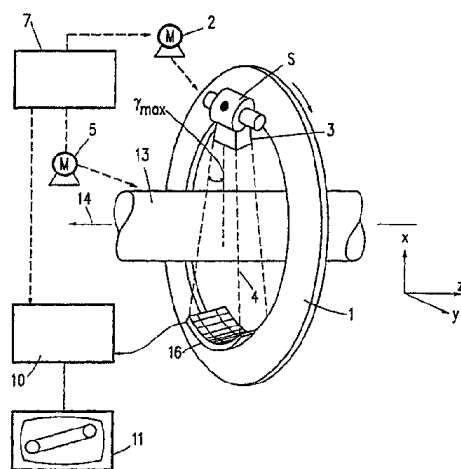
代理人 马铁良 张志醒

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 9 页

[54] 发明名称 对检查区用螺旋线形状扫描的计算
机层面 X 射线照相方法

[57] 摘要

本发明涉及到一个 CT - 方法, 通过一个锥形射线束用螺旋线形状扫描一个检查区。其中包括对任意长的对象的三维层面 X 射线照相图象的测量数据是完整的, 并且不是多余的。而改造只要求一维滤波。特别简单的处理步骤, 在一次重新装入时出现被组合成的扇形射线, 而扇形射线位于相互平行的并且与回转轴平行的平面上。



1. 用一个扫描单元对检查区进行螺旋线形状扫描的计算机层面 X 射线照相法, 该扫描单元包括一个射线源和一个检测器装置 (16), 其中包括在检查区 (13) 内的对象和扫描装置相互相对地同时围绕一个回转轴回转, 和进行平行于回转轴方向的一个移动, 这样就产生了一个螺旋线 (17) 形状的相对运动, 并且在检查区内由检测器装置获得的测量数据进行渗入作用的空间分布的改造, 其特征是通过以下步骤,
- 5 a) 对于改造只使用这样的测量数据, 这些数据是从正好穿过螺旋线的相邻二线圈之间区域的射线获得的, 使得位于检验区内的点在从各点本身看过去为正好 180° 的角度范围内被辐射,
- 10 b) 将测量数据重新装入和将所属的射线组成一定数量的组, 其中每个组包括有多个平行于回转轴的平面, 在每个平面上有一个扇形射线,
- 15 c) 对每个组中经过重新装入所产生的数据进行滤波,
- d) 用不同组的被滤波的数据改造渗入作用的空间分布。
2. 按照权利要求 1 的计算机层面 X 射线照相法, 其特征为, 测量数据是这样重新装入的, 每个组各个包括扇形射线的平面是相互平行的并且是平行于回转轴的。
- 20 3. 按照权利要求 1 的计算机层面 X 射线照相法, 其特征为, 改造步骤包括多个组的被滤波数据的反投影。
4. 按照权利要求 2 的计算机层面 X 射线照相法, 其特征为, 滤波包括以下步骤:
- 25 a) 将垂直于回转轴方向的每个组的数据进行一维的富利叶 - 变换,
- b) 对富利叶 - 变换所得到的数值使用一个斜坡形状的滤波器,
- c) 被滤波数据的富利叶 - 逆变换。
5. 按照权利要求 1 的计算机层面 X 射线照相法, 其特征为, 重新装入是在垂直于每个组的平面上的, 平面的虚拟检测器上进行的, 虚拟检测器包括了回转轴。
- 30 6. 实施按照权利要求 1 方法的计算机层面 X 射线摄影机, 具有包括射线源和与其相连的检测器装置的一个扫描装置, 具有一个驱动装

置,以便使包括在检查区内的对象和扫描装置相互相对地同时围绕回转轴回转,和在回转轴方向进行移动,和具有一个改造装置,用检测器装置获得的测量数据改造检查区内渗入作用的空间分布,

从而其特征为,

5 e) 只使用这些测量数据进行改造的装置,在获得这些测量数据时,射线源用 180° 的角度范围照射检查区内的点,

f) 将测量数据重新装入成多个组的装置,其中每个组包括多个平行于回转轴的平面,在每个平面上有一个扇形射线,

10 g) 对通过重新装入所产生的每个组在垂直于回转轴方向的数据进行一维滤波的装置,

h) 用不同组被滤波的数据改造渗入作用的空间分布的装置。

7. 按照权利要求 6 的计算机层面 X 射线摄影机,其特征为,一个平行光管装置的构造和/或检测器装置的构造是这样的,所有射线源的连接直线与在回转轴方向两边相互错位的由锥形射线束射中的检测器装置的边缘,以及两个在回转方向相邻的螺旋线段射中的检测器装置的边缘相交,在螺旋线上射线源和对象是可以相互相对运动的。

15

对检查区用螺旋线形状扫描的
计算机层面 X 射线照相方法

5 本发明涉及到对检查区用一个扫描装置螺旋线形状扫描的计算机层面 X 射线照相的方法，扫描装置包括一个射线源和一个检测装置，其中包括在检查区内的对象和扫描装置同时相互相对围绕着一个回转轴回转，和有与回转轴方向平行的一个运动，从而产生一个螺旋形（17）的相对运动，和由检测装置获得的测量数据在检查区内渗入作用空间分布的改造。此外本发明涉及到实施这种方法的一个计算机层面 X 射线摄影机。

一个这样的方法和一种这样的计算机层面 X 射线摄影机在 DE - OS 915 45 778 (Tam) 中是已知的。用这种已知的方法有可能，在检查轴方向伸展的检查区内用圆锥形射线束（圆锥光束）进行扫描，和在检查区渗入作用的分布也是可以改造的，如果包括在内部的对象 - 例如是一个病人 - 比获得数据的检查区长时。

当然这种方法的先决条件是，提前确定所谓的“感兴趣区”（ROI），和在 ROI 的开始和结束时（以回转方向为准）对检查区附加一个圆形的、垂直于回转轴轨迹的扫描。只有当检查区的扫描结束时，渗透分布的改造才可以开始。从圆形过渡到圆锥形，和从圆锥形又回到圆形的检查区扫描则要求，或者扫描装置或者在检查区内的对象的急加速以及急减速，这样就可能造成不清晰。其它的缺点是，必须提前确定扫描区。

因此本发明的任务是，用开始叙述方式的一种方法，不要求附加圆形的扫描运动，并且在获得测量数据时就可能进行改造。此任务是用开始叙述方式的方法通过以下步骤解决的。

- a) 只使用那些测量数据进行改造，而这些数据是这样产生的，从正好穿过螺旋线的相邻二线圈之间区域的射线，该点位于检验区内，以此该点在正好 180° 度的角度范围内被辐射 - 如在该点本身所见，
- b) 将测量数据和有关的射线重新装入成为一定数量的组，此时每个组包括有多个与回转轴平行的平面，一个扇形射线位于每个

平面上,

c)对通过重新装入产生的每个组的数据进行滤波,

d)对不同组中被滤波数据的渗入作用的空间分布进行改造。

在本发明中只使用那些数据,当获得这些数据时,射线源照射检查区内一个点时的角度范围准确为 180° - 从各个点方面看 - ;属于测量数据的测量数据准确地穿过两个相邻的螺旋线圈之间的区域。这个角度范围一方面对于准确的改造是足够了,并且另一方面避免了使用多余的测量数据。重要的是与这些测量数据的连接,打算重新装入 (rebinning) 的方式 (“重新装入”可理解为将测量数据从获得时的序列重新分类,以及将测量数据重新插补成为一个另外的扫描网格)。重新装入是通过沿着射线所得到的数据进行的,该射线从一个相同的能量点发出并且形成在平行于旋转轴的平面上延伸的扇形射线。这样就非常明显地减少了以下处理步骤 - (有利的是一维的) 滤波和改造。

