

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710148811.6

[51] Int. Cl.

A61B 6/00 (2006.01)

G06T 15/00 (2006.01)

G01N 23/04 (2006.01)

G03B 42/02 (2006.01)

[43] 公开日 2008 年 3 月 5 日

[11] 公开号 CN 101133962A

[22] 申请日 2007.9.3

[21] 申请号 200710148811.6

[30] 优先权

[32] 2006.9.1 [33] DE [31] 102006041033.5

[71] 申请人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

[72] 发明人 本诺·海格尔 斯蒂芬·霍庇
乔基姆·霍内杰
厄恩斯特-彼得·鲁厄恩肖普
霍尔格·谢尔 伯恩哈德·肖尔茨
迈克尔·泽勒霍夫

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 谢 强 周少杰

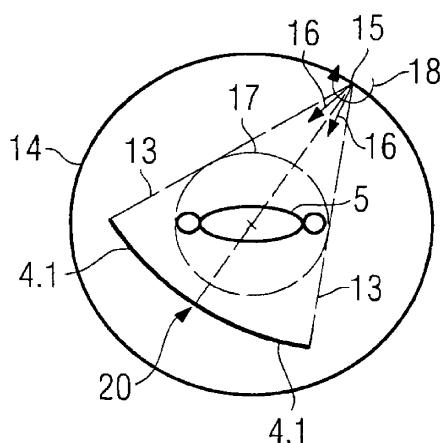
权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 10 页

[54] 发明名称

再现三维立体图像的方法和 X 射线设备

[57] 摘要

为了在感兴趣区域较大以及在扫描轨道小于 360°的情况下也能进行无伪影再现，本发明提出了一种由感兴趣区域的多个二维投影图像再现三维立体图像的方法，其中，这些二维投影图像是在拍摄系统绕该感兴趣区域旋转期间拍摄的，该拍摄系统具有带有焦点的 X 射线源和 X 射线检测器，其中，通过投影图像的反投影来计算立体图像体素的灰度值，其中，每幅二维投影图像分别来自于至少两幅被综合为一幅扩展的二维投影图像的单独的投影图像，其中，所述各至少两幅单独的投影图像是在焦点和感兴趣区域之间相对位置恒定的情况下拍摄的。



1. 一种由感兴趣区域的多个二维投影图像再现三维立体图像的方法，其中，这些二维投影图像是在拍摄系统（3，4）绕该感兴趣区域（5）旋转期间拍摄的，该拍摄系统（3，4）具有带有焦点（15）的X射线源（3）和X射线检测器（4），其中，通过所述投影图像的反投影来计算立体图像体素的灰度值，其特征在于，每幅二维投影图像分别来自于至少两幅被综合为一幅扩展的二维投影图像的单独的投影图像，其中，所述各至少两幅单独的投影图像是在焦点（15）和感兴趣区域（5）之间相对位置恒定的情况下拍摄的。

2. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述各至少两幅单独的投影图像关于所述拍摄系统（3，4）绕焦点（15）或绕通过焦点（15）的旋转轴旋转的旋转角不同，而所述焦点（15）和感兴趣区域（5）为位置固定的。

3. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述各至少两幅单独的投影图像关于所述感兴趣区域（5）绕焦点（15）或绕通过焦点（15）的旋转轴旋转的旋转角不同，而所述焦点（15）和拍摄系统（3，4）为位置固定的。

4. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述各至少两幅单独的投影图像的区别在于，所述焦点（15）和所述感兴趣区域（5）在相对位置恒定的情况下彼此不同地定位，并且所述拍摄系统（3，4）绕焦点（15）或绕通过焦点（15）的旋转轴不同地旋转。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法，其中，分别产生两幅单独的投影图像并综合为一幅扩展的投影图像。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的方法，其中，所述至少两幅单独的投影图像的相应旋转角位于一个平面内。

7. 根据权利要求1至6中任一项所述的方法，其中，所述拍摄系统（3，4）或感兴趣区域（5）绕焦点（15）的相应旋转基本上位于拍摄系统（3，4）绕感兴趣区域（5）的旋转平面内。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的方法，其中，第一单独的投影图像是在所述拍摄系统（3，4）绕焦点（15）或绕通过焦点（15）的旋转轴旋转时的第一旋转角（ α ）下拍摄的，第二单独的投影图像是在所述拍摄系统（3，4）绕焦点（15）或绕通过焦点（15）的旋转轴旋转时的第二旋转角（ β ）下拍摄的，

其中，第一旋转角（ α ）为第二旋转角（ β ）的负数。

9. 根据权利要求 1 至 8 中任一项所述的方法，其中，各个单独的待综合的投影图像相互间具有大于 0% 且小于 50% 的重叠。

10. 根据权利要求 1 至 9 中任一项所述的方法，其中，各个单独的待综合的投影图像相互间具有大于 0% 且小于 10% 的重叠。

11. 根据权利要求 9 或 10 所述的方法，其中，根据对象、尤其是其大小来调节所述重叠。

12. 根据权利要求 1 至 11 中任一项所述的方法，其中，所述投影图像的拍摄顺序为，首先在所述拍摄系统（3，4）围绕感兴趣区域（5）的第一旋转运行中拍摄所有第一单独投影图像，然后在所述拍摄系统（3，4）围绕感兴趣区域（5）的第二旋转运行中拍摄所有第二单独投影图像，其中，将每幅第一单独投影图像分别与一幅第二投影图像相综合。

13. 根据权利要求 1 至 12 中任一项所述的方法，其中，所述投影图像的拍摄顺序为，在所述拍摄系统（3，4）围绕感兴趣区域（5）的一次旋转运行中分别以直接序列拍摄至少两幅单独的投影图像，将该两幅投影图像综合为一幅扩展的二维投影图像。

14. 根据权利要求 1 至 13 中任一项所述的方法，其中，由 X 射线源（3）产生的用于拍摄投影图像的 X 射线为圆锥形射线。

15. 根据权利要求 1 至 14 中任一项所述的方法，其中，由 X 射线源（3）产生的用于拍摄投影图像的 X 射线为扇形射线。

16. 根据权利要求 1 至 15 中任一项所述的方法，其中，通过基于所述 X 射线检测器（4）的检测器矩阵的笛卡尔布局建立的虚拟检测器（20）进行对所述至少两幅单独的投影图像的综合。

17. 根据权利要求 1 至 16 中任一项所述的方法，其中，通过基于滤波行的设置建立的虚拟检测器（20）进行对所述至少两幅单独的投影图像的综合。

18. 一种 X 射线设备，用于实施根据权利要求 1、2 和 4 至 7 中任一项所述的方法，具有：

拍摄系统（3，4），用于拍摄感兴趣区域（5）的二维投影图像，其包括射线源（3）和 X 射线检测器（4），其中，该拍摄系统（3，4）可以同时绕射线源（3）和 X 射线检测器（4）之间的第一旋转中心和绕射线源（3）的焦点（15）的第二旋转中心或绕通过射线源（3）的焦点（15）的旋转轴旋转；

控制和计算单元，用于从二维投影图像中再现出三维立体图像。

19. 一种 X 射线设备，用于实施根据权利要求 1 和 3 至 17 中任一项所述的方法，具有：

拍摄系统（3，4），用于拍摄感兴趣区域（5）的二维投影图像，其包括射线源（3）和 X 射线检测器（4），其中，该拍摄系统（3，4）可以绕射线源（3）和 X 射线检测器（4）之间的第一旋转中心旋转；

用于承载所述感兴趣区域的、在空间上可调的支撑装置；

控制和计算单元，用于从二维投影图像中再现出三维立体图像。

20. 根据权利要求 18 或 19 所述的 X 射线设备，其由 C 形弓架式 X 射线设备（30，31）构成。

21. 根据权利要求 18 或 19 所述的 X 射线设备，其中，所述拍摄系统（3，4）直接或借助支架安置在弯臂机器人或工业机器人（32）上。

22. 根据权利要求 18 或 19 所述的 X 射线设备，其由计算机断层造影设备构成。

再现三维立体图像的方法和 X 射线设备

技术领域

本发明涉及一种从对象的两维投影图像中再现三维立体图像的方法和用于实施这样的方法的 X 射线设备。

背景技术

在这种借助 C 形弓架式设备的三维锥形射线再现中，在对一定的超过由拍摄几何参数（检测器尺寸和焦距）确定的最大宽度的身体部位（如腹部或胸部）进行检查时会出现所谓的宽对象(Wide Object)的问题。对于借助于滤波的反投影进行的 3D 再现，重要的处理步骤是对沿水平或近似水平地在检测器内延伸的行的投影数据的滤波。

由于滤波核（如斜坡滤波器或希尔伯特滤波器）的非局部性，滤波行（Filterlinien）必须穿过检查区域的整个投影并且在此不允许被截断，即便是仅要对感兴趣区域（ROI）的一部分进行再现也是如此。但受限的检测器宽度在很多拍摄中导致感兴趣区域投影的横向（transaxial）截断，因为感兴趣区域不能被视野（FoV）完全遮盖。这使得截断的滤波行在这些投影中跟随在后。结果是很强的再现伪影，如所谓的截断伪影，再现这些伪影使结果不真实并妨碍对其的高质量诊断、使高质量的诊断困难或无法进行。

几乎在当前所有基于经滤波的反投影工作的再现算法（FBP 算法）中都会出现所谓的宽对象问题，这是普遍的。对于 Feldkamp 算法而言尤其如此，该算法用于焦点的圆形扫描轨道，并由 L. A. Feldkamp, L. C. Davis, J. W. Kress 的“Practical Cone-Beam Algorithm”，J. Opt. Soc. Am. A. Vol. 1, Nr. 6, S612-619 而公知。较新的（例如由 A. Katsevich 的“Image Reconstruction for the Circle and Arc Trajectory”，Physics in Medicine and Biology, Vol. 50, S. 2249-2265, April 2005 以及由 J. Pack, F. Noo 的“Cone-Beam Reconstruction Using 1D Filtering Along the Projection of M-Lines”，Inverse Problems, Vol.21, S. 1105-1120, April 2005 已知的）确切再现方法要求扫描扩展的轨道曲线（如圆和线，圆和圆弧），但仍存在

