



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102326182 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 18

(21) 申请号 201080008625. 2

(22) 申请日 2010. 02. 19

(30) 优先权数据

102009003514. 1 2009. 02. 20 DE

102009003597. 4 2009. 03. 10 DE

102009003826. 4 2009. 04. 24 DE

102009025846. 9 2009. 05. 20 DE

102009026198. 2 2009. 07. 17 DE

102009043838. 6 2009. 08. 24 DE

102009044476. 9 2009. 11. 09 DE

102009044580. 3 2009. 11. 18 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 08. 22

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2010/052145 2010. 02. 19

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/094774 DE 2010. 08. 26

(73) 专利权人 沃思测量技术股份有限公司

地址 德国吉森

(72) 发明人 R. 克里斯托弗 I. 施密特 M. 哈默
T. 韦登赫费尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 臧永杰 卢江

(51) Int. Cl.

G06T 5/00(2006. 01)

G06T 11/00(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2005/0084147 A1, 2005. 04. 21,

US 5119408 A, 1992. 06. 02,

审查员 马丽莉

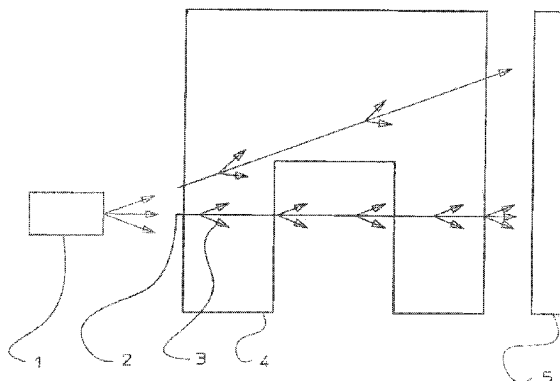
权利要求书3页 说明书20页 附图17页

(54) 发明名称

借助测量系统确定工件结构和 / 或几何形状的方法和装置

(57) 摘要

本发明涉及一种用来校正用于 CT 重建的透射图像或投影数据的方法, 其中在测量时待测量的工件布置在发射 X 射线辐射的 X 射线源与接收 X 射线辐射的 X 射线探测器之间。此外, 本发明还涉及一种用于根据事先拍摄的透射图像利用在探测器上诸如反差明显的尽可能质量高的成像确定用于计算机断层造影的参数。本发明还涉及一种用于借助测量系统、优选计算机断层造影测量系统确定对象的结构和 / 或几何形状的装置, 该测量系统由至少一个辐射源、至少一个辐射探测器和至少一个旋转轴组成。



1. 用于借助测量系统来确定工件的结构和/或几何形状的方法,该测量系统包括至少一个辐射源、至少一个辐射探测器和至少一个物理旋转轴,其中,组合来自工件的不同旋转位置的照片,对于所述旋转位置:

-借助由工件与探测器之间的旋转和平移的相对移动构成的组合将所述工件围绕所产生的不同于物理旋转轴的旋转轴旋转,以便所述工件与当前旋转位置无关地总是在接近探测器的相同位置处成像,和

-工件、辐射源和探测器采取相对于彼此的多个位置。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述测量系统是计算机断层造影测量系统。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述照片是透射图像。

4. 根据权利要求1所述的方法,用于借助X射线传感器装置来确定工件的结构和/或几何形状其特征在于,所述传感器装置能在X,Y和/或Z方向上相对于工件定位。

5. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,借助由旋转移动和平移移动构成的组合将所述工件围绕不同于物理旋转轴的旋转轴旋转,其中通过所述物理旋转轴在至少一个平移方向上被移动和/或探测器在至少一个平移方向上和/或至少一个旋转方向上被移动,该物理旋转轴相对于探测器和/或辐射源不是位置固定的。

6. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,借助由旋转移动和平移移动构成的组合将所述工件围绕不同于物理旋转轴的旋转轴旋转,其方式是,所述探测器固定而所述物理旋转轴在两个平移方向上被移动,其中第一方向垂直于探测器平面,并且第二方向垂直于物理旋转轴的方向并且垂直于探测器平面的法线。

7. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,将所述工件围绕相对于探测器和/或辐射源能移动的物理旋转轴旋转,其方式是,所述物理旋转轴在垂直于探测器平面的平移方向上被移动,和探测器在伸展于探测器平面中的、垂直于所述物理旋转轴方向的方向上被移动,并且探测器围绕平行于物理旋转轴的方向旋转,和/或在考虑关于照射偏心的工件透射和/或关于照射存在的探测器旋转的情况下校正测量结果。

8. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,与所述物理旋转轴不同的旋转轴是工件的虚拟旋转轴。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述工件的虚拟旋转轴是对称轴。

10. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,所述物理旋转轴在封闭平滑曲线上围绕虚拟旋转轴或者在垂直于探测器平面的直线上移动,其中所述虚拟旋转轴即为所述不同于物理旋转轴的旋转轴。

11. 根据权利要求10所述的方法,其特征在于,所述封闭平滑曲线是椭圆轨道。

12. 根据权利要求10所述的方法,其特征在于,所述封闭平滑曲线是圆形轨道。

13. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,确定旋转对称的零件和/或工具和/或可断层造影的零件的结构和/或几何形状。

14. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,在不事先将工件与物理旋转轴对准的情况下进行测量,并且在物理旋转轴的旋转移动期间进行物理旋转轴和/或探测器的平移移动,其中借助CNC控制的坐标轴,通过在本来测量之前和/或期间进行的对准,虚拟旋转轴始终保持相对于探测器中心地布置,其中所述虚拟旋转轴即为所述不同于物理旋

转轴的旋转轴。

15. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,控制计算机确定虚拟旋转轴相对于物理旋转轴在空间中的相对位置并由此控制由平移移动和旋转移动的组合,其中所述虚拟旋转轴即为所述不同于物理旋转轴的旋转轴,其方式是,

-在物理旋转轴的至少两个事先或在不同旋转位置中的本来测量之间采取的旋转位置中拍摄检查测量,从所述检查测量中分别在至少一个坐标上确定所述虚拟旋转轴相对于物理旋转轴或者相对于表征物理旋转轴的物体的位置的位置,并且组合检查测量的结果,和/或

-通过其它集成在设备中的传感器装置事先或在测量期间确定所述虚拟旋转轴相对于物理旋转轴的位置。

16. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述检查测量是透射图像。

17. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述物体是圆柱体或心轴。

18. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,分别仅在达到围绕虚拟旋转轴的事先预定义的角度时才拍摄透射图像,其中所述虚拟旋转轴即为所述不同于物理旋转轴的旋转轴。

19. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,在工件、辐射源和/或探测器之间的多个相对位置中、不同放大地拍摄的透射图像首先对于针对体积数据组的相对位置的每个组合被重建,其中所述透射图像能够部分重叠,以便接着在空间中在共同栅格中被表示并且能被分析。

20. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,在工件、辐射源和/或探测器之间的多个相对位置中的至少一个中,工件的一部分在至少一个旋转位置中未完整地成像在探测器上,其中工件的该部分离开垂直于虚拟旋转轴的可用测量区域,并且在所拍摄的透射图像中缺少的测量值通过重采样方法和/或内插方法和/或外推方法从相同的旋转位置的透射图像的测量值中计算,其中所述虚拟旋转轴即为所述不同于物理旋转轴的旋转轴。

21. 根据权利要求20所述的方法,其特征在于,工件、辐射源和/或探测器之间的多个相对位置中的至少一个是具有更高放大的相对位置。

22. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在考虑工件、辐射源和/或探测器的位置的情况下在空间中在共同栅格中进行所述结构和/或几何形状的分析。

23. 根据权利要求22所述的方法,其特征在于,借助从具有最高放大的测量中产生的体积数据在空间中确定共同栅格。

24. 根据权利要求22或23所述的方法,其特征在于,在使用内插方法的情况下从原始的测量数据中通过合并和/或重采样方法确定用于所述共同栅格的测量值,其中在重叠区域中对所述测量值进行加权的平均,其中根据至重叠边界的距离来进行所述加权。

25. 根据权利要求24所述的方法,其特征在于,所述测量值是灰度值。

26. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,通过在工件、辐射源和/或探测器之间的不同相对位置来产生大于通过固定探测器覆盖的测量区域的测量区域,其方式是,在至少一个垂直于成像轴的方向上进行在工件和至少所述探测器之间的相对移动。

27. 根据权利要求1-4中任一项所述的方法,其特征在于,该方法被用在坐标测量设备

中。

28. 用于借助测量系统确定工件的结构和/或几何形状的装置, 该测量系统由至少一个辐射源、至少一个辐射探测器和至少一个旋转轴组成, 其特征在于, 借助由工件与探测器之间的旋转和平移的相对移动构成的组合能使所述工件围绕所产生的不同于物理旋转轴的旋转轴旋转, 以便所述工件与当前旋转位置无关地总是在接近探测器的相同位置处成像。

29. 根据权利要求28所述的装置, 用于借助X射线传感器装置来确定工件的结构和/或几何形状, 其特征在于, 所述传感器装置能在X, Y和/或Z方向上相对于工件定位, 其方式是, 所述物理旋转轴能在至少一个平移方向上被移动, 和/或工件在至少一个平移方向上可移动地布置在所述物理旋转轴上, 和/或探测器能在至少一个平移轴和/或旋转轴上被移动。

30. 根据权利要求28所述的装置, 其特征在于, 所述测量系统是计算机断层造影测量系统。

31. 根据权利要求28-30中任一项所述的装置, 其特征在于, 所述物理旋转轴能在两个平移方向上被移动, 其中第一方向垂直于探测器平面, 和第二方向垂直于物理旋转轴的方向并且垂直于探测器平面的法线。

32. 根据权利要求28-30中任一项所述的装置, 其特征在于, 所述物理旋转轴能垂直于探测器平面地被移动, 并且探测器能在至少一个伸展于探测器平面中的、垂直于物理旋转轴方向的方向上被移动, 并且所述探测器能围绕平行于所述物理旋转轴的轴旋转。