基本上有各种可能性,将从上面的扇形射线发出的数据组合成组,然而对于大多数的这些组来说,将测量数据用适当选择的加权系数进行加权 (这可能与检测类型和重新装入的方式有关)。优选地,每个组可以只包括有相互平行的平面,这就非常明显地减少了其它的步骤。特别是此时出现了一个非常好的图象质量。此外,每个组的重新装入可以在一个虚拟检测器上进行,虚拟检测器位于垂直于属于这个组的平面上,并且有一个矩形的平面。这大大方便了在以下处理步骤中所要求的在一个等距离测量点网格上的重新插补。

原则上也可以借助于不同组中被滤波的数据,将渗入分布用所谓的综合投影进行改造,如在 Schaller 等人在 SPIE, 第 3032 卷, 第 213 至 224 页的文献中所叙述的。然而一种有利的改造方法是通过被滤波数据的反投影进行的。

例如滤波也可以这样进行,将重新装入时所产生的数据在一个适当的滤波器上进行一个卷积 (卷积)。优选地,将垂直于回转轴方向的每个组的数据进行一维的富利叶 - 变换;对富利叶 - 变换所得到的数值使用一个斜坡形状的滤波器;被滤波数据的富利叶 - 逆变换。这样,相对来说需要的计算时间比较少。

在本发明的计算机层面 X 射线摄影机中,是

以平行光管的形式和/或以检测装置的形式确保,在检查区内的每个点“看见”从射线源产生的射线束中在一定角度下退出时的射线源,相对于进入射线束时的角度准确地错位 $180^\circ (\pi)$ 。这个措施的优点在于,测量到了对于准确的改造要求的所有测量数据 - 并且只有这些测量数据 -。此时分离多余数据和测量多余测量数据的重要性是不必要的。

以下本发明借助于附图详细地进行叙述。附图表示:

附图 1 用简图表示按照本发明的计算机层面 X 射线摄影机,

附图 2 螺旋线形状的扫描轨迹,扫描轨迹描述扫描装置和位于检查区内的对象的相对位置,

附图 3 用投影图表示扫描装置和检查区,

附图 4 附图 3 的上视图,

附图 5 检测器装置的一个展开图,

附图 6 检测器装置的各种方案,

附图 7 位于圆柱体上围绕射线源的检测器装置的一个展开图,

附图 8 属于一个组的重新装入的数据的扇形的投影表示图,

附图 9 处理测量数据的过程图,

附图 10 具有几条射线的检测器装置的侧视图,

附图 11 是附图 10 的装置的上视图,

附图 12 和附图 11 同一个视图,然而是在一部分测量数据重新装入以后。

在附图 1 上表示的计算机层面 X 射线摄影机包括一个构架 1,构架可以围绕着平行于 z-方向的回转轴 14 回转。此外构架是由一个电机 2 以一个有利的恒定角速度驱动。在构架上是一个射线源 S,例如在其上固定了一个伦琴射线管,在伦琴射线管上安排了一个平行光管装置 3,平行光管装置将由射线源 S 产生的射线选出一个锥形的射线束 4,也就是一个射线束不仅在 z-方向而且在其垂直的一个方向上(也就是在附图上表示的直角坐标系的 x-y 平面上)有一个有限的扩展。

射线束穿过检查区 13 以及一个对象 - 没有详细表示 -, 例如在病床上的病人。穿过检查区 13 以后,伦琴射线束 4 遇到固定在构架 1 上的二维的检测器装置 16,检测器装置包括多个各自具有很多检测元件的检测器行。每个检测元件得到在每个射线源 - 位置上从射线束 4 来

的一条射线。检测器装置 16 可以安排在一个圆弧上，圆弧与射线源 S 在回转时的圆形轨迹相重叠。

用 $\gamma_{\max}$ 表示射线束 4 的开口角(开口角是指位于 x-y 平面边缘的射线束 4 的射线与回转轴 14 垂直相交的射线的夹角)，此时开口角决定了围绕回转轴 14 的检查区 13 的直径，准备检查的对象在检测器装置获得测量数据时必须位于这个直径以内。检查区 13 - 以及例如位于其内的在病床上的病人，可以借助于电机 5 平行于回转轴方向，即在 z - 轴方向移动。此时被检测器装置 16 获得的测量数据被输入给图象处理计算机 10，从而计算机计算出由射线锥 4 照射的检查区 13 的一部分射线的渗入分布，和例如在一个显示器 11 上显示。两个电机 2 和 5，图象处理计算机 10，射线源 S 和将测量数据从检测器装置 16 转换到图象处理计算机 10 上是由一个适当的监控装置 7 控制的。

监控装置 7 控制电机 2 和 5，检查区 13 的速度与构架 1 角速度的速比保持为一个恒定的比例。在这种情况下，射线源 S 和检查区相互的相对运动是在螺旋线形状的轨迹上。此时原则上是一样的，是否扫描装置或者检查区进行回转运动以及直线运动：重要的只是相对运动。

因此在附图 2 上假设，射线源 S (和经过构架与射线源连接的检测器装置 16) 是在附图 2 上表示的螺旋形状的轨迹 17 上运动的，然而在附图 2 上没有表示的检查区 13 (以及内部的对象) 保持不动。由 S 得到的锥形射线束 4 遇到在检查区另一边安置的检测器装置 16。锥形射线束 4 是这样表示的，似乎在很多与回转轴 14 (以及与 z - 方向) 平行的平面上每个有一个扇形射线。所有这些平面的扇形射线是从各个射线源 S 的位置出发的并且在这个位置上相交。

同样以投影视图表示的附图 3，表示了通过射线出发点符号为 S 的射线源，检测器装置 16 和半径为 r 的圆柱形检查区 13。此外还表示了一个包围着检查区 13 的半径为 R 的圆柱体 12，位于圆柱体上的是螺旋形扫描轨迹 (17 在附图 2 上) 和以下也被称为螺旋形 - 圆柱体。此时假设射线源 S 和检测器装置 16 保持不动，而检查区 13 与在其内的对象在回转轴 14 方向移动，并且同时围绕这个回转轴 14 以逆时针方向回转；圆柱体 13 好象要从圆锥 - 圆柱体 12 向上移出来。

检测器装置 16， - 如附图 1 所示 - 是由检测元件的镶嵌块组成的，

检测元件可以安排在列上（平行于回转轴 14 方向）和在行上，位于螺旋线 - 圆柱体 12 的圆周上，在两个前后跟踪的螺旋线 12 的圈上，其在 z -方向的尺寸相当于螺旋线 17 的圈距离 h 。

此外在附图 3 上画上两个射线 18a 和 18b, 这两个射线与检测元件的下边缘和上边缘相遇，并且在点 Q_1 和点 Q_2 上穿透检查区 13 的边缘。位于这两个点之间射线上的点 Q 是射线上的这样一个点，具有与回转轴 14 最短的距离。射线 18a 和射线 18b 在进入射线束和离开射线束时遇到点 $Q_1 - Q - Q_2$ 。这些是在不同的时间点上由检测元件测得的。