该问题。因此，对于宽对象问题的可接受的解决方案就成为对在计算机断层造影中解决再现问题的重要而核心的贡献。

在实施反投影之后才在对象空间中进行滤波并且仅对对象数据采取局部计算步骤的反投影过滤方法 (BPF)，可以在一定程度上对截取的投影起作用。该方法曾对用于对锥形射线再现的扫描的螺旋形 (J. Pack, F. Noo, R. Clackdoyle: “Cone-Beam Reconstruction Using the Backprojection of Locally Filtered Projections”, IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 24, Nr. 1, S. 70-85, Januar 2005; E. Y. Sidky, Y. Zou, X. Pan: “Minimum Data Image Reconstruction Algorithms with Shift-Invariant Filtering for Helical, Cone-beam CT”, Physics in Medicine and Biology, Vol. 50, S. 1643-1657, 2005) 和圆形 (L. YU, D. Xia, Y. Zou, X. Pan, C. Pelizzari, P. Munro: “Region of Interest Reconstruction from Truncated Data in Circular Cone-Beam CT”, Proceedings of the SPIE, Vol. 5747, S. 412-418, 2005) 轨道曲线的例子进行过演示。BPF 方法在一些情况下解决了截取投影的问题并使得能够在检查区域内对 ROI 进行无伪影再现。

此外还公知从 BPF 方法中导出的、具有相似特性的 FBP 方法 (E. Y. Sidky, Y. Zou, X. Pan: “A Minimum Data FBP-Type Algorithm for Image Reconstruction in Cone-Beam CT”, Eighth International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, Salt Lake City, Utah, 6-9 Juli, 2005)。但感兴趣区域被限制在视野 (FoV) 上，从而利用该方法也经常不能再现整个感兴趣区域 (例如高个患者的腹部)。

但也存在扩大视野 (FoV) 的方法。在此以检测器错位方法为例，其中，检测器不再关于光轴对称，而是以一定的错位设置 (V. Liu, N. R. Lariviere, G. Wang: “X-ray Micro-CT with a Displaced Detector Array: Application to helical cone-beam reconstruction”, Medical Physics, Vol. 30, Nr. 10, S. 2758-2761, October 2003)。但该检测器错位方法要求圆形或螺旋形轨道曲线以在至少 360 度的角范围上进行扫描。此外该方法在锥形射线几何形状的情况下表现出近似的视野 (FoV) 扩大并由此在大锥角的情况下导致伪影。

一种类似的方法是估计 (推断) 截取的投影数据。在 P. S. Cho, A. D. Rudd, R. H. Johnson: “Cone-Beam CT from Width-Truncated Projections”, Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol. 20, Nr. 1, S. 49-57, 1996 中，基于近似的假设来补充缺失的线积分 (如相对置射线的准冗余，其中，忽略锥角)。在这种方法

中也需要用于 360° 扫描的轨道曲线。具体地说，最后提到的算法应理解为 FDK 算法的扩展。

发明内容

因此本发明要解决的技术问题是提出一种从感兴趣区域的二维投影图像中再现三维立体图像的方法，该方法在感兴趣区域较大的情况下以及在扫描轨道小于 360° 的情况下也能实现无伪影再现。此外本发明要解决的技术问题还在于提出一种适于实施该方法的 X 射线设备。

本发明的技术问题通过一种由感兴趣区域的多个二维投影图像再现三维立体图像的方法来解决，其中，这些二维投影图像是在拍摄系统绕该感兴趣区域旋转期间拍摄的，该拍摄系统具有带有焦点的 X 射线源和 X 射线检测器，其中，通过投影图像的反投影来计算立体图像体素的灰度值，其中，每幅二维投影图像分别来自于至少两幅被综合为一幅扩展的二维投影图像的单独的投影图像，其中，所述各至少两幅单独的投影图像是在焦点和感兴趣区域之间相对位置恒定的情况下拍摄的。

在按照本发明的方法中，可以扩展有限的检测器面并由此扩展有限的视野 (FoV)，为此，产生两个（或多个）相互不同的单个投影图像，它们可综合为一幅扩展的投影图像。由此可以显示整个感兴趣区域(ROI)。

所述各至少两幅单独的投影图像是在焦点和感兴趣区域之间相对位置恒定的情况下拍摄的。在此，恒定的相对位置应理解为，由感兴趣区域中的两个点和焦点构成的三角形具有恒定的大小。

此外，该各至少两幅单独的投影图像还是这样的，即当相应的 X 射线照射该至少两幅单独的投影图像时，可以综合为相关的、覆盖感兴趣区域的扩展 X 射线。

根据本发明的第一实施方式，所述各至少两幅单独的投影图像的区别在于关于拍摄系统绕焦点或绕通过焦点的旋转轴旋转的旋转角不同，而焦点和感兴趣区域是位置固定的。由此拍摄系统在拍摄二维投影图像时不仅围绕通常位于感兴趣区域中的第一旋转中心旋转，以产生对于焦点的不同曲线点的投影图像，而且还存在第二旋转中心，其尤其是在焦点中，从而对于每个曲线点至少可以拍摄两幅单独的投影图像。

由此以简单而成本小的方式扩展了由扫描轨道曲线的所有曲线点映射到

二维投影图像的区域，并且由此还可以进行无伪影的三维再现。在此由 X 射线焦点的轨道定义了扫描轨道曲线或轨迹。

在轨迹的每个曲线点上产生两幅（或多幅）单独的投影图像。这些单独的图像之间的区别在于，拍摄系统绕 X 射线源、尤其是 X 射线源的焦点所采取的旋转角不同。由此，由 X 射线源和 X 射线检测器组成的拍摄系统的旋转使得还可以采集来自 X 射线的图像信息。

由此，在各单独的投影图像之间存在可以利用的对应关系，以借助矫正将这些单独的投影图像综合为一幅大的扩展了的投影图像。这点对于扇形射线和锥形射线都是有效的。以这种方式可以虚拟地扩展检测器，部分地可以扩展到其真实宽度的多倍。通过这样扩大的 FoV 可以完整地检测所涉及的身体部位。

在此对应性 (Homographie) 是一种映射规则，通过该规则将 2D 坐标系中的点变换到另一 2D 坐标系中。这样，当两个或多个平面与射线束相切时，在不同平面的对应切点之间总是存在对应关系。如果将这些点用一致的坐标表示，则可将该关系表示为线性映射 $x' = H'x$ ，其中， x 为最初的点， x' 为变换后的点，而 3×3 矩阵 H' 表示对应变换本身。在此，还可以将至少两幅单独的投影图像的综合表示为构造相对于实际检测器扩展的虚拟检测器。这与根据本发明的哪种实施方式来拍摄该两幅或多幅单独的投影图像无关。

根据本发明的第二种实施方式，所述各至少两幅单独的投影图像的区别在于感兴趣区域绕焦点或绕通过焦点的旋转轴旋转的旋转角不同，而焦点和拍摄系统为位置固定的。

根据本发明的第三种实施方式，所述各至少两幅单独的投影图像的区别在于，焦点和感兴趣区域都在恒定的相对位置下彼此不同地定位，并且拍摄系统绕焦点或绕通过焦点的旋转轴旋转。

按照本发明的方法以及其实施方式一方面允许对较大的身体部位如腹部或胸部进行完整的无伪影再现，而这由于受限的检测器面积迄今都是不可能的；另一方面可以避免在再现感兴趣区域时截取投影图像，截取投影图像仅能再现整个身体部位的一部分并导致严重的再现伪影。此外，按照本发明的方法可以有意义地与所有截取的投影图像在其中造成伪影的再现算法相结合并被理解为对其的扩展。这尤其对于在当今的 C 形弓架式设备中被作为标准采用的 Feldkamp、Davis 和 Kress 的算法来说是有意义的，因为该算法对于圆形扫描轨道具有水平滤波行。

将本发明的方法与公知的（近似或确切）再现算法相结合的最重要的优点在于，不必修改这些算法。可以作为预处理步骤来构建虚拟检测器，即在实际再现之前由两个或多个单独的投影图像综合出用于再现的扩展的投影图像，并然后将其用于再现。只是拍摄记录、即单独的投影图像的拍摄序列要相应地改变。此外，本发明的方法还适用于平面的或弯曲的检测器，并且既可以用于扇形射线几何形状也可以用于锥形射线几何形状。

对于成本低的方法优选恰好产生两幅单独的投影图像并将其综合为一幅扩展的投影图像。

根据本发明的一种实施方式，所述至少两幅单独的投影图像的相应旋转角位于一个平面内。由此可以保证易于将投影图像综合为扩展的投影图像。

对于至少两幅单独的投影图像的简单综合来说，以有利的方式使拍摄系统或感兴趣区域绕焦点或通过焦点的旋转轴的旋转基本上位于拍摄系统围绕感兴趣区域的旋转平面中，这与围绕垂直于拍摄系统围绕感兴趣区域的旋转平面的旋转轴的旋转(翻转)具有同样的意义。在此尤其被证明有利的是，在拍摄系统绕焦点或绕通过焦点的旋转轴旋转时的第一旋转角下拍摄第一单独的投影图像，在拍摄系统绕焦点或绕通过焦点的旋转轴旋转时的第二旋转角下拍摄第二单独的投影图像，其中，第一旋转角为第二旋转角的负数。在此参考点是通过由X射线源的焦点到X射线检测器的垂直线与拍摄系统的旋转轴相切处定义的中间位置。

根据本发明的另一实施方式，各个单独的待综合的投影图像相互间具有大于0%且小于50%、尤其是小于10%的重叠。通过大于0%的重叠使得各投影图像的综合简单，因为借助双重测量的图像点可以在中断或偏离的情况下进行匹配和平滑。同时，通过小于50%、尤其是小于10%的重叠可以避免使患者承受不必要的射线。

根据本发明的另一实施方式，根据对象、尤其是其大小来调节所述重叠。由此，当根据对象的高和宽来使尽可能少的X射线无用地从对象旁边射过时，可以非常好地利用X射线。

对于关于不同曲线点的单独的投影图像的拍摄顺序来说，有两个优选实施方式：根据第一实施方式，投影图像的拍摄顺序为，在拍摄系统围绕感兴趣区域的第一旋转运行中拍摄所有第一单独投影图像，然后在拍摄系统围绕感兴趣区域的第二旋转运行中拍摄所有第二单独投影图像，其中，将每幅第一单独投