33. 根据权利要求28-30中任一项所述的装置, 其特征在于, 该装置集成在坐标测量设备中。

借助测量系统确定工件结构和/或几何形状的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于确定对象的结构和/或几何形状或用于借助测量系统、优选计算机断层造影测量系统测量诸如工件的对象以及用于在使用具有像素的CT探测器的情况下校正用于CT重建的投影数据的方法。在对工件的CT测量中,该工件在旋转轴上布置在发射X射线辐射的X射线源与接收该X射线辐射的X射线探测器之间。本发明还涉及一种用于借助测量系统、优选计算机断层造影测量系统确定对象的结构和/或几何形状的装置,该测量系统由至少一个辐射源、至少一个辐射探测器和至少一个旋转轴组成。

背景技术

[0002] 将计算机断层造影用于测量技术的目的只有在重建的断层照片没有通过不同的物理效应引起的伪影的情况下才能以高精度进行。这些物理效应是射线硬化、散射、还有衍射和折射效应等等。为了校正从这些物理效应产生的伪影,大多计算考虑在部件的透射长度或还有几何形状与利用探测器测量的衰减之间的关系特性曲线。

[0003] EP1415179B1描述了一种方法,在该方法中从检验物的由完整的投影数据产生的有伪影的3D体素数据迭代地确定所述透射长度。所有在此确定的伪影都将以射线硬化校正的形式被考虑。在此,从探测器的所有像素的测量结果来确定唯一的特性曲线。

[0004] 替换地,在W02006/094493(=EP06722577.1)中建议了一种方法,在该方法中借助工件的CAD模型在测量对象相对于CT传感器装置的不同旋转位置中确定透射长度。在此需要将CT测量系统中的工件针对CAD数据精确对准。

[0005] 但是在属于现有技术的方法中没有考虑到以下事实,即不仅仅是透射长度、而是还有工件尤其是在不同旋转位置中的几何形状例如由于不同的散射辐射而引起不同的伪影。此外,通过借助针对探测器的所有像素的投影数据的唯一特性曲线所进行的校正未考虑以下事实,即通过各个像素的不同特性同样触发伪影。

发明内容

[0006] 本发明的任务是改进开头所述类型的方法,使得在CT测量中对伪影进行有效的校正。根据本发明,该任务基本上通过以下方式来解决,即为了校正所采用的CT探测器的各个像素或者像素组的测量值而使用不同的特性曲线。根据本发明,考虑在对测量对象进行透射时用于确定衰减所使用的探测器的单像素的不同测量技术特性。为此根据本发明确定多个特性曲线,这些特性曲线描述在被透射的部件长度与探测器上的衰减之间的关系。除了透射长度之外,在这些特性曲线中附加地考虑工件的几何形状。根据本发明这是通过以下方式进行的,即所述特性曲线在测量对象的不同旋转位置中与透射几何形状相匹配,也就是不仅仅考虑透射长度,而是还要考虑不同材料在透射方向上的顺序。特性曲线对各个探测器像素的分配在引入CT测量系统中的工件处进行。

[0007] 为确定校正特性曲线而需要的对工件几何形状的确例如可以迭代地从完整的投影数据或者在与CAD数据对准之后借助其来确定,这在现有技术中已经得以描述。

[0008] 所述做法的优点在于考虑探测器的各个像素的不同测量技术特性,而还有对射线硬化和散射辐射、部件中的吸收以及衍射和折射效应的各种各样的考虑。此外,该方法使得可以在测量对象垂直于透射方向横向移动时(例如在螺旋断层造影中)也夹带各个特性曲线。在此考虑,在不同的横向位置中通过不同的像素确定沿着透射方向的表征辐射吸收的线积分。

[0009] 通过散射辐射、吸收、衍射和折射效应引起的伪影例如可以通过以下方式来加以考虑,即所述特性曲线包含一个或多个考虑在当前透射方向上的特性几何形状(材料顺序)的参数。这例如可以是各个材料片段的加权平均透射长度或者其它由此形成的对比度比例。进一步的解析校正关系例如可以借助仿真来确定。

[0010] 尤其是规定,为了确定各个特性曲线,确定各个像素或像素组的不同测量技术特性和/或在计算机断层造影成像时的伪影。

[0011] 各个像素或像素组的测量技术特性是所接收的射线功率和所输出的传感器信号之间的关系。该关系对各个像素或像素组来说可以基于不同的偏移值、也就是在缺乏照射时的传感器信号、和/或不同的灵敏度而变化。

[0012] 在此,在所述特性曲线中可以按照以下方式考虑通过伪影造成的影响,即在CT测量期间为了拍摄不同投影数据在不同旋转位置中确定分配给各个像素或像素组的透射长度和/或工件的几何形状。

[0013] 通过伪影造成的影响在特性曲线中这样被考虑,使得不仅向所测量的每个射线强度I分配唯一的透射长度L,而且根据首先粗略已知的透射长度和/或工件的几何形状存放校正,该校正使得可以从所测量的强度来确定正确的透射长度。该存放可以按照解析描述或查找表的形式进行。