附图 4 表示了按照附图 3 装置的上边，也就是在平行于 z -轴的视图上，即回转轴 14 的视图上。在 x - y 平面上射线锥的开口角 $\gamma_{\max}$ 此时为 45° ，这意味着，半径 $r=R/\sqrt{2}$ 。半径 r 也可以大于 $R/\sqrt{2}$ （但是始终小于 R ）或小一点 - 如附图 2 所示 -。

两个射线 18a 和 18b 在 x - y 平面上的投影与 x -轴，也就是一个由 S 射出的通过回转轴 14 的射线 - 之间有一个夹角 γ 。当检查区 13 转了 $\pi + 2\gamma$ 角时，并且成比例地在 z -轴方向移动以后，则下面的射线 18a 过渡到上面的射线 18b。但是在进入射线锥时点 Q_1 位于射线源 S 与 Q_2 之间，当退出时正好相反。

这意味着，点 Q_1 和 Q_2 和所有在 Q_1 和 Q_2 直线上的点，是在准确的 180° 角度范围 - 从各个点上来看 - 照射以及投影到检测器装置 16 上。用这种方法同时进入检查区 13 和同时从检查区退出的具有点的一条直线，以下被称为 π -直线。附图 3 和附图 4 上的直线 18 是一条这样的 π -直线，并且很清楚， π -直线是一条直线，这条直线连接螺旋线形状扫描轨迹 17 的同一个圈上的两个点。这表明，在检查区的每个点属于一条 - 并且只属于一条 - π -直线。此时每个点 - 从这个点上看 - 受到一个角度范围为 180° 的照射。这是足够了 - 并且是必要的 - 以便可以对在检查区 13 内的每个进入射线锥和又从射线锥退出的点进行改造。为此为了准确的改造，检测器装置 16 提供所要求的测量值，但是没有多余的测量值，这显著地简化了改造工作。

附图 5 表示了将检测器装置 16 的螺旋形圆柱体 12 展开在图平面上。展开的形状是平行于 z -方向的边的平行四边形，上边和下边与回转轴之间对应于螺旋线的螺距有一个夹角 ε ，夹角 ε 可以从公式 $\tan \varepsilon = h/2\pi R$ 中计算出来。其中假设，直线速度和回转速度（即角速度）

是恒定的, 并且以同样的时间在 z -方向有一个进给移动距离 h , 围绕回转轴 14 绕一整圈。

当一个点经过射线锥时, 其投影连续地改变其在检测器装置 16 上的位置。从检测器装置的下边缘开始 (即在检测器下行) 在检测器装置上描绘出一条曲线, 这条曲线在上边缘结束。在附图 5 上表示了曲线 Q_1 、 Q 和 Q_2 。此外附图 5 还表示了在一条其它的 π -直线上的点 P_1 、 P 、 P_2 , 其在 z -方向的投影在进入 (也就是说当其与射线源的连线与检测器装置的下边缘相交时 - 比较附图 3) 射线束时与在附图 4 上的上射线 18b 重叠。当这个点穿过射线锥时, 其位置比点 Q_1 - Q - Q_2 更靠近射线源 S , 并且直线点穿过射线锥时, 是围绕回转轴 14 回转一个角度为 $\pi - 2\gamma$ 时。同样这些点在其穿过射线锥 4 时也从准确的 180° 角度上“看见”射线源 S 。在相同的 π -直线上两个点之间的距离愈大时, 在检测器装置上描述射线点的两条曲线之间的偏差愈大。

检测器装置的展开不一定必须如附图 5 上的平行四边形形状。也可以使用一个大一些的例如矩形的检测器, 如果平行光管 3 (附图 1) 这样限制射线源锥形射线束, 由射线束展开所涉及到的检测器装置的范围正好如附图 5 所表示的形状时。代替这个措施 - 或者与其相组合 - 测量数据可以不被检测器的检测元件考虑, 而这些测量数据位于检测器如附图 5 的平行四边形以外。

而且也不要求, 检测器元件位于螺旋形 - 圆柱体 12 (附图 3) 的圆周上。如附图 6 所示, 按照附图 3 简化表示的装置在 z -轴方向的一个平行投影, 检测器装置也可以描述围绕射线源 S 的一个螺旋线形状的圆弧 16b 以及 16a, 圆弧与检查区 13 以及螺旋线 - 圆柱体相切。同样检测器装置单元也可以有一个平面 16c 或任意的形状。在这些变型中重要的只有, 检测器装置的边缘 (以及由射线束 4 各自射到的检测器装置的范围) 与螺旋线形状的扫描轨迹 17 的两个相距为 h 螺旋段的集中投影相重叠, 以及当每个点通过时在角度范围准确为 180° 时看见射线源。

附图 7 表示检测器装置 16 和 16a 在图平面上展开的螺旋形 - 圆柱体 12 在围绕射线源的一个圆弧上相切。人们可以看出, 这个展开的高度, 也就是 z -轴方向的尺寸, - 和同样的检测器行的尺寸 - 是改变的, 并且是按照函数 $h/\cos \gamma$ 而变化, γ 是射线在 x - y 平面上与 z 轴

的夹角（例如比较附图 4）。

下面叙述，由多行检测器装置 16 获得的数据如何在图象处理计算机 10 上进行处理，在附图 9 上表示的过程图是以什么为基础的。初始化以后（方框 100），首先每个检测器元件上的每个测量值被一个参考值除，并且对从中得到的商值取对数。用这种方法得到的测量数据代表了延着与各个检测器元件连接的一个射线的射线源的射线渗入作用的线性积分。然后下面处理步骤的任务是，从这个渗入的线性积分中求出渗入作用的空间分布。

为此将射线进行一次重新装入。重新装入以后或以前对测量数据进行一个重要性分析，测量数据与一个函数相乘，这个函数对应于属于测量数据的射线（例如 18）与垂直于回转轴相交的平面之间夹角的余弦。但是这个重要性步骤可以在这种情况下废除，如果两个螺旋线之间的距离小于半径时。因此这个步骤在附图 9 上没有特别表示出来。

在重新装入的第一个步骤 - 102 - 中，将位于相互平行平面上的或与回转轴 14 平行平面上的扇形射线，以及属于组成这些扇形射线的射线的测量数据，组成为组。首先这些借助于附图 10 进行叙述，附图 10 是附图 3 装置的侧视图。附图 10 表示了锥形射线束 4 的六个射线，其中三个射线 401...403 与检测器装置的上边相遇，和射线 411...413 与检测器装置的下边相遇。此时射线 402 和 412 穿过回转轴 14，而射线 401 和 403 以及 411 和 413 通过回转轴的左边以及右边。这些射线中的每两个是一个扇形射线的边缘射线，这些射线位于平行于 z -轴以及回转轴 14 的平面上，例如射线 401 和 411，射线 402 和 412 和射线 403 和 413。

附图 11 表示了按照附图 10 的装置的一个上视图。因为射线 401...403 和 411...413 各自位于同一个垂直于附图 11 的图平面上，在附图 11 上它们似乎是一条射线。通过这些扇形射线定义的平面在射线源位置 S_a 上相交。扇形射线 401、411 平面与包括回转轴的中间平面之间的夹角为 γ_1 ，而中间平面与扇形射线 403、413 平面之间的夹角为 $-\gamma_1$ ，扇形射线 402、412 平面与中间平面（在附图 11 上是 x - z 平面）相等。

在附图 11 上是两个另外的射线源位置 S_{a-r_1} 和 S_{a+r_1} 位于中间射线源位置 S_a 的两旁，并且每一个扇形射线从这个射线位置出发穿过扇形