影图像分别与一幅第二投影图像相综合。

根据第二实施方式，投影图像的拍摄顺序为，在拍摄系统围绕感兴趣区域的一次旋转运行中分别以直接序列拍摄至少两幅单独的投影图像，将该两幅投影图像综合为一幅扩展的二维投影图像。

适用于实施本发明方法的第一实施方式的 X 射线设备具有拍摄系统，其用于拍摄感兴趣区域的二维投影图像，在此该拍摄系统包括射线源和 X 射线检测器，其中，该拍摄系统可以围绕射线源和 X 射线检测器之间的第一旋转中心和围绕射线源的焦点中的第二旋转中心或围绕通过射线源的焦点的旋转轴旋转；还具有控制和计算单元，用于从二维投影图像中再现出三维立体图像。

适用于实施本发明方法的第二实施方式的 X 射线设备具有拍摄系统，其用于拍摄感兴趣区域的二维投影图像，其包括射线源和 X 射线检测器，其中，该拍摄系统可以绕射线源和 X 射线检测器之间的第一旋转中心旋转；还具有用于承载感兴趣区域的、在空间上三维可调、尤其是可绕焦点旋转的支撑装置；以及控制和计算单元，用于从二维投影图像中再现出三维立体图像。

适用于实施本发明方法的第三种实施方式的 X 射线设备类似于用于实施本发明方法的第二实施方式的 X 射线设备，其中，支撑装置不可绕焦点旋转，而是仅能在拍摄系统的旋转平面内两维地移动。

尤其优选借助这样的 X 射线设备实施本发明的方法，其中拍摄系统直接或借助支架安置在工业机器人或弯臂机器人上，或者其中支撑装置安装在工业机器人或弯臂机器人上。借助这样的 X 射线设备可以简单的方式实施在空间中的任意移动。

附图说明

下面借助附图所示实施例非限制性地详细描述本发明和其它优选实施方式。其中，

图 1 示出现有技术中 C 形弓架式 X 射线系统的平面图；

图 2 示出在采用弯曲的 X 射线检测器的情况下截取的患者投影的几何形状；

图 3 示出在采用平面 X 射线检测器的情况下截取的患者投影的几何形状；

图 4 示出在采用弯曲的 X 射线检测器的情况下按照本发明的由两个相邻的投影综合成的扩展的投影的几何形状；

图 5 示出在采用平面 X 射线检测器的情况下按照本发明的由两个相邻的投影综合成的扩展的投影的几何形状；

图 6 示出在采用弯曲的 X 射线检测器的情况下按照本发明的由两个重叠的投影综合成的扩展的投影的几何形状；

图 7 示出在采用平面 X 射线检测器的情况下按照本发明的由两个重叠的投影综合成的扩展的投影的几何形状；

图 8 示出按照本发明的用于从综合的投影图像中再现三维立体图像的方法；

图 9 示出对于用于拍摄投影图像的圆形曲线轨道的拍摄记录；

图 10 示出对于用于拍摄投影图像的圆形曲线轨道的另一拍摄记录；

图 11 示出对于用于拍摄投影图像的圆形曲线轨道的另一拍摄记录；

图 12 示出具有拍摄系统的两个投影方向和不同旋转角的轨道曲线的一段；

图 13 示出具有可旋转的 C 形弓架和可旋转的拍摄系统的本发明 X 射线系统；

图 14 示出另一具有弯臂机器人的本发明的 X 射线系统；

图 15 示出在感兴趣区域绕焦点在其旋转平面内运动的情况下的投影几何，其中感兴趣区域位于第一位置；

图 16 示出在感兴趣区域绕焦点在其旋转平面内运动的情况下的投影几何，其中感兴趣区域位于第二位置；

图 17 示出具有拍摄系统的两个投影方向和感兴趣区域的不同旋转角的轨道曲线的一段；

图 18 示出在感兴趣区域和拍摄系统都在两个单独的综合的投影图像之间运动的情况下的投影几何；

图 19 示出在感兴趣区域和拍摄系统都在两个单独的综合的投影图像之间运动的情况下的另一投影几何；

图 20 示出在感兴趣区域和拍摄系统都在两个单独的综合的投影图像之间运动的情况下两个旋转运行的一段；

图 21 示出各投影图像与虚拟检测器之间的关系；

图 22 示出用于构成虚拟检测器的基于检测器的方法的立体显示；

图 23 示出用于构成虚拟检测器的基于滤波行的方法的立体显示。

具体实施方式

图 1 示意性示出具有 C 形弓架 2 的 C 臂 X 射线系统 1，在该 C 形弓架 2 上相对设置的 X 射线源 3 和 X 射线检测器 4 一般固定在固定的方向上。X 射线检测器 4 可以是例如基于固体的平面的或弯曲的 X 射线检测器 4。这样的 X 射线检测器 4 可以具有例如闪烁器和带有像素元件的检测器矩阵。X 射线源 3 产生 X 射线 13。C 形弓架可以围绕位于患者卧榻 6 上的兴趣区域 5（如患者）旋转（成角度），例如其可以围绕第一旋转轴 11 沿箭头 12 的方向旋转。在此对于不同的角位从拍摄系统的各投影方向拍摄 2D 投影图像。在此这样设置兴趣区域 5，使得其中点位于旋转轴 11 上。

这样获得的 2D 投影图像被传送到控制和计算单元 7，控制和计算单元 7 至少包括数据存储器 8 和具有处理器等的计算模块 9。将投影图像再现为 3D 立体在控制和计算单元中例如根据公知的方法借助经滤波的反投影或反投影和滤波来实现。可以在图像显示器 10 上观察所拍摄的投影图像以及必要时再现的图像立体。

图 2 和图 3 以弯曲的 X 射线检测器 4.1 和平面 X 射线检测器 4.2 为例分别示出在根据现有技术的从感兴趣区域的二维投影图像中再现三维立体图像的方法中截取感兴趣区域 5 的投影的问题。该问题导致由于截取的滤波行而使待成像的兴趣区域 5 的无伪影的 3D 立体再现不能实现。X 射线 13 从 X 射线源 3 的焦点 15 出发沿辐射方向 16 透射兴趣区域 5 并落到 X 射线检测器 4 上。在此，轨道曲线 14 描述在 C 形弓架 2 完整旋转 360° 时焦点 15 的轨迹。部分兴趣区域 5 不能被 X 射线 13 从轨道曲线 14 的每个曲线点出发采集到，而是对于若干曲线点被截取。在此，投影中心 17 表示在每个任意的曲线点处由 X 射线 13 采集到的区域。

以下借助图 4 至图 12 描述本发明方法的第一实施方式。在该实施方式中，在焦点 15 在扫描轨道 14 的固定位置上拍摄两个或多个单独的、综合的投影图像。图 13 和图 14 示出两个适用于实施本发明方法的第一种实施方式的 X 射线设备。

图 4 至图 7 示出本发明方法采用的、通过综合两个单独的投影图像将检测器虚拟扩展为虚拟扩展的 X 射线检测器 20，该两个单独的投影图像关于拍摄系统绕 X 射线源 3、尤其是绕 X 射线源 3 的焦点 15 的旋转角不同，并对于一个特定的曲线点被综合为一幅扩展的投影图像。在此，与图 2 和图 3 相似，示出

了弯曲的 X 射线检测器 4.1 (图 4 和 6) 和平面 X 射线检测器 4.2 (图 5 或 7) 的例子。各 X 射线检测器 4 和 X 射线源 3 是相互固定设置的。

图 4 示出由 X 射线源 3 和弯曲的 X 射线检测器 4.1 构成的拍摄系统，对于一个特定的曲线点处于两个就该拍摄系统绕 X 射线源 3 的焦点 15 的旋转角来说不同的位置上。拍摄系统绕 X 射线源 3 的焦点 15 的旋转例如沿第二旋转方向 18 进行。拍摄系统的各投影方向 16 通过相应的箭头表示。在本发明的方法中，对于拍摄系统的两个投影方向 16 中的每一个都拍摄一个投影图像，然后将它们综合为一个扩展的投影图像。

通过对 X 射线检测器 4 的虚拟扩展，在适当选择拍摄系统的投影方向 16 的情况下，可以从轨道曲线 14 的每个曲线点出发利用由该两束 X 射线 13 综合成的扩展的 X 射线在投影中心 17 对感兴趣区域 5 进行完全采集，从而不再有截取的投影。还可以将多于两个投影图像综合为一幅扩展的投影图像。

图 12 放大示出拍摄系统在两个旋转方向 18 上绕 X 射线源 3 的焦点 15 的旋转，以及拍摄系统的各投影方向 16 和它们的不同旋转角：拍摄系统的第一旋转角 α 和拍摄系统的第二旋转角 β 。在此尤其优选的是，拍摄系统的第一旋转角 α 关于中点（图 12 中的虚线）等于第二旋转角 β 的负数。

图 4 相对于图 6 示出两个单独的投影方向 16 的情况，其中 X 射线 13 不重叠或几乎不重叠，而是在齐平地相互接触。在这种情况下可以对尤其大的感兴趣区域成像，并且易于将单独的投影图像综合成扩展的投影图像。在图 6 中拍摄系统的投影方向 16 是这样选择的：使得各投影图像相重叠。这例如对于借助图像处理算法来校正真实的轨道曲线是有意义的。重叠区域可以在再现时通过适当的准直重又降低到零，以保持低的射线剂量。

与图 4 和图 6 相似，图 5 和图 7 示出平面 X 射线检测器 4.2 的情况。这种情况下须利用矫正来综合单独的投影图像。与在综合的投影图像中允许均匀分辨率的弯曲 X 射线检测器 4.1 相反，在采用平面检测器时必须注意在扩展的投影图像中分辨率朝向边缘降低，并将这点引入到分析中。