[0014] 尤其是规定,借助几乎完整存在的投影数据和/或借助CAD模型在不同的旋转位置中确定透射长度和/或工件的几何形状。

[0015] 在改进方案中本发明规定,借助在无已知特性(尤其是几何形状)的测量对象的情况下以及在有已知特性(尤其是几何形状)的测量对象的情况下对透射图像的确定来确定所述各个像素或像素组的不同测量技术特性、尤其是灵敏度和偏移。

[0016] 此外规定,为了校正伪影从事先确定的透射长度和/或在相应的透射方向上存在的特性几何形状来推导出一个或多个在特性曲线中考虑的参数。

[0017] 在特性曲线中考虑的参数用于与在相应透射方向上的当前的特性几何形状相匹配。由此应当考虑到,给定的工件在不同的旋转位置中具有不同大小的透射方向,并且因此为校正伪影而强加的对特性曲线的影响不同强度地进行。

[0018] 可以通过以下方式从所述特性几何形状推导出参数,即从几何形状和/或材料顺序针对每种材料类型和布置检测透射线段(Strecken),并由此推断出诸如散射辐射伪影和射线硬化伪影的伪影构成。

[0019] 在此,前述的参数也可以一起考虑材料顺序。如果在不同的材料之间频繁转换,则尤其是增多地出现散射辐射。

[0020] 还存在通过以下方式从特性几何形状推导出所述参数的可能性,即从几何形状和/或材料顺序例如借助仿真确定各个材料片段的加权的平均透射长度或者以其它方式解析形成的对比度比例(Kontrastverhältnis),并由此推断出诸如散射辐射伪影和射线硬化

[0032] 在改进方案中规定,用于确定所述校正所使用的像素的测量值在位于X射线源与X射线探测器之间的工件的一个或多个不同位置中,尤其是在不同的放大设定中被确定和/或组合,并且在不同的放大设定下被应用,例如通过采用内插方法。

[0033] 内插方法的采用使得可以校正针对放大的特性曲线,其中测量强度和透射长度之间的关系以及材料顺序不根据特性曲线的校正被确定。

[0034] 为此使用来自相邻放大设定的校正,尤其是来自较小和较高的放大设定的校正。

[0035] 替换地或补充地,用于确定所述校正所使用的像素的测量值可以在位于X射线源与X射线探测器之间的工件的一个或多个不同位置中以及在X射线源相对于X射线探测器的多个不同位置中,尤其是在相同的放大设定、但在从X射线源发出的辐射的穿过测量对象的不同锥形射线角度时被确定和/或组合,并且在一个或不同的放大设定下被应用,例如通过采用内插方法。

[0036] 与上面所解释的类似地,对于不同的锥形射线角度来说也许出现不同的必要的校正。通过在限定的锥形射线角度下确定这些校正,可以在采用内插方法的情况下将这些校正也扩展到位于该限定的锥形射线角度之间的锥形射线角度。

[0037] 还存在以下可能性,即通过由多个子透射图像组成透射图像,其中这些子透射图像例如通过使用光阑(Blende)而分别仅透射工件的一部分,明显减少伪影、尤其是散射辐射伪影的构成,并且通过与完整拍摄的透射图像相比较,确定针对探测器的不同像素的至少一部分的校正值,所述校正值必要时在围绕入射区域的、在所组成的子透射图像中缺乏的区域之间和/或上被内插和/或外推。

[0038] 通过采用光阑明显减小用于透射工件所使用的辐射的锥形射线角度。

[0039] 由此明显降低伪影、尤其是散射辐射的影响。但是随之出现测量场的减少。尽管如此,为了测量整个测量对象,有必要将各个子图像组成总透射图像。

[0040] 在此,不必强制地在各个子测量中覆盖工件的整个区域。通过将子透射图像中的相同区域与总透射图像进行比较,可以确定伪影、尤其是散射辐射的改变了的影响。该行动可以对非强制直接毗邻的不同子透射图像重复。通过内插这些子透射图像的校正值,还可以通过内插确定针对位于这些子透射图像之间的区域的校正。

[0041] 同样可能的是,通过外推确定针对位于子透射图像之外的区域的校正值。

[0042] 本发明的改进方案规定,根据工件的旋转位置和/或工件的位置确定和使用不同的校正特性曲线,其中工件在X射线源与X射线探测器之间的位置可以在X射线辐射的主射线轴方向上和/或与该主射线轴成直角的方向上变化,以使栅格方法成为可能。

[0043] 如果在测量体积内的不同的工件位置中进行断层造影,则现在在其它像素上对测量对象的确定区域成像。为了在校正时考虑该像素的也许不同的测量技术特性,可以将针对原始像素确定的特性曲线伪影校正转用于现在涉及的像素,并与校正偏离的测量技术特性的校正叠加。

[0044] 对各个探测器像素和/或像素组的相应特性曲线的选择和分配可以在工件的相应旋转位置或位置中通过对工件的对准来进行。

[0045] 还存在以下可能性,即根据穿透测量对象的辐射的所使用的频谱,优选通过使用X射线管的不同加速电压和/或通过采用预滤波器来确定和使用不同的校正特性曲线。

[0046] 在使用穿透测量对象的辐射的不同频谱的情况下,伪影、尤其是射线硬化以及散

射辐射表现得不同。因此必须存储不同的校正特性曲线。

[0047] 根据另一建议规定,当在工件的不同旋转位置和/或位置中拍摄不同的透射图像期间或者在拍摄了完整的透射图像组之后校正辐射探测器的各个像素或像素组的特性曲线。

