

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810085639.9

A61B 6/03 (2006.01)  
G01N 23/06 (2006.01)  
G01N 23/04 (2006.01)  
G06T 11/00 (2006.01)  
G06T 17/00 (2006.01)

[43] 公开日 2008年8月6日

[11] 公开号 CN 101234029A

[22] 申请日 2008.1.25

[21] 申请号 200810085639.9

[30] 优先权

[32] 2007.1.25 [33] DE [31] 102007003877.3

[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·霍普

乔基姆·霍尼格 冈特·劳里奇

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 谢 强

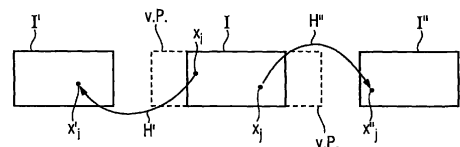
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 3 页

[54] 发明名称

用于确定待成像身体的体积元素的灰度值的方法

[57] 摘要

本发明涉及用于确定待成像身体的体积元素的灰度值的方法。由 DE 102006041033.5 已知，如果在对于旋转位置的唯一的投影图像不能完全地成像待成像的身体，则拍摄两个投影图像并且从这两个投影图像中导出被反投影到体积元素上的一幅虚拟投影图像。为了进行校准，本发明建议：在校准模型上分别拍摄所述同样的两个投影图像以及额外的另一个投影图像，该另一个投影图像按照位置和取向对应于所述虚拟投影图像。由此，可以导出所述投影图像和虚拟投影图像之间的以及用于反投影的数学关系。



1. 一种用于确定借助于带有 X 射线源和 X 射线检测器的 X 射线拍摄系统待成像身体的体积元素的灰度值的方法，其中，相对于该 X 射线拍摄系统的旋转位置分别拍摄该待成像身体的至少两个不同的投影图像，该至少两个不同的投影图像被映射在一幅共同的虚拟投影图像上，其中，从该虚拟投影图像中通过在体积元素上的反投影计算对于灰度值的配属于旋转位置的量，将这些量相加形成灰度值，

其特征在于，在对于按照预定的个别特征已知的身体的校准之前，连续经过预定的旋转位置并且分别拍摄所述至少两个不同的投影图像和该身体的另一个投影图像，分别确定所述不同的投影图像在该另一个投影图像上的映射规则 ( $H'$ ,  $H''$ )，这些映射规则被用于计算虚拟投影图像 (v.P.)，并且根据在该虚拟投影图像 (v.P.) 上成像的预定的个别特征导出用于将该虚拟投影图像反投影到体积元素上的数学规则，其中，在确定随后待成像的身体的灰度值时，将所述映射规则 ( $H'$ ,  $H''$ ) 用于定义该虚拟投影图像 (v.P.)，并且将所述数学规则用于该虚拟投影图像 (v.P.) 的反投影。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述至少两个不同的投影图像在校准中仅仅部分地显示所述按照预定的个别特征已知的身体，并且所述映射规则使得涉及分别一个所述不同的投影图像的灰度值与借助于该映射确定的另一个投影图像的灰度值的距离最小。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所有投影图像在校准中完全地显示所述按照预定的个别特征已知的身体，从每个投影图像中导出用于在体积元素上的反投影的数学规则，并且利用该数学规则确定至少四对所述两个不同的投影图像中的一个与另一个投影图像分别配属的点，其中，根据所配属点的对进行将所述不同的投影图像在该另一个投影图像上的映射规则的精确计算。