在本发明的再现三维立体图像的方法中，立体图像体素的灰度值通过扩展的投影图像的反投影来计算。对此可以采用任何公知的再现算法，如 Feldkamp 算法。通过采用扩展的投影图像可以显著扩大可再现的区域，从而就是大的身体部位也可以无伪影地进行三维显示。

图 8 示出由第一步骤 21、第二步骤 22 和第三步骤 23 组成的本发明的方法。

在第一步骤 21 中，例如根据第一实施方式对不同的曲线点分别拍摄并存储两个投影图像，其中该两个投影图像关于拍摄系统绕 X 射线源的焦点的旋转角不同。在第二步骤 22 中，对于每个曲线点将两个投影图像综合为一个扩展的投影图像。这例如可以在控制和计算单元 7 中进行。然后，在第三步骤 23 中，根据公知的再现算法由该扩展的二维投影图像再现患者的三维立体图像。这同样可以在控制和计算单元 7 中进行。

图 9 至图 11 示出对于用于拍摄不同的二维投影图像的圆形曲线轨道的各种可能的拍摄记录。图 9 示出一种拍摄记录，其中在拍摄系统绕感兴趣区域 5 旋转 360° 时，在一次旋转运行中例如相继经过 8 个曲线点 24，并在每个曲线点上以第一和第二投影图像的顺序进行拍摄。为此需要拍摄系统在每个曲线点上分别绕 X 射线源的焦点旋转一次。图 11 示出与图 9 相似的拍摄记录，其中拍摄系统仅绕感兴趣区域旋转 225° 或更少（如短扫描或超短扫描）。还可以运行部分圆的可能性是本发明的方法区别于其它方法（如检测器错位方法）的过人之处。

图 10 示出一拍摄记录，其中在拍摄系统绕感兴趣区域 5 旋转 360° 时，例如在第一圈旋转运行中先后经过 8 个曲线点 24，并在每个曲线点上拍摄第一投影图像。然后拍摄系统绕 X 射线源的焦点旋转，并在第二圈旋转运行中以相反的顺序先后经过所有曲线点 24，并在每个曲线点上拍摄第二投影图像。还可以有利地将该原理应用到其它轨道曲线上（如螺旋、圆和线、圆和圆弧）。

这样，当感兴趣区域的大小至少大概已知时，例如可以依据对象来设置重叠。例如还可以通过一次或多次利用低剂量的预拍摄来确定感兴趣区域的大小，然后手动或自动地设置重叠。可以在投影的重叠区域内对测量数据取平均，这可以导致测量值的标准偏差降低，即降低噪声。

图 13 示出作为本发明实施方式的另一 C 形弓架式 X 射线设备 30，其与现有技术中的 X 射线设备 1 的区别在于，除了 C 形弓架 2 绕感兴趣区域 5 旋转外，由 X 射线源 3 和 X 射线检测器 4 构成的拍摄系统还可共同围绕 X 射线源 3 的焦点 15 中的第二旋转中心旋转。在此优选拍摄系统可在 C 形弓架 2 的旋转平面内旋转。

图 13 除了静止位置外还用虚线示出了两个其它位置，在这两个位置拍摄系统在 C 形弓架平面内分别绕 X 射线源 3 的焦点 15 旋转一个 $> 0^\circ$ 的角。控制和计算单元 7 可用于控制该旋转。X 射线源 3 例如可以可翻转地固定，而 X 射

线检测器 4 可以这样固定在滑轨 25 上，使得其可以沿滑轨移动。为了有意义地利用本发明的方法，拍摄系统应能在两个方向上绕 X 射线源 3 旋转至少 5°。在这样的系统中须注意 X 射线源和 X 射线检测器彼此之间要具有恒定的距离并保持方向不变。根据本发明的另一实施例，采用了计算机断层造影 X 射线设备，其中拍摄系统可绕 X 射线源中的第二旋转中心、尤其可绕 X 射线源的焦点中的第二旋转中心旋转。

本发明的方法有利地既可以用于例如由 C 形弓架式 X 射线设备产生的锥形 X 射线，也可以用于例如由计算机断层造影 X 射线设备产生的扇形 X 射线。

图 14 示出作为本发明实施方式的机器人 X 射线设备 31，其中承载拍摄系统的 C 形弓架 2 设置在所谓的弯臂机器人 32 上。这样的弯臂机器人 32 例如在汽车的工业生产中是标准采用的，其具有例如 6 个旋转轴，由此每个都可以在空间任意运动。控制和计算单元 7 仍用于控制拍摄系统绕 X 射线源 3 的焦点 15 的旋转。因此例如可以通过操作人员将感兴趣区域的高度和宽度通知给控制和计算单元 7，控制和计算单元 7 计算对感兴趣区域进行完全成像所需的旋转角。然后控制和计算单元 7 控制弯臂机器人 32 和 C 形弓架 2 的运动。

利用机器人 X 射线设备 31，不仅可以使旋转角位于 C 形弓架 2 的旋转平面内，而且还可以根据要拍摄感兴趣区域的哪部分还使旋转角例如位于垂直于 C 形弓架 2 旋转平面的平面内，或在其它与 X 射线源到 X 射线检测器的垂线的中间位置相切的平面内。普遍具有优点的是，过后要被综合的至少两幅单独的投影图像的旋转角位于一个平面内。

在本发明方法的第二实施方式中，各至少两幅单独的投影图像的区别在于感兴趣区域 5 绕焦点 15 或绕通过焦点 15 的旋转轴旋转的旋转角不同，而焦点 15 和拍摄系统为位置固定的。因此，也如在第一实施方式中，在焦点 15 的每个曲线点上拍摄两个（或多个）单独的投影图像，并然后将它们综合成一幅扩展的投影图像。对于不同的单独的投影图像，使感兴趣区域 5 绕 X 射线源 3 的焦点 15 旋转，在此感兴趣区域 5 与焦点 15 的相对位置保持不变。

图 15 示出感兴趣区域 5 的第一位置，在该位置上拍摄第一单独的投影图像，图 16 示出感兴趣区域 5 的第二位置，在该位置上拍摄第二单独的投影图像。在感兴趣区域 5 绕焦点 15 旋转的情况下，各旋转角与从焦点 15 到感兴趣区域 5 的中点 33 的投影方向 34 相关。作为旋转角的零点例如可以采用焦点 15 至 X 射线检测器 4 的垂线。

图 17 举例示出两个从焦点 15 到感兴趣区域 5 的中点 33 的投影方向 34，其中例如在感兴趣区域 5 的第一位置涉及感兴趣区域 5 的第一旋转角 χ ，在感兴趣区域 5 的第二位置涉及感兴趣区域 5 的第二旋转角 δ 。然后对这些投影图像进行综合并如通常那样进行再现。

感兴趣区域 5 绕焦点的旋转运动可以通过任何可在空间上调节的支撑装置，如可移动的患者卧榻 36 来实现。可移动的患者卧榻 36 的空间可运动性，即利用六个自由度的可运动性，例如可以通过特别是六个轴的弯臂机器人来实现，可移动的患者卧榻 36 安装在该机器人上。应注意将患者尽可能牢固地固定该可移动的患者卧榻 36 上，因为该患者卧榻是可旋转的。

在本发明方法的该实施方式中也可以在一次旋转运行中在每个经过的曲线点处交替地拍摄两个单独的投影图像，其间感兴趣区域 5 绕焦点 15 旋转；或者还可以首先在一次旋转运行中对所有曲线点分别拍摄第一单独的投影图像，然后在该旋转之后，在第二次旋转运行中对所有曲线点分别拍摄第二单独的投影图像。此外，在此还可以将各单独的投影图像相重叠。

在本发明的第三实施方式中，在拍摄第一单独的投影图像时感兴趣区域 5 和拍摄系统的位置都与在拍摄第二单独的投影图像时的位置不同，在此焦点 15 和感兴趣区域 5 的相对位置恒定。焦点 15 的两个位置都在扫描轨道上，但不处于同一位置，焦点 15 的该两个位置之间的连接线段 40 与感兴趣区域 5 中点 33 的两个位置之间的连接线段 41 平行，并具有相同的长度。如果被综合的单独的投影图像多于两个，则这也适用于其它单独的投影图像。

图 18 示出处于第一位置（实线示出）和第二位置（点划线示出）的兴趣区域 5 和拍摄系统，拍摄系统通过焦点 15 和以平面 X 射线检测器 4.2 为例示出，在第一位置拍摄第一单独的投影图像，在第二位置拍摄第二单独的投影图像，然后将该第一和第二单独的投影图像综合为一幅扩展的投影图像，并与其它扩展的投影图像一起如通常那样进行再现。

焦点 15 和感兴趣区域 5 之间的相对位置对于该两个位置来说是相同的，这意味着由感兴趣区域 5 中的两个任意选择的固定点与焦点 15 构成的三角形在（第一单独的投影图像的）第一位置和在（第二单独的投影图像）的第二位置上的大小是相同的。此外，第一和第二位置之间的几何关系还如下：如果使第一位置上的感兴趣区域 5 与第二位置上的感兴趣区域 5 重合，则导致拍摄系统绕焦点 15 旋转后位于第二位置上。图 19 同样示出用于拍摄第一单独的投影图

像的第一位置（实线示出）和用于拍摄第二单独的投影图像的第二位置（点划线示出），然后可将该第一和第二投影图像进行综合。

第三实施方式相对于第一实施方式的优点在于，其还可以利用仅能绕旋转轴 11 旋转的常规 C 形弓架式 X 射线设备来实施，只要还设有可调节的患者卧榻。其相对于第二实施方式的优点在于，在感兴趣区域 5 中被拍摄的患者卧榻只需在 C 形弓架平面内两维地移动，而无须翻转，由此大大简化了对患者的支撑。

图 20 示出两次旋转运行的各三个截段，其中，投影图像的拍摄顺序为，首先在拍摄系统围绕感兴趣区域（实线，上图）的第一旋转运行中拍摄所有第一单独投影图像，然后在拍摄系统围绕感兴趣区域（点划线，下图）的第二旋转运行中拍摄所有第二单独投影图像，其中，在拍摄之后，将每幅第一投影图像分别与一幅对应的第二投影图像相综合。旋转运行可以为 360° 或小于 360°。