射线 420 和 430 的回转轴 14。人们了解到，扇形射线 420 和 403、413 是相互平行的 - 同样扇形射线 401、411 和 430 是相互平行的。在本发明的步骤 102 中，在不同的射线源位置上，位于（与回转轴 14）相互平行平面上的扇形射线 - 以及属于组成为扇形射线的射线的测量数据 - 各自组成为一个组。从而将那些扇形射线（和有关的测量数据）组
5 成为一个组，其中由射线源位置标志的角度（ α ，以及 $\alpha - \gamma_1$ 以及 $\alpha + \gamma_1$ ）和扇形角 γ （这是扇形射线平面与包括回转轴 14 平面之间的夹角；在附图 11 上例如是角度 $-\gamma_1$ 以及 $+\gamma_1$ ）是恒定的。

实际上只有射线源位置角度 α ，以及 - 由检测器元件的有限尺寸决定的 - 扇形角 γ 的离散的数值。这些离散数值由于增量 $d\alpha$ 以及 $d\gamma$ 而相互区别，其中 $d\alpha \neq d\gamma$ 。由于这个不相等，这两个角度的和在不同的射线源位置上的数值不是准确地具有相等的数值；可以有扇形射线角度的和大于或小于属于中间的射线源位置 S 的角度 α ，也就是说，有关的扇形射线不位于平行的平面上。在这种情况下人们可以通过对
10 这个原来的扇形射线用属于一个略有偏差角度 α 的测量数值的插补，求出扇形射线的测量值，这个扇形射线是位于一个准确的平行平面上的，以及其和也是准确的 α 。

附图 12 表示了在不同射线源位置上产生的一个这样的群，位于平行平面上穿过检查区 13 的扇形射线上。在垂直于这些扇形射线位于其上的平面上和在回转轴上安排了一个虚拟检测器 72。这个虚拟检测器的尺寸在 x-y 平面上相当于检查区 13 的直径（ $2r$ ）。虚拟检测器在 z 方向的尺寸为 $h/2$ 。这样就可以看出，所有扇形射线的上与下边缘射线与这个平面的、虚拟的和准确的矩形的检测器的（z-方向）上以及下边缘准确地重合在一起。
20

附图 8 用一个投影图叙述了这样的情况，其中假设射线源在螺旋形的轨迹 17 上移动。虚拟检测器 72 的上边和左边是由虚线表示的，而下边是由点划线表示的。虚拟检测器的上边和下边是由 72 虚线延长的，并且用一个矩形 720 补充的，螺旋形轨迹 17 由其右上角点延伸到其上角点。从不同的射线源位置在螺旋形轨迹上出发，和在相互平行的平面上延伸的扇形射线，被表示为三角形，其上和下边应该表示扇形射线的边缘射线的上边和下边，并且其立式边应该表示由这些扇形射线射到的检测器装置的行的位置。
25
30

虽然射线源的位置位于中点的左和右,比中间的射线源位置高或低一些(在回转轴方向测量),上和下边缘射线碰到虚拟检测器 72 的上和下边缘。这是由于被位于中间的检测器行从右以及左测得的扇形射线,在 z-方向上高或低于从中间的射线源位置出发穿过扇形射线的回转轴 14。

从上述情况看得很清楚,每个扇形射线覆盖着虚拟检测器的一行。在步骤 102 中,将所有的扇形射线(位于平行于回转轴的平面上)从属于每个不同的组,这样-必要时在插补以后-每个组内的扇形射线位于平行的平面上,这些平面与属于这个组的虚拟检测器 72 垂直相交。

用这种方法对至少一个组测得所有的测量值和从属的扇形射线以后,在 103 步骤中进行重新装入第二部分。这是一种另外的插补方法,由于下述原因是必要的:扇形射线位于虚拟检测器的一个立式的带上,即一行上,并且从属于这个扇形射线的射线可以照在虚拟检测器的等高点上,但是行以及立式的带相互有不同的距离(由于几何原因在外面比在里面相互之间密一些地靠在一起)。所以在步骤 103 上对经过步骤 102 以后的数据进行这样插补,在虚拟检测器上对于一个有规则的直角坐标的网格产生从属的射线和从属的渗作用的线性积分。从而将平行的扇形几何形状重新装入网格点规则分布的一个矩形检测器平面上,这显著地减轻了下面的处理。

在步骤 102 和 103 进行重新装入,从而提供了测量数据组和所属的射线,如果平面的矩形检测器在包括有回转轴 14 的平面上(也就是虚拟检测器),测得沿着直线 17 的一段延伸的射线源的测量数据时,则测得了垂直于检测器平面和平行于回转轴 14 的扇形射线。

随后在步骤 104 中进行一个一维的滤波。在上述的重新装入时,只要求一个简单的一维的与位置无关的,最好是斜坡形状的行方向的滤波(行方向在附图 12 上是立式的以及在附图 8 的投影图上是矩形 720 以及 72 的纵向方向,并且因此是垂直于回转轴 14 的)。原则上滤波是这样进行,由重新装入产生的数据与一个适当的一维的滤波进行一个卷积。

然而一个简单的方法是,通过重新装入产生的数据,在步骤 104 中首先进行一个富利叶变换。在步骤 105 中用这种方法,在位置频率

空间对变换的数据进行一个斜坡形状的滤波（在行方向），其中阻尼随着频率数值的增加而线性地减小。在步骤 106 中用这种方法，在位置频率空间对被滤波的数据进行一个富利叶的逆变换，这样就产生了被滤波的投影数据。

- 5 这是不重要的，以重新装入为基础的虚拟检测器，同样是并且包括回转轴。如果这个先决条件不存在，各个射线的穿透点与（虚拟的）检测器不再描述与回转轴垂直的直线，而是 - 必要时是曲线 -。在这种情况下必须对测量数据进行滤波，测量数据是从属于在同一组内扇形射线的对应于依次射线的（例如各自是最上边的，第二个最上边的...
10 最下边的）。

- 在下一个步骤 107 中，被滤波的每个组的数据沿着由重新装入得到的射线，在位置空间上进行反投影。被滤波的数据被安排在检查区的 Voxel_n 中（也就是在 Voxel 中“被添补”），在获得有关的射线时被射中。用这种方法，每个 Voxel 从不同的射线组得到好处（即从有关
15 的数据中），射线与这些 Voxel_n 之间的夹角为 180° 。此时被滤波的数据与任意的重要性函数相乘是不必要的。

- 当扫描单元相对检查区的回转角度为 $180^\circ + 2\gamma_{\max}$ 时产生的测量数据，在对应于 101 - 107 的步骤中被处理时，此时已经产生了检查区一部分的改造。用这种方法改造的区域随后可以直接显示在显示屏上，
20 此时可以继续获得测量数据和对应于 101 - 107 的步骤进行处理。获得测量数据和在检查区的渗入分布的改造，随后可以在任意的时间点上结束（方框 108）。