[0048] 尤其是规定,针对是坐标测量设备的一部分的CT测量系统来进行CT重建。

[0049] 以高精度将计算机断层造影用于测量技术目的的另一个前提是,用于重建的、在工件的不同旋转位置中的透射图像可以明确地在空间中相互分配。但是这强制地由于在测量对象旋转时的摆动移动或者在X射线管(尤其是X射线管的焦斑(Brennfleck))与X射线探测器之间的移位而变得困难。两种影响大小都可以通过各个组件的特别稳定的热结构以及机械结构来减小。此外,为测量对象的旋转采用高度精确的旋转轴,或确定和校正所出现的摆动移动。此外通过X射线管的加温而出现的、X射线管的焦斑漂移移动被瞬时减少,其中必须等待相应的加热以及由此等待CT设备的启动(Einlaufen)。此外公知这样的方法,在这些方法中固定布置的附加的测量体被置入X射线光路中,借助该测量体在CT探测器上的成像可以校正所述焦斑的漂移。

[0050] 本发明的另一方面所基于的任务是,改进开头所述类型的方法,使得以较小的测量技术耗费以及原则上在不使用校准体的情况下可以校正投影数据。

[0051] 为了解决该任务,本发明基本上规定,在测量流程期间出现的在X射线源与X射线探测器之间的相对移动通过事先获得的信息而得到校正。

[0052] 在此尤其是建议,作为事先信息在相对于X射线源和/或X射线探测器的不同旋转位置和/或不同位置中拍摄待测量工件的一个透射图像或者待测量工件的多个透射图像。

[0053] 根据本发明,借助数量明显小于直接在相同测量对象处的用于测量所使用的透射图像的事先拍摄的透射图像来进行校正。

[0054] 建议一种用于校正在CT测量期间出现的、在X射线源或X射线源的焦斑与X射线探测器或工件之间的移位的方法。为此首先拍摄工件或诸如各个特征的工件部分的一个或多个事先透射图像。为了将在事先拍摄时的漂移现象最小化,在少量的不同旋转位置中拍摄仅几个少量的透射图像。通过在事先拍摄的透射图像或透射图像的部分与在测量期间拍摄的透射图像或透射图像的部分之间进行比较,例如可以借助相关方法识别和校正位移或定标偏差(Skalierungsabweichung)。这例如可以通过重采样方法或通过X射线源相对于X射线探测器和/或工件的定位来进行。借助内插方法从工件的相邻旋转位置的事先拍摄的透射图像来校正用于测量所使用的透射图像,对于所述透射图像不存在事先透射图像。

[0055] 所描述的做法的优点在于省去了用于确定焦斑漂移的要固定安置的附加透射体,因为所述漂移体在测量期间也遭受漂移现象并且此外可能限制CT设备的测量区域。由于小数量的用于校正在本来测量时确定的透射图像的要事先拍摄的透射图像,在事先拍摄时出现非常小的测量时间,由此使焦斑的漂移现象最小化。与其中在大约100-1600个之间的透射图像分布在全圆或半圆上的本来测量相比,仅以必要时还非均匀分布的、大约5°至20°的步拍摄事先透射图像。同样,还可以借助单个透射图像通过以下方式产生对漂移的校正,即例如在测量期间在开始和结束时以及在每一个其它任意时刻在该位置中重复地确定透射图像。

[0056] 因此尤其是规定,事先拍摄的透射图像的数量(典型地20至70)明显小于用于测量

所需要的透射图像的数量(典型地100至1600)。

[0057] 在本发明的扩展方案中规定,借助所述事先拍摄的透射图像通过以下方式进行校正,即在测量流程期间的一个或多个任意可选择的时刻在确定事先拍摄的旋转位置和位置中重新测量待测量的工件。

[0058] 本发明的特征还在于,通过例如借助相关方法与事先拍摄的透射图像进行比较,为各个用于测量所使用的透射图像确定校正数据,并且优选通过重采样方法确定各个用于测量所使用的透射图像、所述透射图像的部分或者所述透射图像内的一个或多个特征的基于该比较的位移和/或定标。

[0059] 还存在以下可能性,即通过以下方式来校正透射图像(对于所述透射图像在工件的相同旋转位置中不存在事先透射图像),即使用来自在相邻的旋转位置中拍摄的事先透射图像的信息,优选通过采用内插方法。

[0060] 在本发明的扩展方案中建议,基于事先确定的透射图像与用于测量所使用的透射图像的比较的位移和/或定标被用于通过定位校正正在测量进程期间位于X射线源和/或X射线探测器和/或工件之间的相对位置。

[0061] 尤其是规定,将校正方法用于是坐标测量设备的一部分的CT测量系统。该坐标测量设备尤其是多传感器坐标测量设备。

[0062] 如已经提到的,在为X射线断层造影拍摄透射图像时由于诸如散射辐射或射线硬化的不同效应而产生所拍摄的信号的失真。这尤其是在将X射线断层造影用于测量技术目的时导致超过容许范围的测量偏差。为了校正这样的偏差,从部分已经提到过的文献已知不同的方法。