投影图像的拍摄顺序还可以为，在拍摄系统围绕感兴趣区域的一次旋转运行中分别以直接序列拍摄至少两幅单独的投影图像，将该两幅投影图像综合为一幅扩展的两维投影图像。

在本发明的第二和第三实施方式中，也可以使单独的待综合的投影图像重叠或齐平地相互接触。

为了将至少两个投影图像综合成一个扩展的投影图像，优选构建所谓的虚拟检测器，在此，虚拟检测器还描述拍摄系统和对象的空间位置及布局。可以用两种方法来建立虚拟检测器，其中，第一种方法基于检测器，即在 X 射线检测器的检测器矩阵的笛卡尔布局的基础上，而第二种方法基于滤波行，即在滤波行布局的基础上，其实施如下：

在虚拟检测器 20、即综合成的扩展的投影图像的点 x_i 和 x_j 之间，以及在一单独的投影图像 I' 和第二单独的投影图像 I'' 的点 x'_i 和 x''_j 之间，通过对应 H' 和 H'' ，即与一单独的投影图像 I' 相关的第一对应 H' 和与第二单独的投影图像 I'' 相关的第二对应 H'' 定义了如图 21 所示的如下关系：

$$(a) x'_i = H' x_i$$

$$(b) x''_j = H'' x_j.$$

就在 FBP 算法中实施的沿检测器行的滤波、即所谓的滤波行来说，有意义的是，借助滤波行的布局、“基于滤波行地”并且不借助于检测器矩阵、“基于检测器地”来建立虚拟检测器，因为尤其是新的再现方法定义了翻转的滤波行

(图 23)。

基于滤波行建立虚拟检测器的优点在于，可以直接利用公式 (a) 和 (b) 从第一单独的投影图像 I' 和第二单独的投影图像 I'' 中确定出沿滤波行的值，由此可以由虚拟检测器 20 出发事后对该值进行插值。

与基于检测器的过程不同，不能将基于滤波行的过程理解为再现的独立预处理步骤，因为必须将滤波行的位置一起引入，而这与再现算法相关。但基于滤波行的再现方法在翻转的滤波行的情况下时插值的数量降低，并且可以在很多情况下，在计算时间以及在再现所能达到的位置分辨率方面都超过了基于检测器的方法。在 FDK 算法中，基于滤波行的方法和基于检测器的方法具有同等的意义，因为在此检测器行与滤波行重合。因此基于检测器的方法可以视为基于滤波行的方法的特例，其中，滤波行位于检测器栅格上。

如图 21 所示，第一和第二对应 H' 和 H'' 定义第一投影图像 I' 和虚拟检测器 20 之间以及第二投影图像 I'' 和虚拟检测器 20 之间的几何关系。借助对应 H' 和 H'' 可以从单独的投影图像 I' 和 I'' 中提取出在第一投影图像 I' 的点 x_i' 和第二投影图像 I'' 的点 x_j'' 的位置上的所需的灰度值。在此点 x_i' 和 x_j'' 的映射 x_i 和 x_j 一般不再位于检测器栅格上，因此通过插值、如双线性插值从已有的相邻值来确定这些位置上的灰度值。单独的投影图像 I' 和 I'' 的重叠区域在虚拟检测器 20 中以阴影突出。

图 22 以任意检测器行为例示出基于检测器的方案，图 23 以任意滤波行为例示出基于滤波行的方案。黑点分别表示虚拟检测器 20 上通过由单独的投影图像 I' 和 I'' 的灰度值的插值来确定灰度值的位置，空心点表示在各单独的投影图像上的位置。在第一单独的投影图像 I' 与第二单独的投影图像 I'' 的重叠区域(阴影所示)内要采用适当的插值策略，因为在此存在来自两个单独的投影图像的灰度值。

这些点的符号化连接通过虚线示出，对应 H' 和 H'' 将线又映射到线上(但沿这些线的点的距离(以及由此的扫描)是变化的)。同样可以明确的是，基于检测器的方案是基于滤波行的方案的特例，也就是当沿水平线滤波时。

本发明可以简短归纳如下：

为了在感兴趣区域较大以及在扫描轨道小于 360° 的情况下也能进行无伪影再现，本发明提出了一种由感兴趣区域的多个二维投影图像再现三维立体图像的方法，其中，这些两维投影图像是在拍摄系统绕该感兴趣区域旋转期间拍

摄的，该拍摄系统具有带有焦点的 X 射线源和检测器，其中，通过投影图像的反投影来计算立体图像体素的灰度值，其中，每幅二维投影图像分别来自于至少两幅被综合为一幅扩展的二维投影图像的单独的投影图像，其中，各至少两幅单独的投影图像是在焦点和感兴趣区域之间相对位置恒定的情况下拍摄的。

图 1

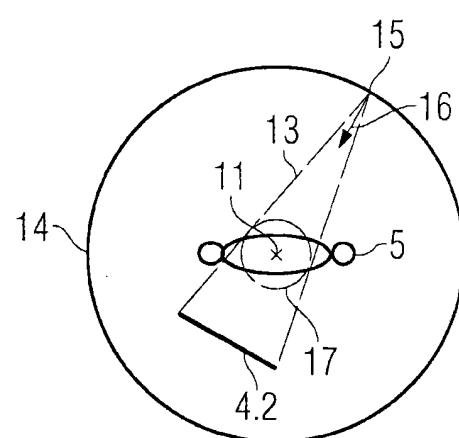
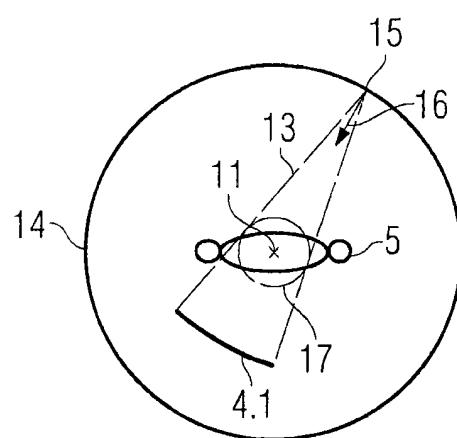
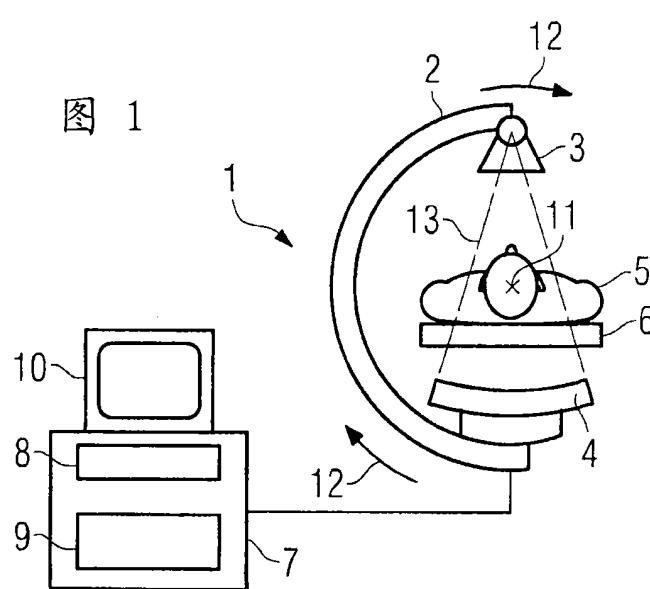


图 2

图 3

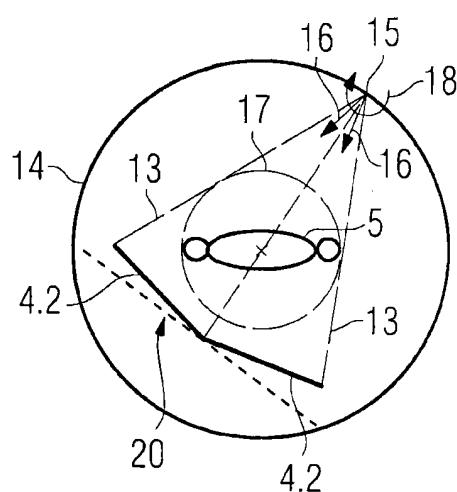
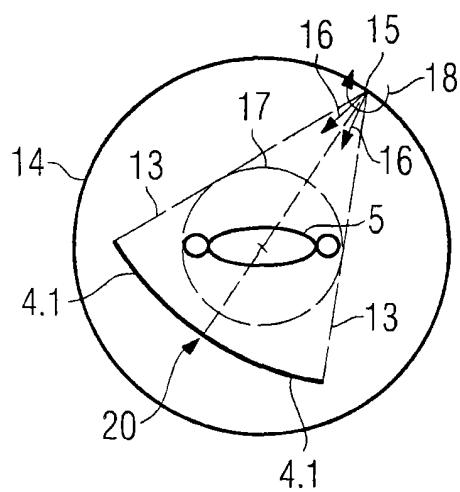