## 用于确定待成像身体的体积元素的灰度值的方法

### 技术领域

本发明涉及一种用于确定借助于带有 X 射线源和 X 射线检测器的 X 射线拍摄系统待成像身体的体积元素的灰度值的方法。

### 背景技术

该方法直接地从在本发明的申请日之后公开的 DE 10 2006 0410 33.5 中所描述的、用于重建三维图像体积的方法出发。在用于确定待成像身体的体积元素的灰度值的常规方法中，相对于 X 射线拍摄系统的预先确定的旋转位置分别拍摄 2D X 射线图像（投影图像）；而 DE 10 2006 0410 33.5 处理的是该投影图像不足以完全成像待成像身体的问题。事实上，在一幅投影图像中仅仅对身体的一部分进行成像。在 DE 10 2006 0410 33.5 中该问题是如下解决的：相对于 X 射线拍摄系统的预先确定的旋转位置分别拍摄该待成像身体的至少两个不同的投影图像。这些投影图像不是任意拍摄的，而是对于该至少两个不同的投影图像来说 X 射线源的焦点与待成像的身体的感兴趣区域之间的恒定的相对位置是共同的，其中，为此在焦点与该感兴趣区域中两个点之间形成一个三角形，该三角形通过旋转而围绕焦点移动，以便将不同的投影图像中的一个与另一个进行区别。在该方法中，所述至少两个不同的投影图像不是立刻被反投影以便重建三维的图像体积。而是产生一幅虚拟投影图像，其中与各个不同的真实投影图像不同地实际完全地显示该待成像身体。为了产生共同的虚拟投影图像，采用预定的映射规则。此时采用该虚拟投影图像，以便通过在体积元素上的反投影计算对于灰度值的配属于旋转位置的量，每个旋转位置分别对应于一个量。随后，将对应于所有旋转位置的量相加成待确定的灰度值。

如果如上地利用反投影进行处理，则要求校准。例如，在 X 射线 C 形臂旋转的条件下在系统加速时出现振动。此时在校准中要在拍摄条件下确定对于每个拍摄位置的投影参数。投影参数通常被总结在投影矩阵中。通过投影参数描述了投影几何。对于在投影矩阵中的每个点确定，哪条视线

来确定在该点中的灰度值，也就是说，从 X 射线源的焦点到 X 射线检测器的线是如何出现的。

关于滤波反投影的方法，已知采用在图 1 中示出的并且在图中整体标记为 10 的所谓的校准模型 (Kalibrierphantom)。校准模型是一个按照预定的个别特征已知的身体。从对这些个别特征的成像中得出成像条件、即投影参数。在 N. Strobel, B. Heigl, T. Brunner, O. Schütz, M. Mitschke, K. Wiesent, T. Mertelmeier 的文章：“Improving 3D Image Quality of X-Ray C-Arm Imaging systems by Using Properly Designed Pose Determination Systems for Calibrating the Projection Geometry”, Medical Imaging 2003: Physics of Medical Imaging; edited by Yaffe, Martin J.; Antonuk, Larry E. in Proceedings of the SPIE, Vol. 5030, S. 943-954, 2003 中，描述了在图 1 中示出的校准模型的细节。

校准模型 10 由透过 X 射线的塑料圆柱体 12 组成，在该圆柱体中嵌入了 108 个球 14。这些球由不锈钢组成并且因此在 X 射线图像中起到标记的作用。这些球被螺旋形地设置。该螺旋形的标记安排的优点是：特别是在 X 射线 C 形臂中常见的圆形扫描轨道的条件下，可以识别出在投影图像中的正弦形的曲线，也就是说，同时对尽可能多的标记进行最佳的成像。校准模型的球 14 可以具有两种不同的大小：小的球具有直径 1.6 mm，大的球具有直径 3.2 mm。通过一种编码进行对于在螺旋中特定位置的较大和较小的球之间的选择，其中，通过提供两种不同的球大小的可能性形成了二进制编码。这样选择编码，使得在成像中 8 个球的部分序列就已经足够了，如果在投影图像中识别出其不同的大小，以便精确地分配 108 个球中的哪 8 个球在投影图像中被成像。校准模型 10 被用于确定用于（滤波的）反投影的投影参数，在该反投影中执行如下的步骤：

- 1) 在投影图像中定位 2D 标记位置，
- 2) (沿着螺旋) 确定 2D 标记位置的顺序，特别是根据螺旋的正弦形的成像确定，
- 3) 在螺旋中借助于编码将 2D 标记位置配属给 3D 标记位置，
- 4) 借助于 2D-3D 标记对应关系确定对于每个扫描点的投影矩阵。