[0063] 在EP-A-1 415 179中描述了一种用于迭代地校正相应的误差影响(也称为伪影)的方法。从而首先从仍失真的透射图像产生第一粗略重建。由此计算出长度,利用所述长度执行所述透射图像的特性曲线校正。接着对测量结果进行精确的重建。

[0064] WO-A-2006/094493的主题是一种方法,在该方法中附加地考虑诸如CAD数据的标称数据用于确定射线硬化伪影。

[0065] 类似的方法在Michael Maisl的1992年的论文“Entwicklung und Aufbau eines hochauflösenden Röntgencomputertomografie-Systems für die Werkstückprüfung”中得以描述。

[0066] 还公知这样的方法,根据这些方法在相同的工件处利用其它传感器执行附加的测量。在所述测量的基础上可以对借助透射图像的拍摄以及随后的重建而产生的测量点几何地在其位置方面予以校正。示例性地可以参照EP-A-1 749 190和WO-A-2008/128978A2。

[0067] 在最先提到的两种方法中缺点在于,在确定校正值时不考虑可还原的测量结果。由此强烈限制了可达到的精度。最后提到的方法的缺点在于,必须附加地至少在模板工件的情况下单独地测量对稍后分析所需要的所有面。由此产生显著的测量耗费,该测量耗费出于经济上的原因而将应用仅限于若干要以高精度测量的特征。

[0068] 本发明的另一任务是,一方面避免上述方法的缺点,另一方面获得对所达到的重建结果的精度的显著改善。

[0069] 根据本发明,所述任务基本上通过以下方式解决,即对透射图像进行校正,使得所述透射图像经受特性曲线校正,其中考虑通过在相同工件处的校准测量而获得的经过校准

的长度。

[0070] 在此尤其是规定,借助坐标测量设备执行为校准经过校准的长度而进行的测量。

[0071] 按照优选的方式,通过多传感器坐标测量设备执行为确定经过校准的长度而进行的测量,在该多传感器坐标测量设备中集成了用于X射线计算机断层造影的传感器装置。

[0072] 尤其是规定,为了确定校正特性曲线仅校准若干通过X射线断层造影分析的透射长度、典型地10至大约100个透射长度。

[0073] 本发明的特别突出的扩展方案规定,为了确定校正特性曲线而分析的透射长度尽可能均匀地从0直至相应工件的最大出现的透射长度分布。

[0074] 在此,在工件在计算机断层造影光路中的不同旋转位置中确定为了确定校正特性曲线而分析的透射长度。

[0075] 本发明特有地建议,所述特性曲线校正通过在表示透射长度与所测量的射线强度之间关系的特性曲线和分配给所测量的射线强度的、借助校准测量确定的透射长度之间的比较来确定。

[0076] 本发明的特征尤其还在于,对所述校正特性曲线的确定通过在经过校准的值之间内插透射长度和所属的透射值,和/或通过在经过校准的值上方和/或下方进行外推来进行。

[0077] 在此,作为内插方法可以优选采用样条内插、多边形内插或者利用具有解析描述的函数的内插。

[0078] 按照优选的方式,借助解析函数和/或离散值表(查找表)来进行对特性曲线校正的存放。

[0079] 本发明特有地(eigenerfinderisch)规定,通过优选光学或触觉地测量侵入辐射(射线)的一部分在工件上的入射点和出射点,和/或通过借助于在穿过工件表面的相应冲破点的区域中的优选光学或触觉地测量的补偿元件(优选平面或圆柱体)的数学逻辑连接来确定所述入射点和出射点,来确定经过校准的长度。

[0080] 尤其是,应该借助所测量的调节几何元件和/或通过调整(Einpassung)工件的部分和/或整个工件来对工件进行对准。

[0081] 对本发明所基于的任务的解决方案可以基本上通过以下方式达到,即通过利用坐标测量设备或者集成在具有计算机断层造影的坐标测量设备中的附加传感器的附加测量来准确地要在测量的工件处测量各个典型的长度。所述各个不同的“由此经过校准的”长度与在采用计算机断层造影的情况下出现的透射长度(在X射线源与传感器元件之间的连接线上)相应。由相应的2D透射图像和对所有透射长度的第一粗略重建,可以借助经过校准的透射长度产生用于校正所述2D透射图像的特性曲线,这些特性曲线描述从所述2D透射图像的传感器信号确定的衰减(例如以灰度值的形式)与被透射的部件长度之间的关系。该特性曲线计算的精度通过所选择的透射长度的校准测量精度限定。

[0082] 对相应透射长度的校准原则上可以通过两种途径进行。一方面可以光学或触觉地直接接触及相应射线在工件处的想到的入射点和出射点。

[0083] 替换地,同样可以设想,在穿过工件表面的相应冲破点的区域中测量补偿元件,例如平面或圆柱体,并由此通过数学逻辑连接(Verknüpfung)确定所述冲破点。