图 4

图 5

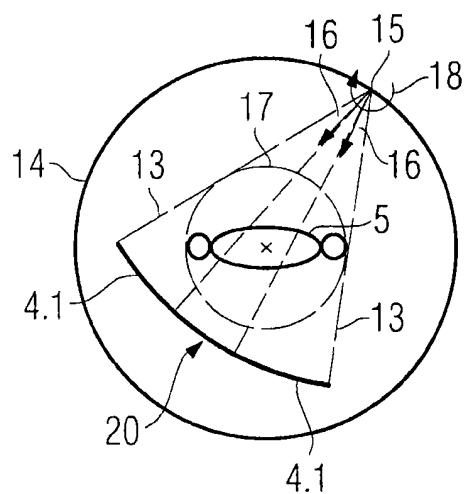


图 6

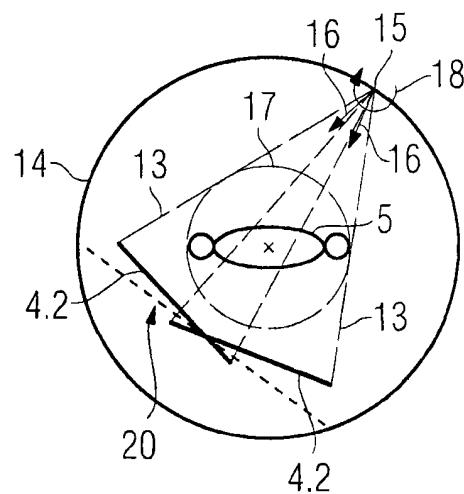


图 7

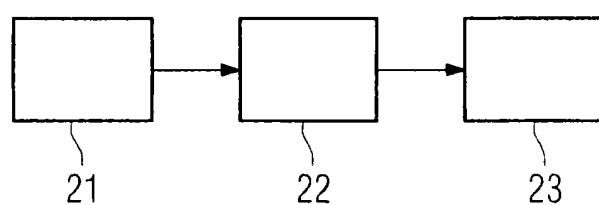


图 8

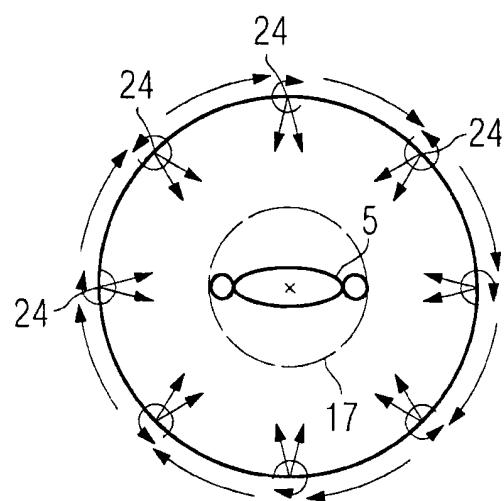


图 9

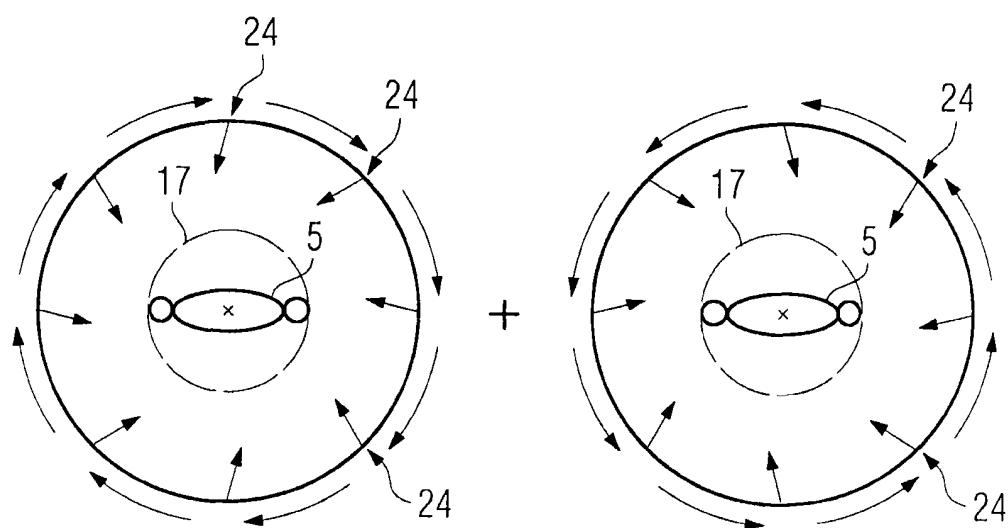


图 10

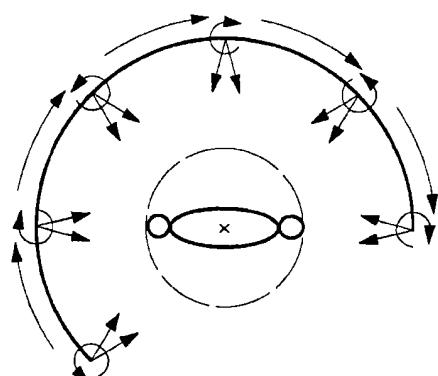