在由 DE 10 2006 0410 33.5 公开的用于重建三维图像体积的方法中执行校准的问题如下：在那里尽管同样拍摄投影图像，但是这些投影图像本身

不是用于反投影的，而是首先映射在一幅（共同）的虚拟投影图像上，其中，该虚拟投影图像才被反投影。

## 发明内容

本发明要解决的技术问题是，为（DE 10 2006 0410 33.5 中的）该用于确定待成像身体的体积元素的灰度值的方法给出详细的校准规则。

按照本发明的方法的特征在于，在对于按照预定的个别特征已知的身体（例如图 1 中的校准模型 10）的校准之前，连续经过预定的旋转位置并且分别拍摄所述至少两个不同的投影图像和该身体的另一个投影图像。此时，分别确定所述不同的投影图像在该另一个投影图像上的映射规则，并且该映射规则被用于计算虚拟投影图像。该虚拟投影图像在理想情况下仅仅是所述另一个投影图像在大小上的扩展，使得该虚拟投影图像随后可以满足其尽可能完全地显示待成像的身体的任务，而这点则是各个投影图像以及另一个投影图像必然不能实现的。此时，将按照预定的个别特征已知的身体的虚拟投影图像用于，根据在该虚拟投影图像上成像的预定的个别特征导出用于将该虚拟投影图像反投影到体积元素上的数学规则（投影参数、特别是投影矩阵）。因此，该校准包括：确定所述不同的投影图像在该另一个投影图像上的映射规则以及确定反投影规则。然后，在校准之后正是将这些规则用于确定待成像的身体的体积元素的灰度值，也就是说，将映射规则用于定义该虚拟投影图像，并且将所述数学规则用于该虚拟投影图像的反投影。

本发明从如下的认知出发：如果一开始就通过数学规则定义该虚拟投影图像，则不足以确定投影参数。而是需要一幅（例如对校准模型的）实际拍摄的投影图像。此时，这样选择该实际拍摄的投影图像，使得其位置和取向可以随后给出虚拟投影图像。当然，反过来也是可以的：首先定义虚拟投影图像的位置和取向，然后给出与此对应的拍摄。再次强调指出的是：该虚拟投影图像应该大于实际的投影图像，从而可以完全地成像待成像的身体，因为这点是 DE 10 2006 0410 33.5 中的方法的意义所在。不过，如果其它实际拍摄的投影图像基本上给出该位置和取向，则也可以简单地通过链接其它的图像部分来定义该虚拟投影图像。

在本发明的第一替换方案中，在所述不同的投影图像和该另一个投影

图像的预先定义条件下,这样相对于X射线拍摄系统选择所述校准模型,使得所述至少两个不同的投影图像在校准中至少仅仅部分地显示所述校准模型(所述按照预定的个别特征已知的身体)。由此,提供了在其中对单个投影图像中不能完全看到的身体的成像的随后情形。在这种情况下,必须连续地尝试映射规则。选择使得距离最小的映射规则,例如,这些映射规则使得分别一个所述不同的投影图像的一个点的灰度值与借助于该成像确定的另一个投影图像的对应的点的灰度值之间的差值平方的总和最小。

在所有投影图像在校准中完全地显示所述个别特征已知的身体(校准模型)的情况下,即,如果要么校准模型足够小要么适当地选择了所述两个不同的投影图像,则可以从每个投影图像(所述至少两个不同的投影图像和该另一个投影图像)中导出用于在体积元素上的反投影的数学规则。由此,可以将所述两个不同的投影图像的点明确地配属到该另一个投影图像上。如果确定了至少四对这样配属的点,则可以根据这些对进行将所述不同的投影图像在该另一个投影图像上的映射规则的精确计算,例如可以利用本身公知的数学方法产生一个可以被简单求解的线性方程组。

## 附图说明

下面对照附图描述本发明的优选的实施方式,附图中:

图1示出了在本发明中采用的按照现有技术的校准模型,

图2说明了可以如何拍摄三个重叠的投影图像,

图3说明了可以如何拍摄三个尽可能最少重叠的投影图像,

图4说明了如何在X射线图像拍摄系统的完全的旋转中对于不同的旋转位置拍摄各个图像,

图5说明了如何在X射线图像拍摄系统的不完全的旋转中对于不同的旋转位置拍摄各个图像,

图6说明了将另一个投影图像成像到两个不同的投影图像上的映射规则的定义,

图7说明了如何将图1中的校准模型完全成像在按照图2的拍摄中不同的情况。

## 具体实施方式

图 2 和 3 示出了圆弧 16, 该圆弧是通过由 X 射线源和 X 射线检测器组成的 X 射线图像拍摄系统的完全的旋转 (例如通过 X 射线 C 形臂的 360 度旋转) 而定义的。分别标出的点 18 给出了 X 射线辐射的原点、即 X 射线源内部的焦点。点 18 同时是 X 射线源的旋转中心, 其中圆形的箭头 20 表示该旋转。X 射线辐射在三个不同的拍摄 I'、I、I'' 下沿着箭头 22 发射。如果将图 1 中的校准模型 10 选择为最大的大小, 则该校准模型被成像。在这种情况下, 从 X 射线源发出的 X 射线辐射的展开不够大将校准模型 10 的所有部分成像到拍摄 I' (第一不同的投影图像) 上。同样地, 也不能在拍摄 I'' (第二不同的投影图像) 上完全地看到校准模型 10。此时涉及的是, 在随后待成像的对其结构感兴趣的身体的条件下, 从拍摄 I' 和拍摄 I'' 中产生一幅虚拟投影图像。该虚拟投影图像应该随后完全地显示待成像的身体。可以这样设置该虚拟投影图像, 使得其象征了恰好在记录拍摄 I' 的方向与记录拍摄 I'' 的方向之间的方向上的完整的拍摄。换言之, 该虚拟投影图像应该对应于按照箭头 20 的中间的旋转。为了获得关于该虚拟投影图像的信息, 此时在校准的范围内借助于校准模型 10 实际地记录一幅拍摄, 该拍摄按照其位置和取向精确地对应于该虚拟投影图像。该拍摄为拍摄 I。拍摄 I' 和 I'' 在图 2 中重叠, 而在图 3 中不重叠。通过重叠在特定结构的成像中得到冗余。这点不是绝对必要的。

图 2 和 3 说明了对于 X 射线图像拍摄系统的仅仅一个旋转位置的投影图像的拍摄; 而图 4 和 5 则示出了多个这样的旋转位置。在图 4 中说明了在 X 射线焦点的圆 16 的整个圆周上例如按照顺时针 (箭头 24) 连续经过不同的点 18、18'' 等等, 其中, 分别拍摄三个投影图像 (见箭头 22), 它们对应于图 2 和 3 中的拍摄 I'、I 和 I''。如在图 4 中看出的那样, 在每个点 18、18'、18'' 上可以对应于箭头 20 地旋转 X 射线源。取而代之地, 也可以进行在 X 射线源和 X 射线检测器的恒定的取向条件下的三个单个的回转, 如图 4 中利用 26、28、30 所表示的那样。带有 X 射线源和 X 射线检测器的 X 射线图像拍摄系统必须在回转 26 和 28 之间被旋转一次, 以及在回转 28 和 30 之间被旋转一次。

图 5 示出了在按照本发明的方法中绝对有意义的情况: 不进行在图 4 中对应于箭头 24 的完整圆旋转 16, 而是仅仅在例如 220 度的部分圆 16' 上进行对应于箭头 24 的旋转, 其中, 在此也可以或者分别对应于箭头 20 进

行一个围绕点 18、18'、18''的旋转，或者从对应于附图标记 26'、28'、30'的部分圆 16'的三个经过中进行整个的成像。

结果是，对于在圆 16（图 4）或者部分圆 16'（图 5）上的每个旋转位置得到三个拍摄，即，两个不同的投影图像 I'和 I''以及另一个投影图像、即拍摄 I。拍摄 I 用于导出在两个其它拍摄上的映射规则。在此，该映射被称为单应性（Homographie）H'及 H''。单应性是一种通过其将 2D 坐标系的点转移到另一个 2D 坐标系中的映射规则。只要两个或更多个平面与一个射线束相交，则在不同的平面的对应的相交点之间总是存在单应性的关联。如果按照均匀的坐标表示这些点，则可以将该关系用公式表示线性映射  $y=Hx$ ，其中， $x$  表示原始的点、 $y$  表示变换后的点，而  $3 \times 3$  矩阵  $H$  表示单应性变换本身。关于单应性的细节可以参见 R. Hartley 和 A. Zisserman 的下列书籍：“Multiple View Geometry in Computer Vision”，Cambridge University Press, Cambridge UK, Second Edition 2003。

在图 6 中说明了单应性 H'和 H''，通过它们将拍摄 I 映射到拍摄 I'及 I''上。由于焦点 18 在三个拍摄中的共同位置下列关系成立：

$$x_i' = H'x_i \text{ 以及}$$

$$x_j'' = H''x_j,$$

其中， $x_i$  和  $x_j$  是在图 6 中示例性示出的拍摄 I 中的像素位置，而  $x_i'$  和  $x_j''$  表示在拍摄 I'以及 I''中对应的像素位置。