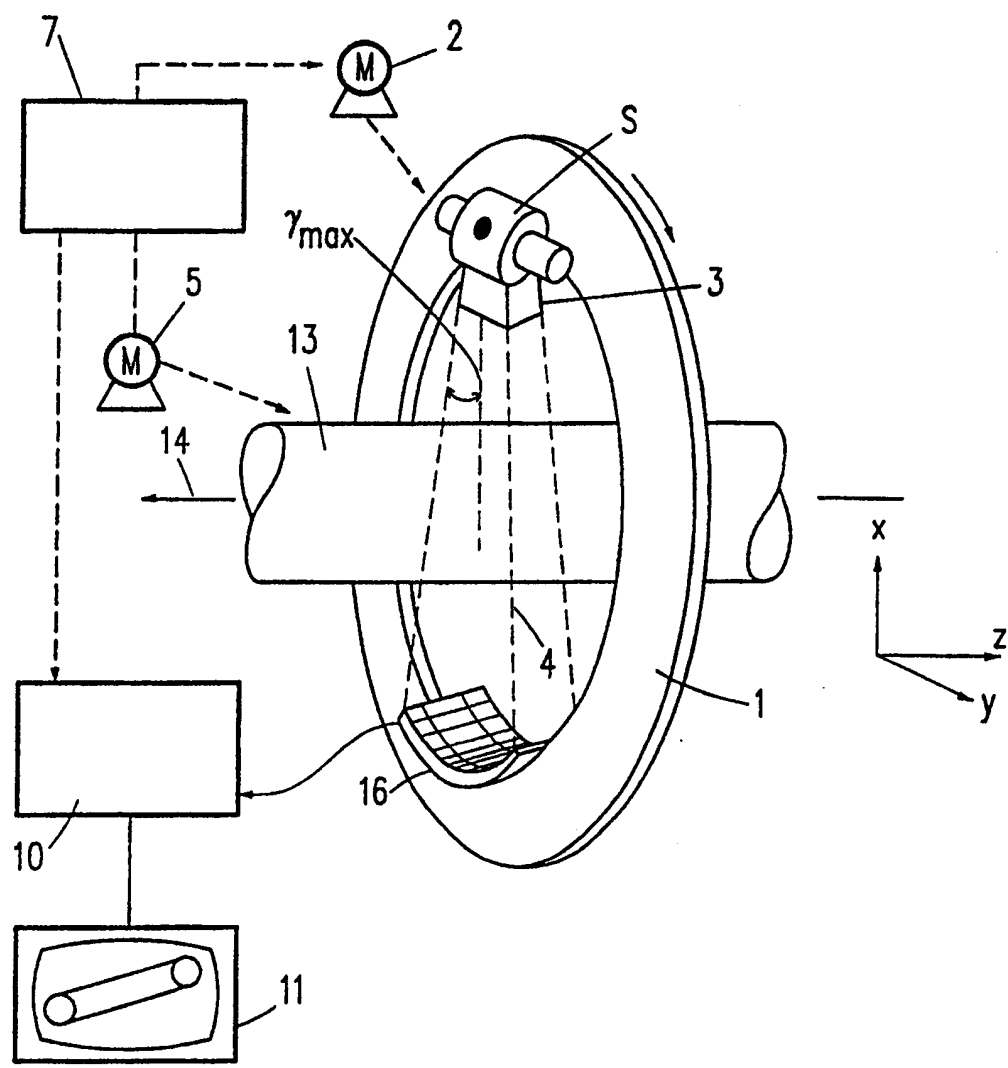


图 1

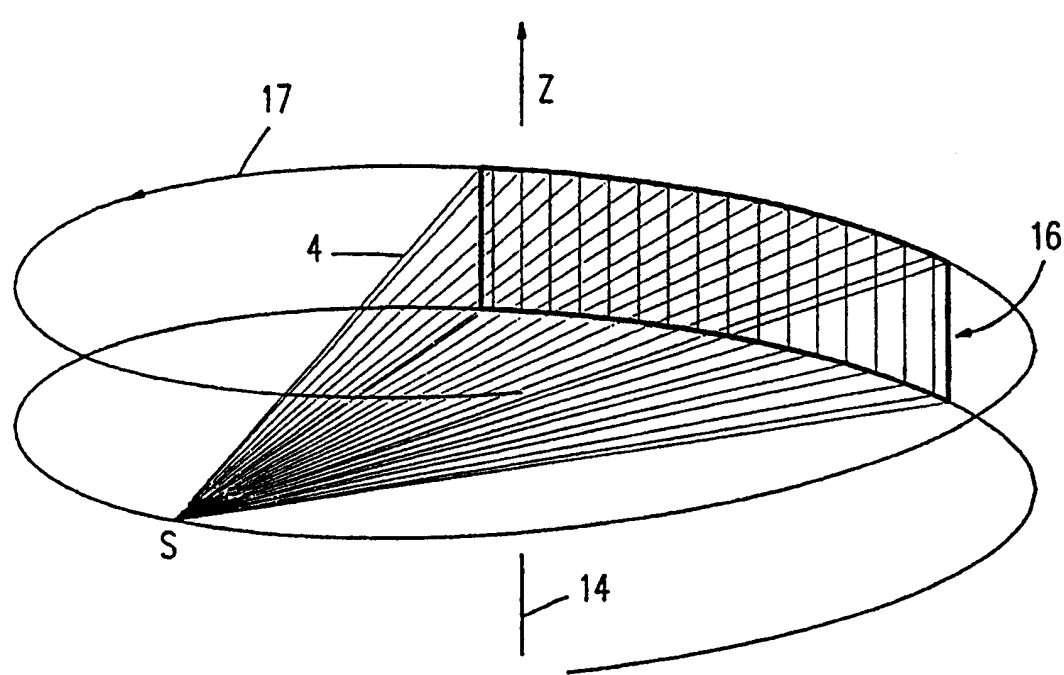


图 2

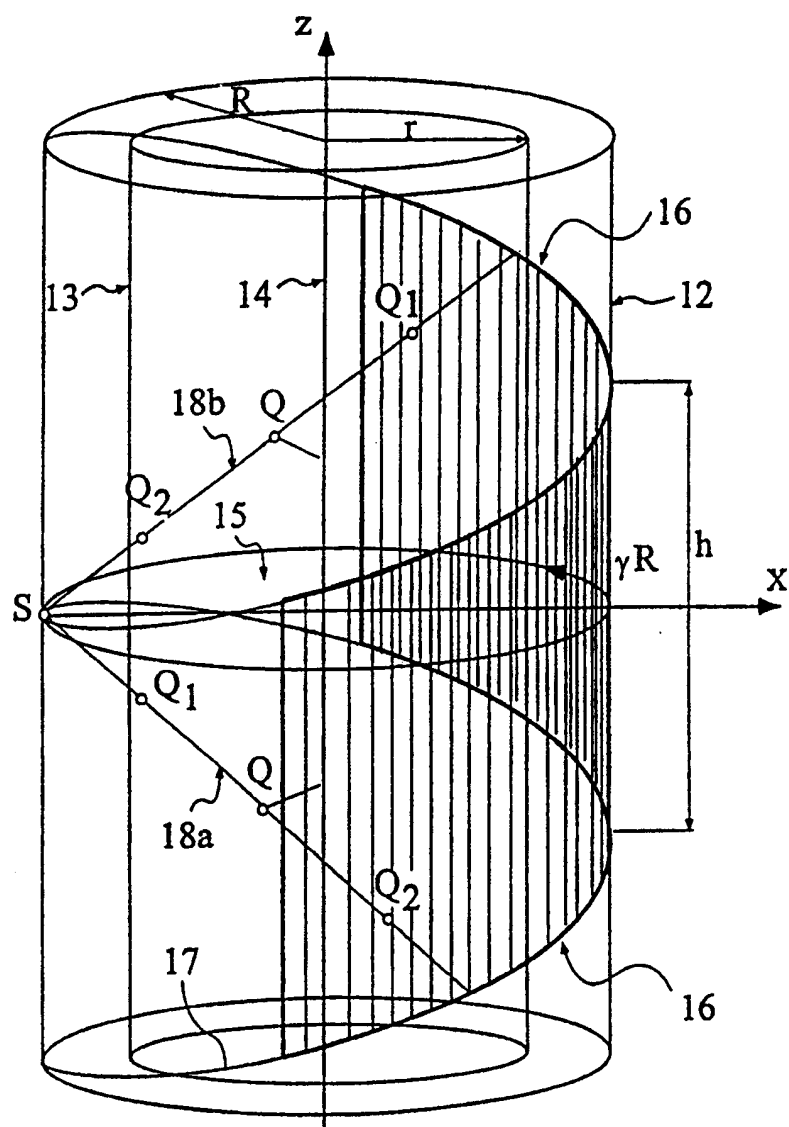


图 3