图 11

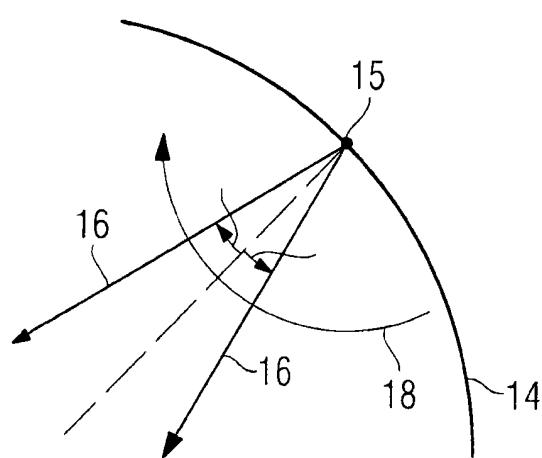


图 12

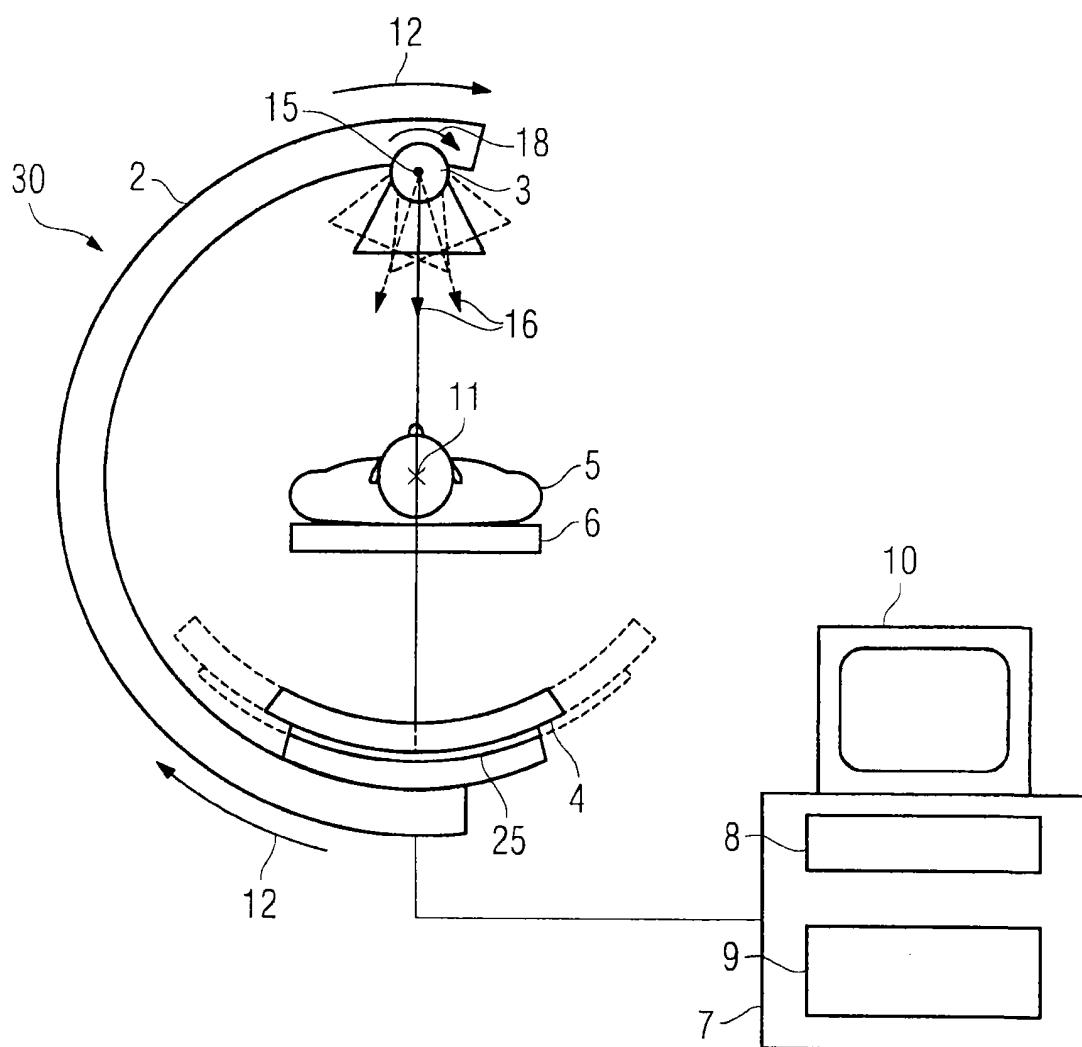


图 13

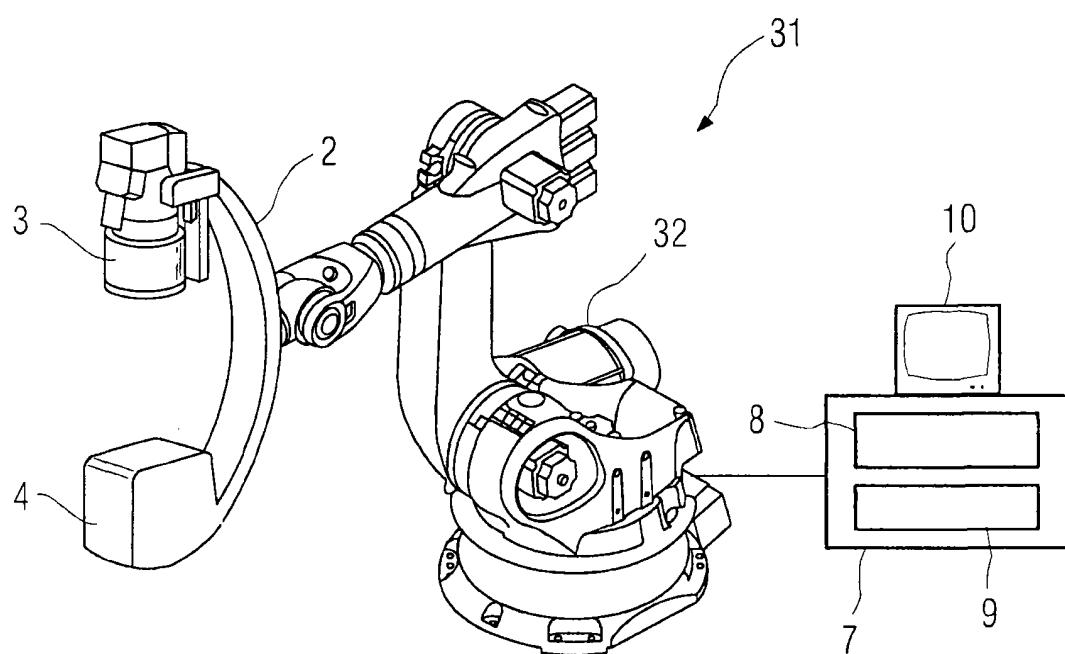


图 14

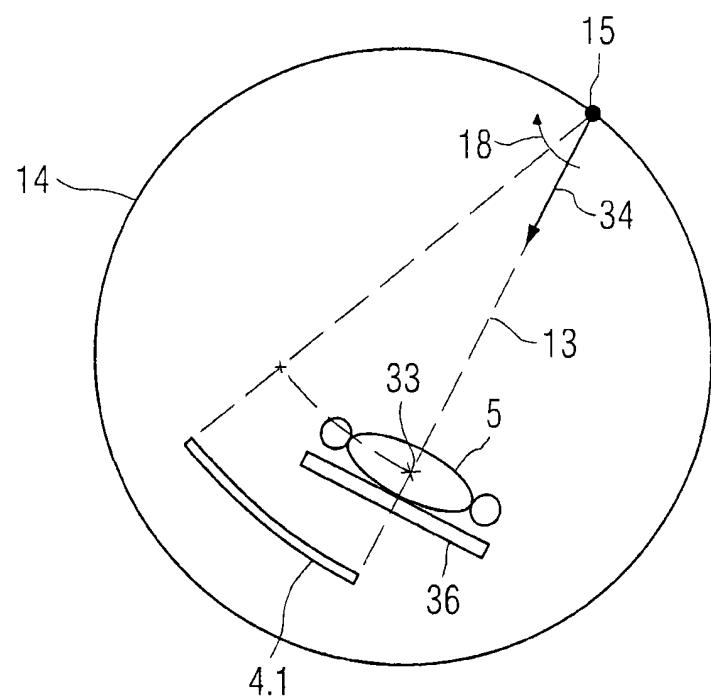


图 15

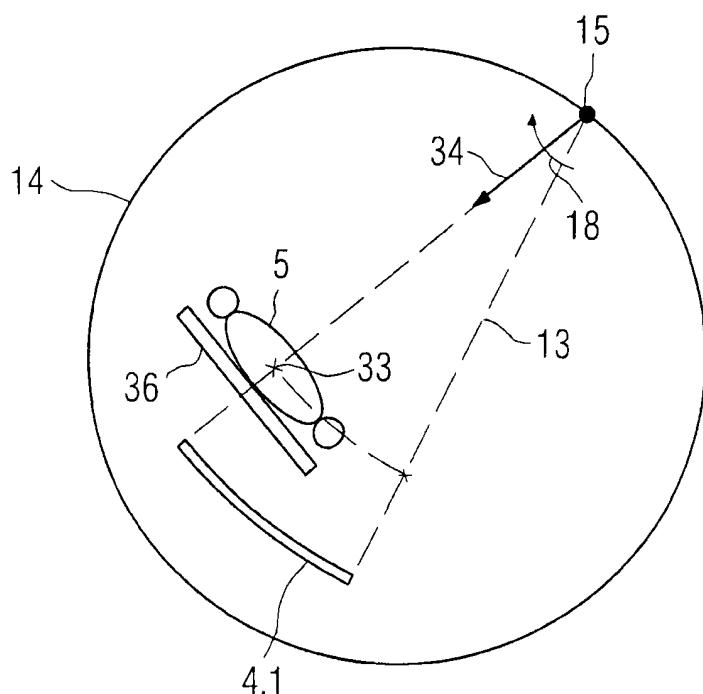


图 16

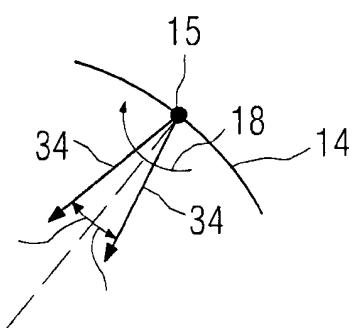