此时，单应性 H'和 H''在校准的范围内是作为映射规则导出的。

可以区分出在图 7 中说明的三种情形：

图 7 再次示出图 2 中的圆 16 以及作为成像对象的三个同心圆。外侧圆 32 对应于图 2 的情形，其中，校准模型 10 如此大，使得不能完全将其成像到拍摄 I'、I、I''上。第二圆 34 如此大，使得如果校准模型具有该大小的话可以被完全成像到拍摄 I 上，但是不能被成像到拍摄 I'和 I''上。内侧圆 36 如此大，使得如果校准模型恰好这样大的话可以被完全成像到所有三个拍摄 I'、I 和 I''上。

通常出现圆 32 的情况，最多出现圆 34 的情况。这样，不能数学上精确地导出单应性 H'和 H''。

取而代之的是，根据下列公式通过最小化来确定单应性 H'和 H''：

$$\arg \min_{H'} \left\{ \sum_i (I'(H'x_i) - I(x_i))^2 \right\} \text{ 以及}$$

$$\arg \min_{H''} \left\{ \sum_i (I''(H''x_i) - I(x_i))^2 \right\}.$$

其中,  $I(x_i)$ 和  $I(x_j)$ 是在拍摄 I 的位置  $x_i$ 和  $x_j$ 上的灰度值。 $I'(H'x_i)$ 表示在拍摄 I'的位置  $x_i'=H'x_i$ 上的灰度值, 而  $I''(H''x_j)$ 表示在拍摄 I''的位置  $x_j''=H''x_j$ 上的灰度值。对于该计算的前提是, 一方面拍摄 I'和 I 以及另一方面拍摄 I''和 I 重叠足够的程度, 并且像素位置  $x_i$ 、 $x_j$ 、 $x_i'$ 、 $x_j''$ 总是位于该重叠区域之内。为了进行最小化, 可以采用每种已知的数值方法, 例如所谓的梯度下降方法, 其中在围绕预定点的陡峭的下降的方向上最快地到达最小值。在上面引用的 Hartley 和 Zisserman 的书籍中描述了其它的方法。

在 I 与 I'和 I''精确地相同大小、即表示实际的投影图像的同时, 可以在采用 H'和 H''的条件下从所有的拍摄 I'和 I''出发构造一幅虚拟投影图像 v.P., 该投影图像在图 6 中用虚线显示为拍摄 I 的放大。这样, 该虚拟投影图像 v.P.通常完全地成像了待成像的身体, 特别是也在图 7 中圆 32 的情况下的整个的校准模型或者整个的待成像的身体, 即使拍摄 I 不能单独地实现这一点。

在确定了虚拟投影图像之后, 可以采用然后的校准方法, 以便确定投影矩阵, 从而可以反投影到体积元素(体素)上。在采用图 1 中的校准模型 10 的情况下, 可以采用上面提到的用于校准的现有技术的四个步骤, 也就是说, 根据标记球 14 可以进行校准。

所述用于确定单应性 H'和 H''的最小化公式适用于如下的情况: 校准模型与圆 32 和 34 一样大。在校准模型较小, 也就是与圆 36 一样大, 并从而可以成像在所有的三个拍摄 I'、I 和 I''的情况下, 可以精确地在数学上确定这些单应性。这点成为可能的原因是: 每个拍摄 I'、I 和 I''允许导出各自的投影矩阵 P'、P 和 P'', 然后从各个投影矩阵导出成像之间的一对一关系, 由此给出了用于线性方程组中求解的基础。对此不用进一步详细地说明, 参见上面引用的 Hartley 和 Zisserman 的书籍。

因此, 如下地结束了校准: 一方面确定单应性 H'和 H'', 另一方面确定对于虚拟投影图像适用的投影矩阵(例如称为 P)。利用这三个数学规则可以随后执行按照 DE 10 2006 0410 33.5 的方法。为了采用本发明申请的概念, 下面仅仅在任意待成像的身体上记录拍摄 I'和 I'', 其中, 该待成像的身体随

---

后在图 4 和 5 中出现在校准模型 10 的位置上，并且尤其是不必记录每个旋转位置的分别的中间拍摄（即拍摄 I）。而是通过采用单应性  $H'$  和  $H''$  导出虚拟投影图像。然后，在采用投影矩阵（ $P$ ）的条件下又将该虚拟投影图像用于反投影到体积元素上。