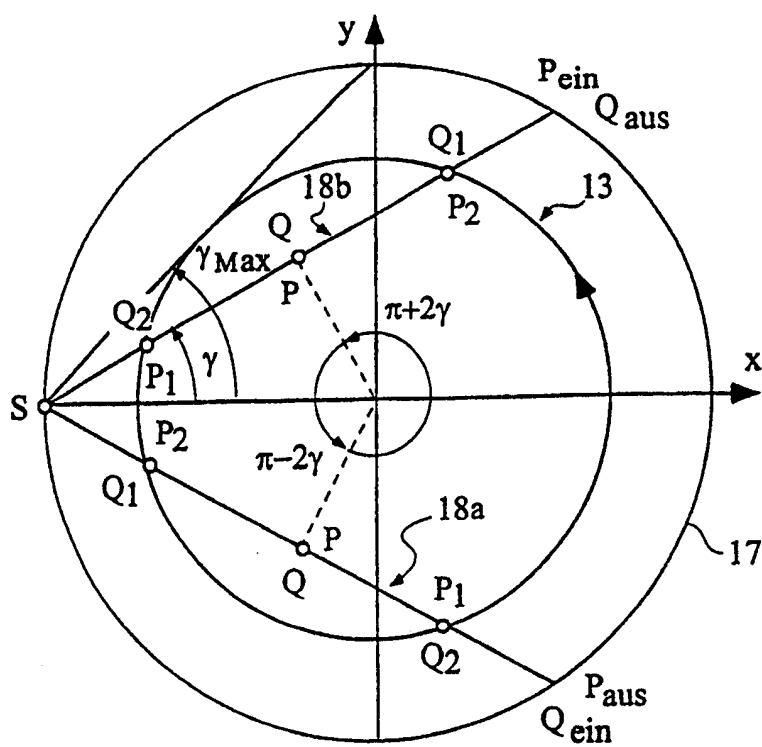


图 4

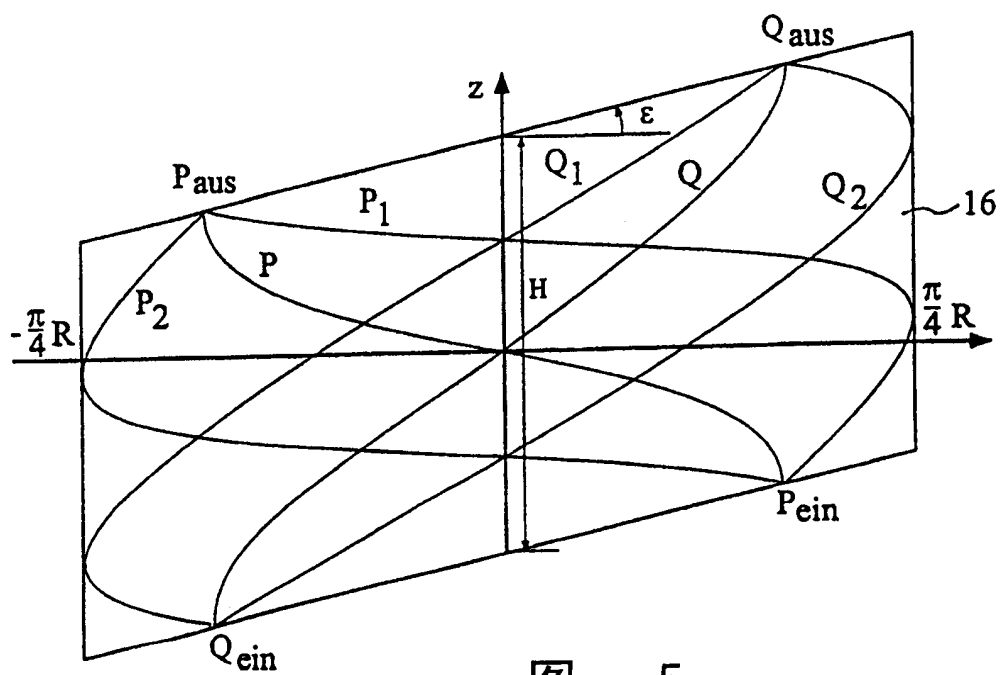


图 5

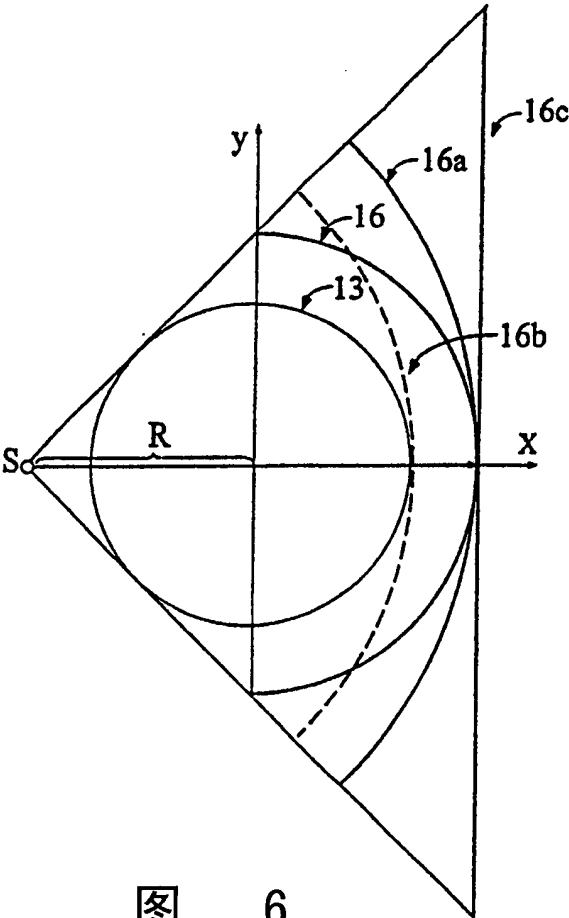


图 6