[0084] 为了既在重建的体积中又在对工件的例如光学或触觉的反测量时准确找到相应

的点,有意义的是预先执行数学工件对准。该工件对准可以替换地通过对所测量的调节几何元件的对准或者通过调整工件的部分或调整整个工件来进行。

[0085] 在执行该方法时,有意义的是使用合适数量的例如10-100个透射长度,其中长度尽可能均匀地分布在0与最大长度之间。为此同样有意义的是,从工件在计算机断层造影光路中的不同旋转位置来确定相应的测量。然后通过在经过校准的值之间内插相应的长度和所属透射值来确定用于校正透射图像的特性曲线。作为内插方法可以进行不同的公知方法,如样条内插、多边形内插或者利用具有解析描述的函数的内插。

[0086] 为了在使用计算机断层造影传感器的情况下借助测量设备来执行对部件的维度测量,需要对X射线源和所采用的X射线探测器以及用于旋转所述部件的旋转轴进行各种各样的设定。这尤其是涉及X射线管的电流和加速电压,每个透射图像的曝光时间,在多个透射图像上的图像平均的数量,在X射线探测器的相邻像素上的平均(Mittelung)的数量(像素组合(Binning)),所选择的放大(工件在X射线源与X射线探测器之间的位置)以及所述工件的旋转位置的数量(在所述旋转位置中拍摄所述透射图像)。根据最大透射长度和部件的几何形状以及要达到的体素分辨率和精度,必须耗费地手动设定这些参数。在此,尤其是必须注意,在所述旋转位置中的任何一个上X射线探测器上的像素都未被过辐射或者显得太暗。此外可以通过以下方式实现最佳的结果,即探测器图像的对比度尽可能地高,该对比度也就是用于分析所使用的最亮和最暗像素之间的灰度值差。

[0087] 因此本发明所基于的任务还在于,选择对计算机断层造影(CT)所需要的参数,使得在探测器上达到诸如反差明显的尽可能质量高的成像,尤其是与待测量工件的旋转位置无关的,也就是在单独的旋转位置中。

[0088] 为了解决该任务,本发明尤其是规定,借助事先拍摄的透射图像来选择用于计算机断层造影的参数。

[0089] 在此本发明特有地规定,从事先透射图像通过数学方法或通过参数的变化来确定用于计算机断层造影要使用的参数。

[0090] 本发明特有的内容通过以下方式得出,即以固定设定的方式和/或通过操作者和/或借助至少一个透射图像确定对要变化的参数和/或变化范围的选择。

[0091] 按照要突出的方式规定,作为用于计算机断层造影的参数,选择X射线源的电流和/或加速电压,和/或在探测器上的曝光时间,和/或每个透射图像的平均的数量,和/或在探测器像素上的平均的数量(像素组合),和/或测量对象在X射线源与X射线探测器之间的旋转位置的数量,和/或对象在X射线源与X射线探测器之间的位置(放大)。

[0092] 以下建议也具有表征性的印记,即一直自动改变所述参数中的至少一个,直到输出参量采取最大值,和/或超过或未超过预定义的值,该输出参量优选是透射图像中的对比度。

[0093] 此外要突出的是,对比度的有效值对每个透射图像和/或关于所有透射图像来说相应于整个透射图像的至少一部分的最亮与最暗像素的灰度值之间的差,而最暗的探测器像素具有大于预定义最小值的灰度值,最亮的像素具有小于预定义最大值的灰度值。

[0094] 与此无关地尤其是规定,本发明的教导在利用坐标测量设备的测量时实现,也就是说计算机断层造影测量系统是坐标测量设备的部分。

[0095] 根据本发明规定,借助在不同的旋转位置中事先拍摄的少量透射图像以及在改变

一个或多个参数的情况下达到诸如图像对比度的调节参量的最佳值,以便首先将这些参数之一然后用于计算机断层造影(CT),其中所述参数例如是X射线管的电流和/或加速电压,和/或探测器上的曝光时间以及从而图像亮度,和/或图像平均的数量以及要汇总的像素的数量(像素组合),和/或旋转步的放大和数量。

[0096] 根据本发明,建议一种用于自动确定计算机断层造影的至少一个参数的方法,其中借助事先拍摄的透射图像选择用于计算机断层造影的一个或多个参数。

[0097] 本发明的优点在于,可以自动进行最佳CT参数的匹配,并因此一方面可以缩短CT的准备时间,另一方面减少操作者的错误决定。

[0098] 尤其是本发明规定,当探测器上最亮和最暗像素的灰度值之差尽可能大时,达到最大对比度,其中同时最暗像素的灰度值大于最小值,和最亮像素的灰度值小于最大值。为此要拍摄的透射图像应当在本发明的实施方式中明显少于用于本来测量的透射图像的数量。事先拍摄的旋转位置必须这样来选择,使得部件的最小和最大透射长度被包含。由此保证最亮像素不过辐射,而最暗像素不显得太暗。

[0099] 在迄今公知的测量系统中,优选在使用旋转轴情况下的计算机断层造影测量系统中,需要将诸如旋转对称工件的工件在中心放置在物理旋转轴上,以达到高精度的测量结果。此外,在计算机断层造影成像的情况下,必须保证轴(所述工件围绕该轴旋转)在所有旋转位置中都保持关于探测器中心地(mittig)布置,以能够实现重建。为了将测量对象中心地对旋转轴对准,需要花费时间的调准。