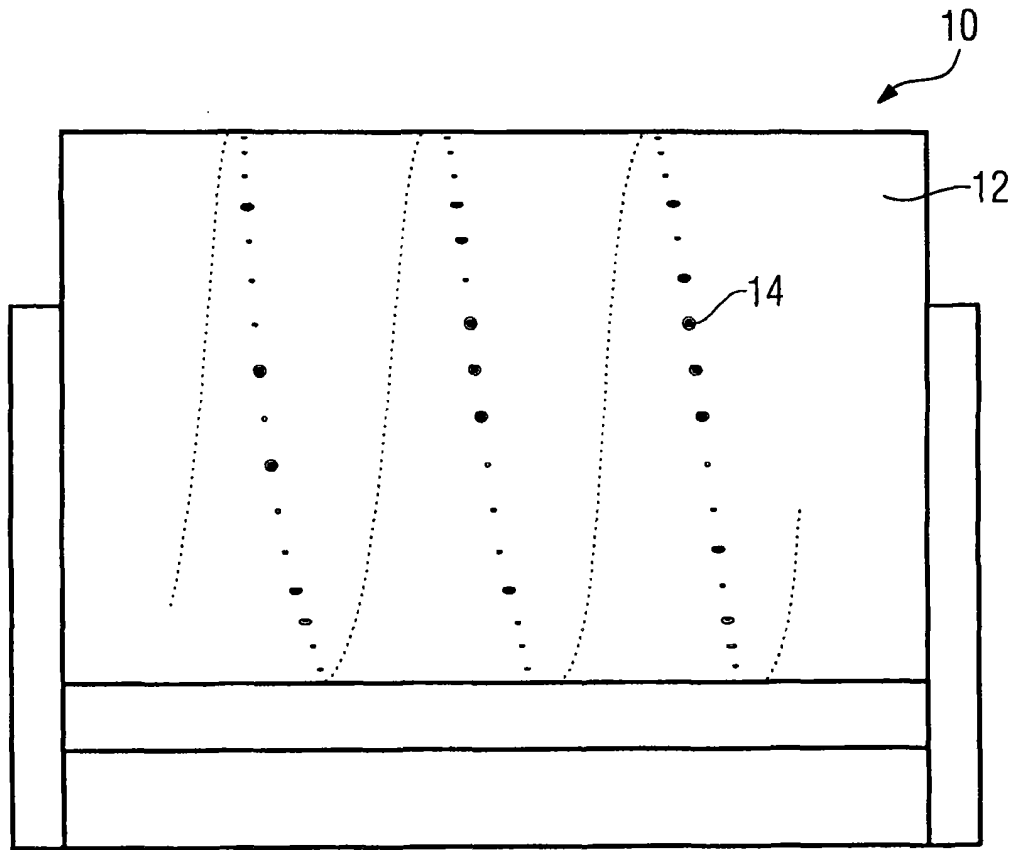


图 1

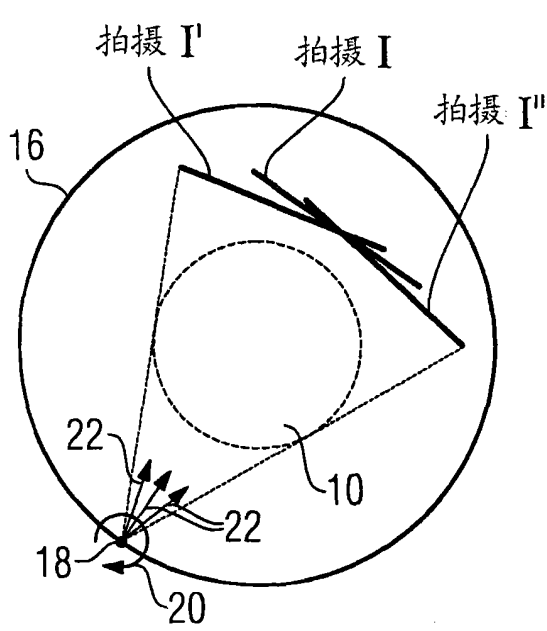


图 2