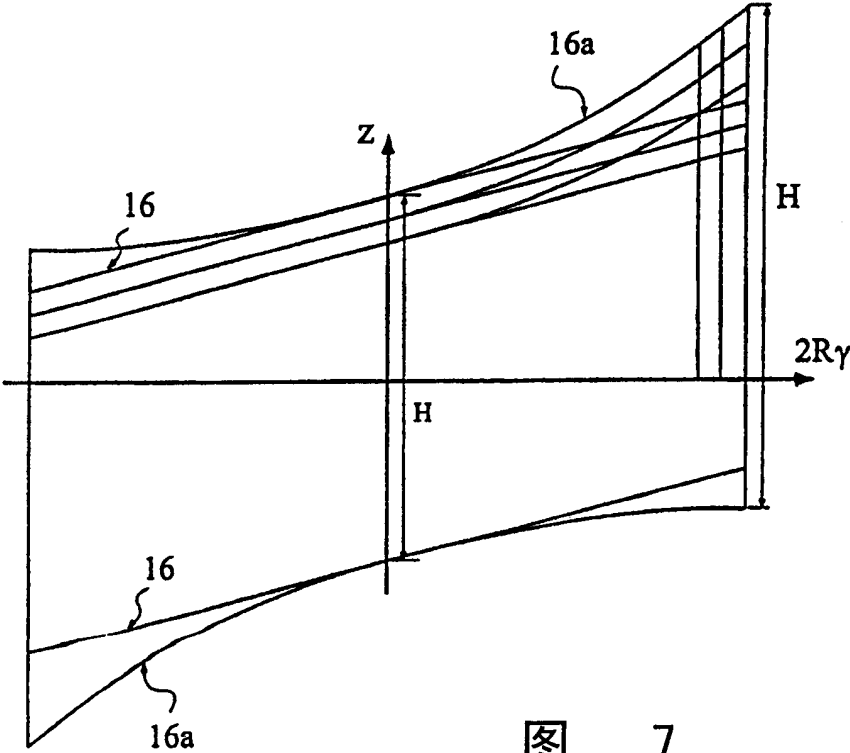


图 7

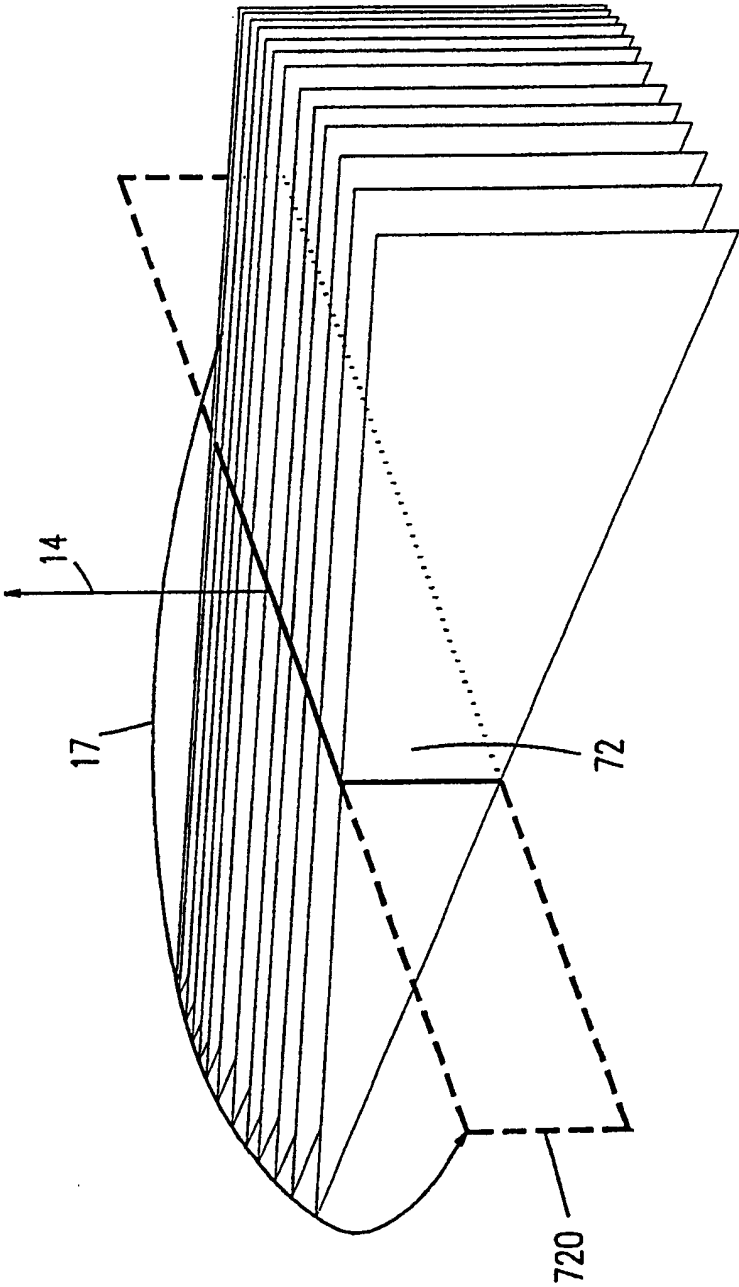


图 8

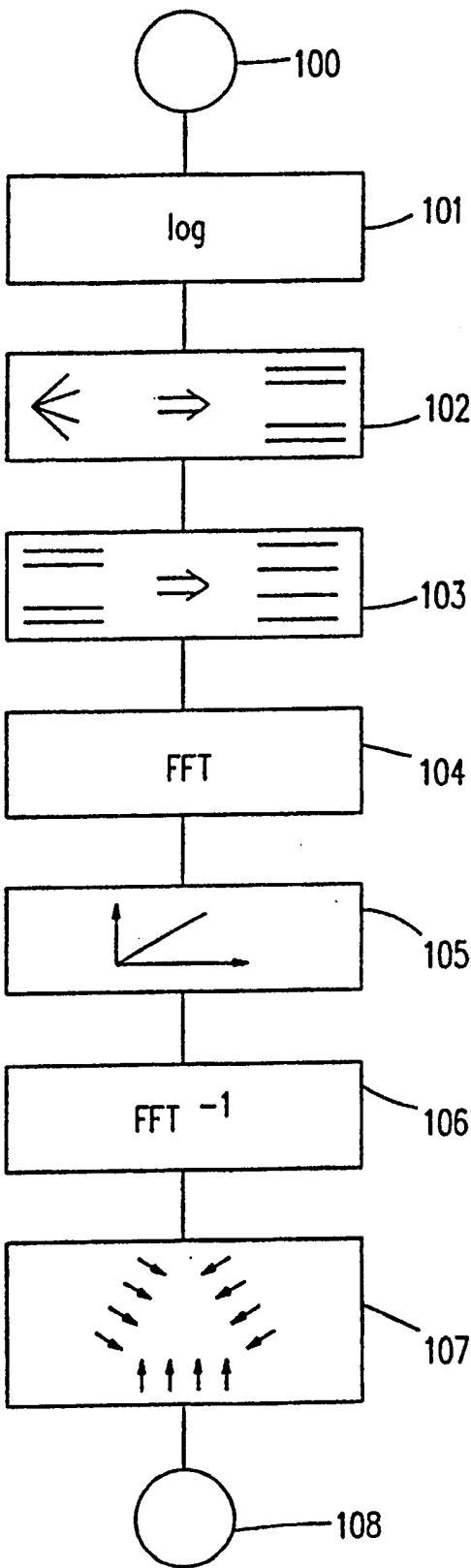


图 9