图 17

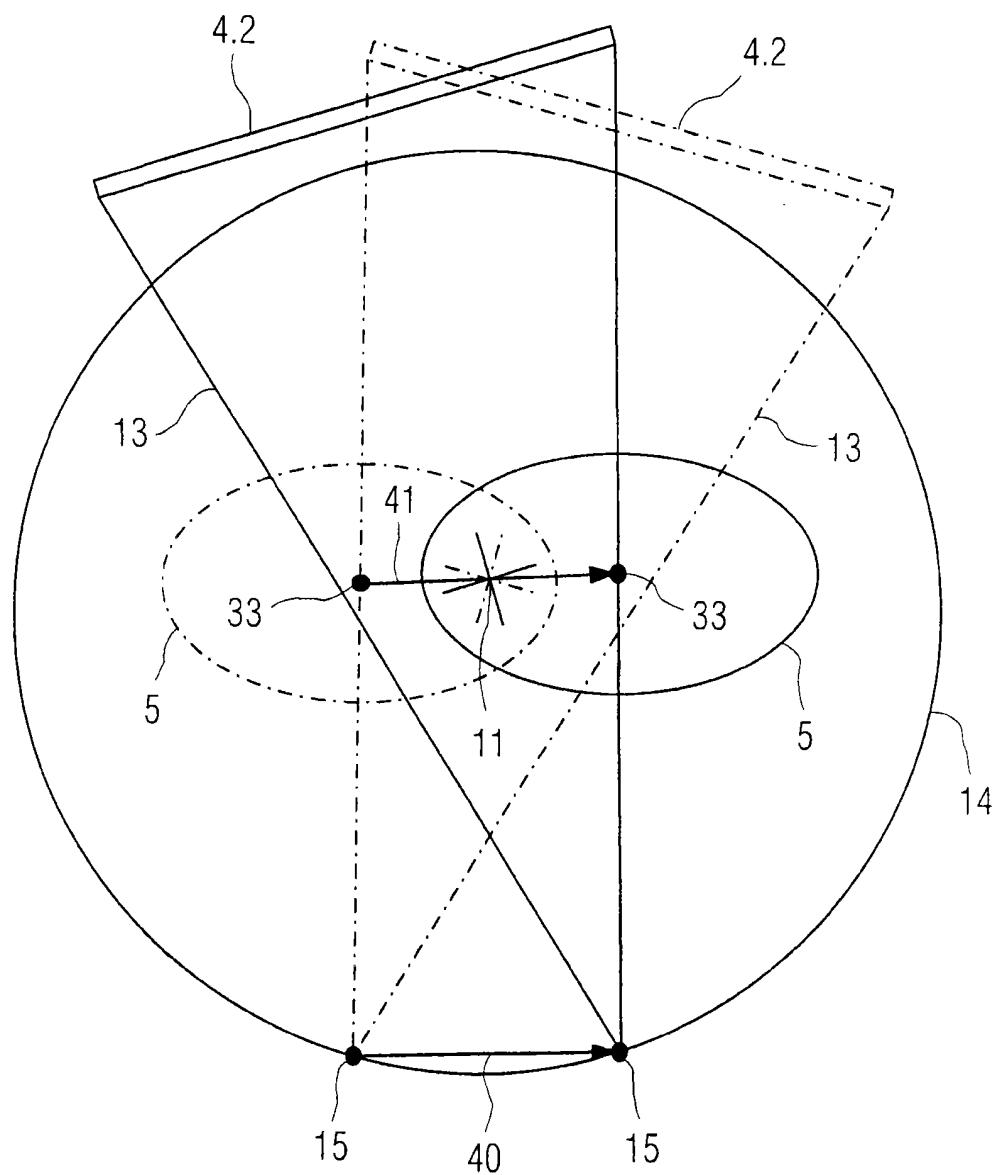


图 18

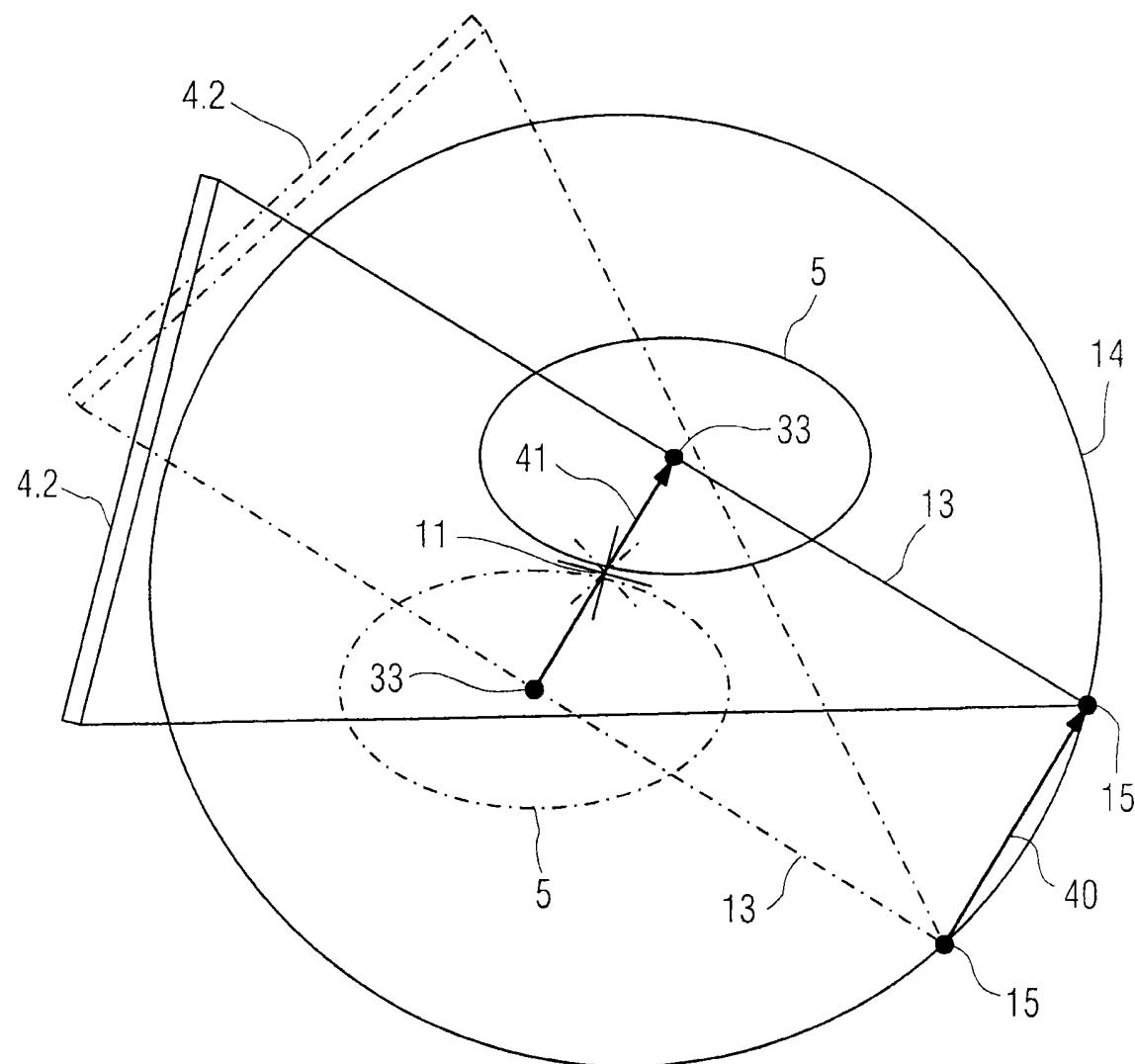


图 19

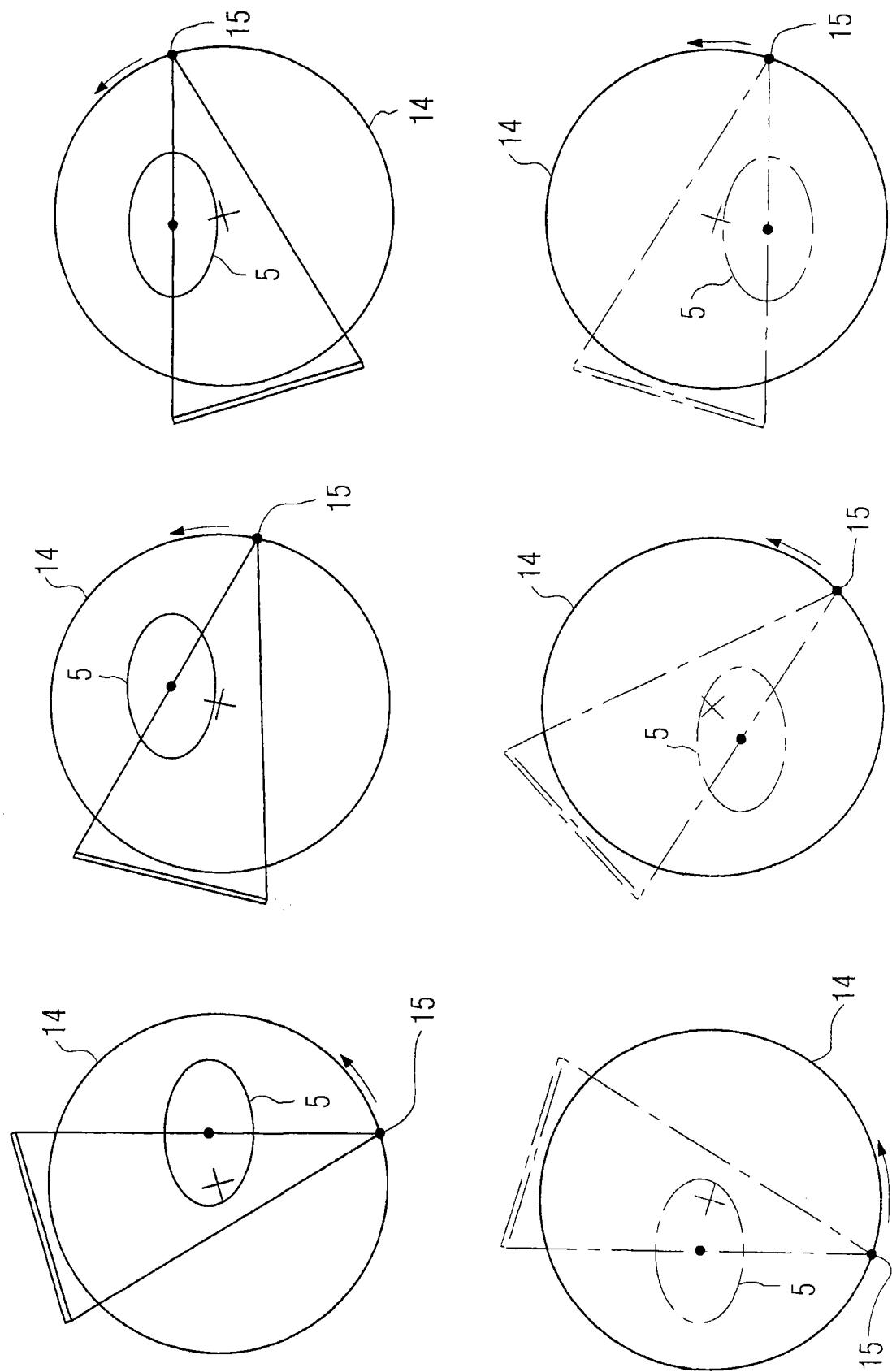


图 20

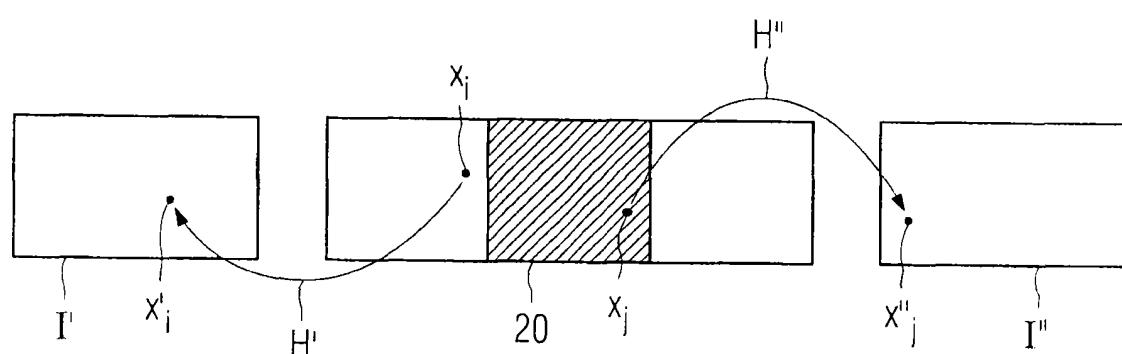


图 21

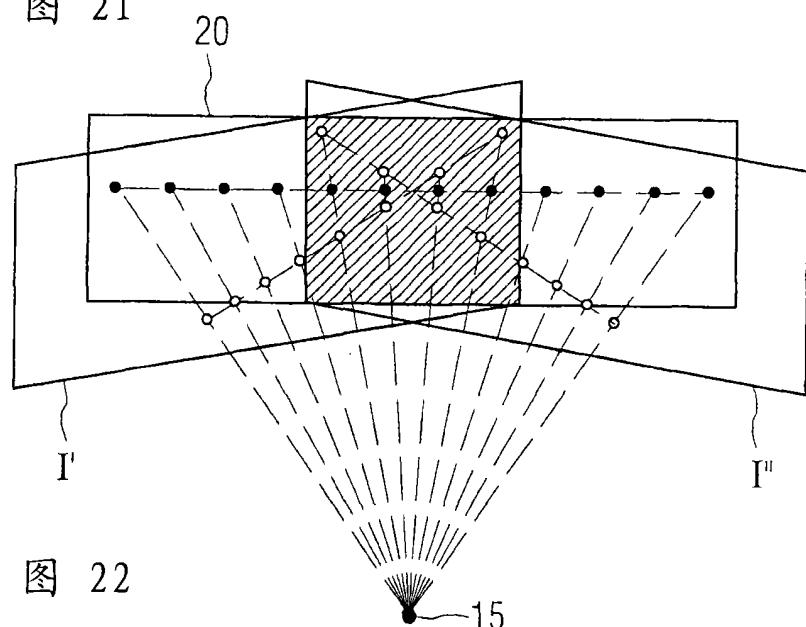


图 22

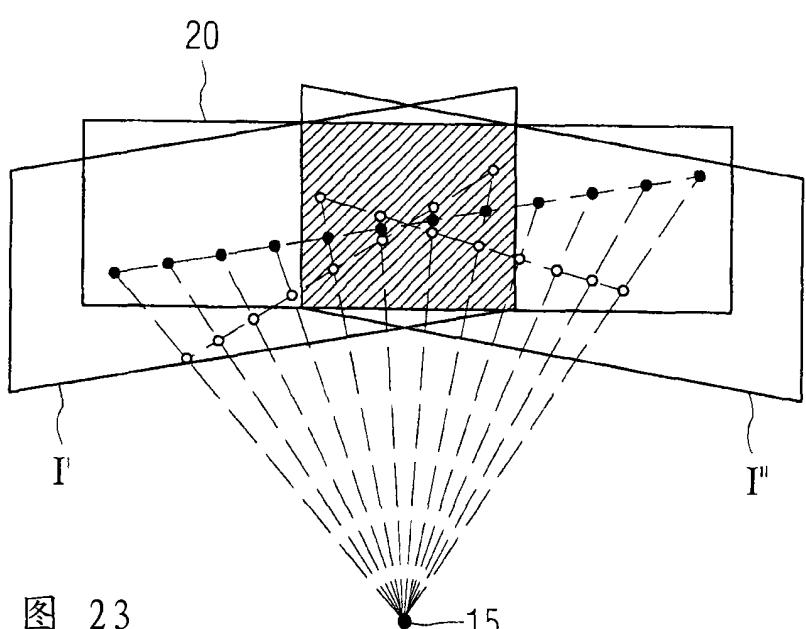


图 23