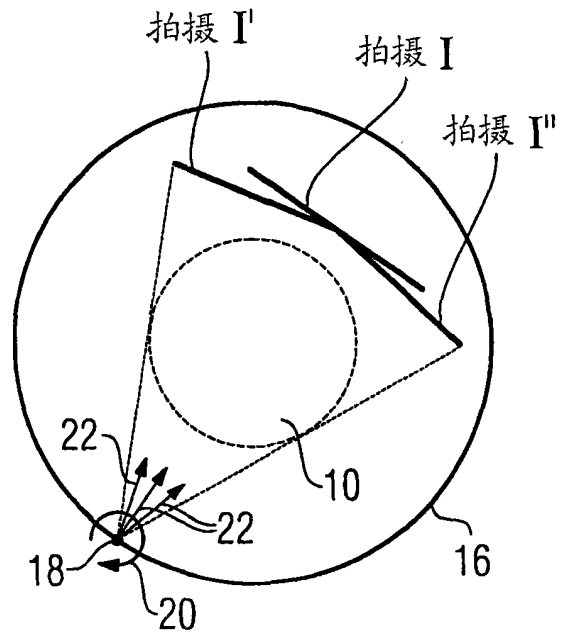


图 3

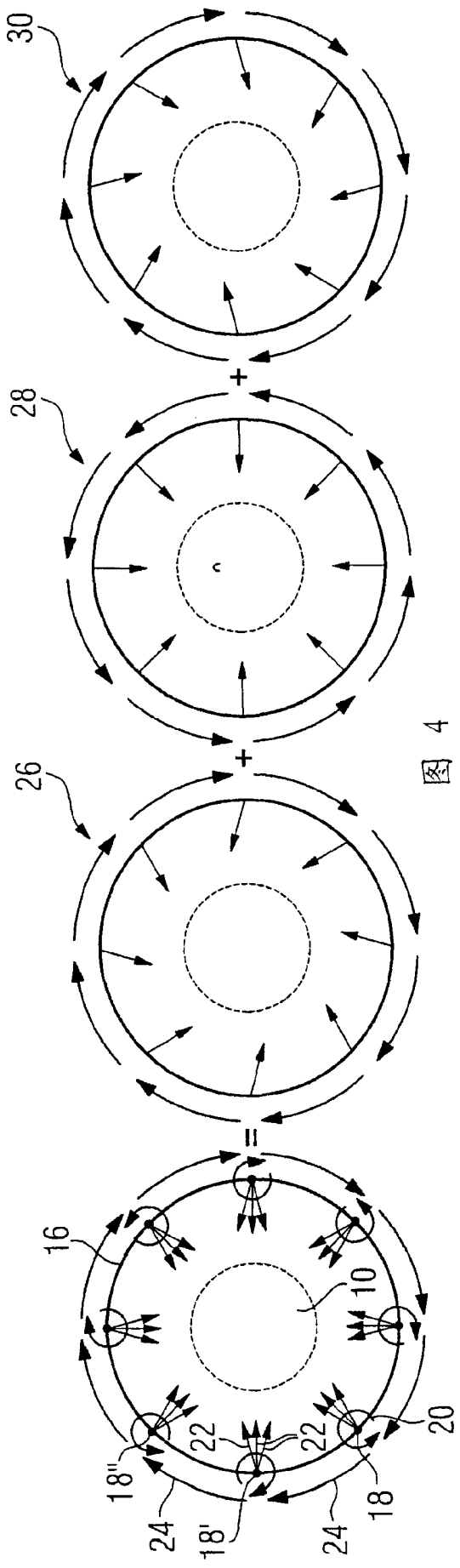


图 4

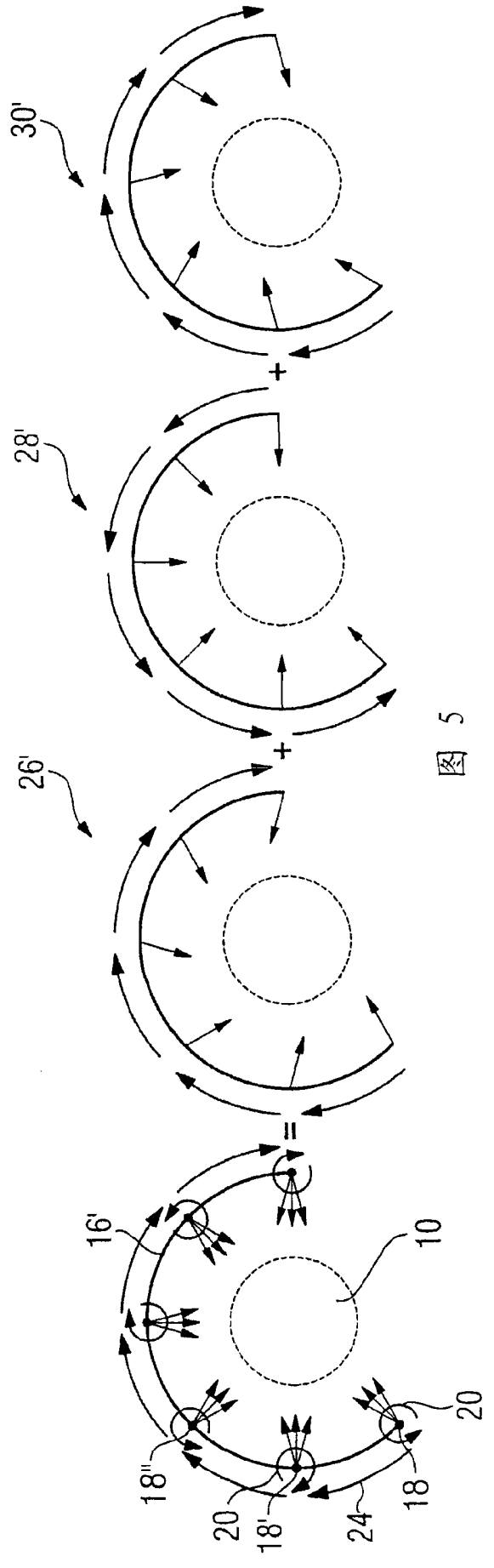