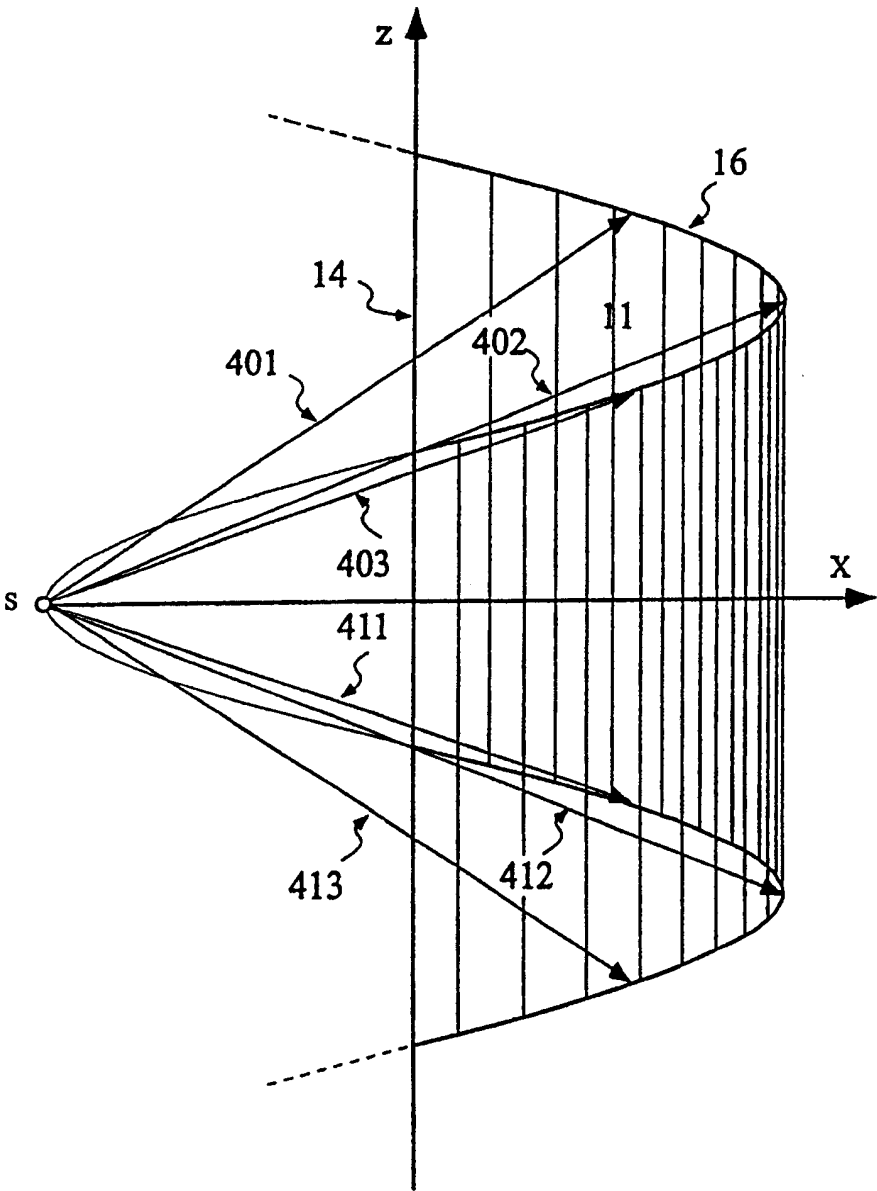


图 10

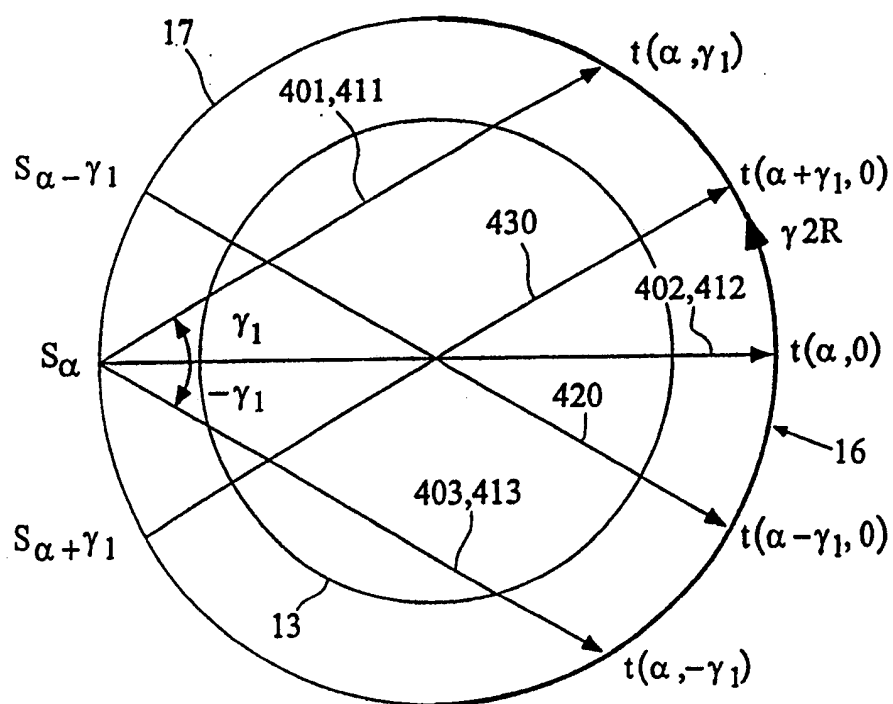


图 11

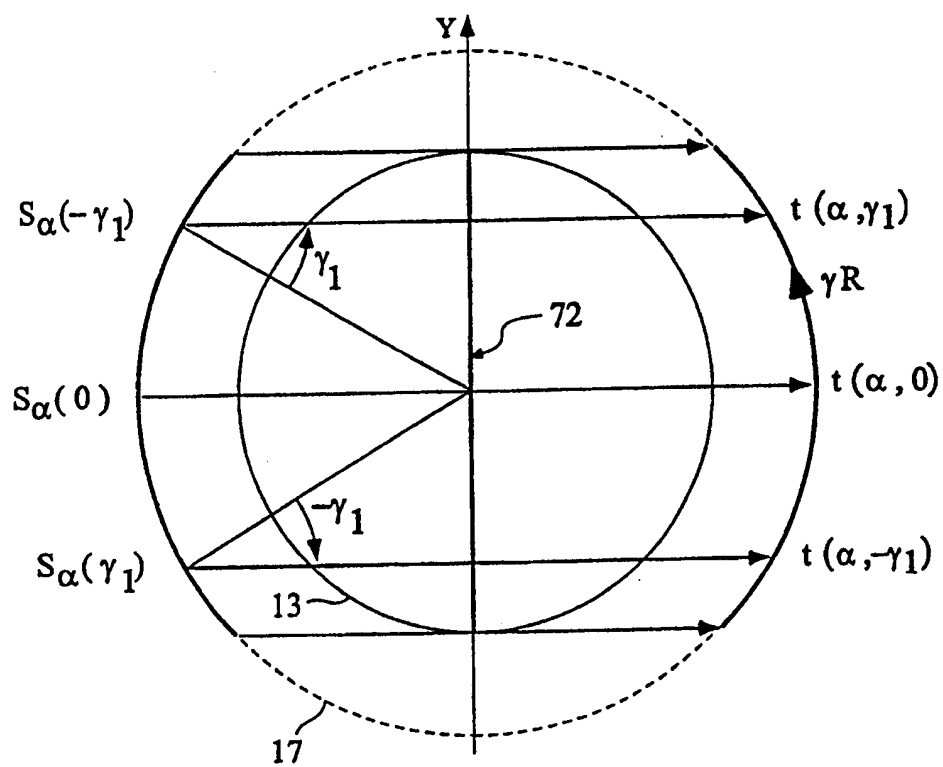


图 12