图 5

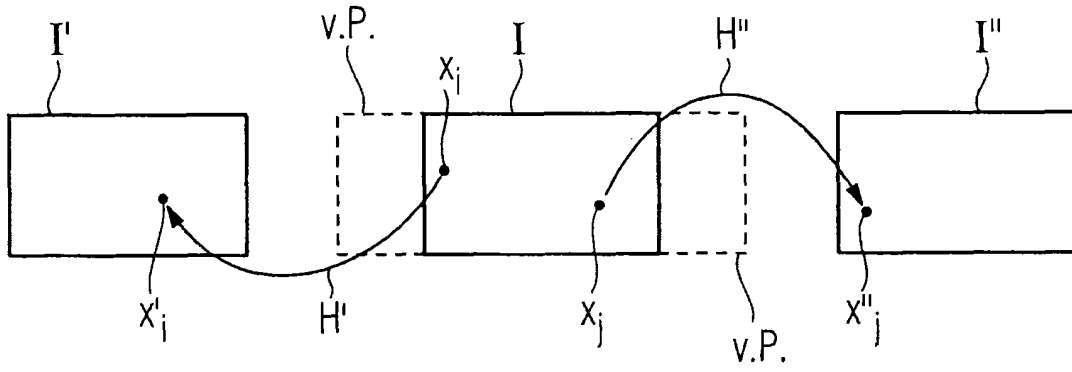


图 6

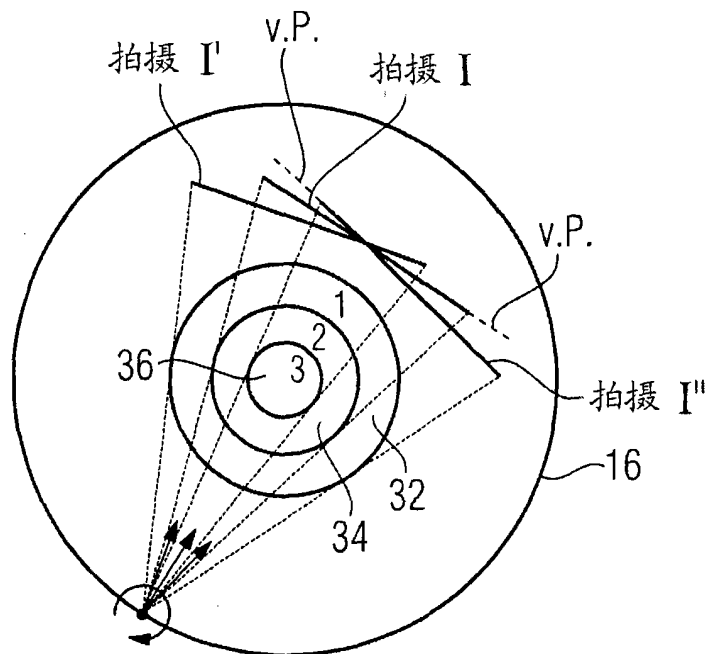


图 7