[0100] 用于将工件调准到旋转轴中心中的相应装置作为哥廷根Mahr公司的“Primar”系列的测量设备已经公知。此外在旋转时出现的工件的侧向移动尤其是在零件非常小时导致该工件不在所有旋转位置中完整地成像在探测器上,该非常小的零件优选地以断层造影或光学高度放大地被测量。但是这是可分析的测量的前提。同样,在生产线中的使用(例如与自动装配关联地)要求快速的设立时间和调准时间。

[0101] 此外,迄今公知的用于计算机断层造影测量的方法的缺点是,具有明显不同的维度的零件不能在所有旋转位置中用相同的射线能量足够反差明显地被成像。其原因是不同出现的透射长度以及与此关联的测量辐射衰减。到达探测器的辐射仅在行探测器或面探测器的全部区域(像素)都包含超过最小值和低于最大值的强度时才提供可分析的信息。为了用相同的射线能量在所有旋转位置的透射图像中获得这种所谓的可分析的对比度,不允许沿着在工件的最小和第二大维度中的透射长度的射线衰减差异超过确定的值。只要测量体积允许这一点,最大工件维度有利地大多垂直于透射方向布置。

[0102] 在两个维度中非常延长而在第三维度中非常短的工件当前只能借助利用不同射线能量的至少两个测量来测量。为此在从 0° 到 360° 的所有旋转位置中利用至少两个不同的射线能量分别执行完整的测量。接着对每个旋转位置都从单个测量的至少两个透射图像中计算透射图像。该数据融合包含每个旋转位置的分别息息相关的透射图像的匹配。这些图像当然包含过辐射的区域或太暗的区域,也就是没有可分析的对比度的区域。相应的不允许被用于分析并且通过来自该旋转位置的其它透射图像中的分别至少一个的信息来代替。为了保证所述图像的强度的绝对基准(Bezug),事先优选借助透射图像的在所有图像中同时未被过辐射又不太暗的区域的强度将所属图像匹配或标准化到相同的强度水平。这例如通过所谓的“降尺度(Downscaling)”、“升尺度(Upscaling)”或通过平均而成为可能并且与

本发明的方法相关联地同样是本发明的组成部分。

[0103] 为了共同地分析在相同工件的不同点处进行的计算机断层造影测量的测量值,对现有技术而言迄今仅公知以下方法,其中测量以相同的放大并由此几乎相同的像素或体素栅格被放置在一起(aneinandersetzen)。相应的做法在W0-A-2005/119174中得以描述。测量数据的相互排列在此在考虑测量对象、辐射源和探测器之间的相对位置的情况下进行,所述测量对象、辐射源和探测器将优选通过坐标测量设备的精确移动轴活动(verfahren),或者通过拼接(Stitching)方法。但由此没有解决对从具有不同放大的测量中确定的测量数据的共同分析。在此,尤其是必须考虑偏离的像素或体素栅格。如果也由于为此所需要的较小的放大和从而分辨率而具有较小的精度的话,对来自不同放大的测量值的共同分析是必要的,以便例如非常精确地确定高度放大的工件的小细节,但尽管如此可以确定该细节在总体积中的位置。

[0104] 在此未解决的尤其是,测量对象的部分在高度放大的断层造影测量时在至少若干少量的旋转位置中垂直于旋转轴地离开测量体积。垂直于旋转轴地未成像在探测器上的所述部分的所缺乏的透射值阻止对工件的体积数据的重建。与此不同地,从现有技术仅得出以下方法,其中工件的未成像的部分仅位于旋转轴方向上。

[0105] 因此本发明所基于的任务还在于,避免现有技术的缺点,并且原则上在避免耗费的校正方法的情况下能够以高精度测量不同尺寸的工件,尤其是避免工件对准的问题。

[0106] 本发明通过以下方式解决该任务,尤其是工件对准的问题,即测量结果,尤其是利用图像处理传感器进行的拍摄或在工件的不同旋转位置中确定的透射图像,通过组合平移的和旋转的移动被直接精确组合,而无需先前将工件与物理旋转轴对准。在此的基本思想是,使测量对象围绕虚拟的旋转轴旋转,该虚拟的旋转轴不必强制地与所述物理旋转轴重合,并且所述物理旋转轴在一个或两个轴中移动以及必要时在该物理旋转轴旋转期间探测器在至少一个轴中移动。通过工件围绕虚拟旋转轴(优选工件的对称轴)旋转实现,该工件与当前旋转位置无关地总是在接近探测器的相同位置处成像。工件相对于探测器的侧向移动通过下面两种可能性来避免。

[0107] 第一种可能性包含的是,探测器保持不动,但是测量对象围绕相对于探测器固定的旋转轴转动。这尤其是即使在所述工件不是中心地布置在所述物理旋转轴上时也是可能的。这是通过以下方式实现的,即所述工件被固定布置于上的所述物理旋转轴在两个方向上分别被定位,使得该工件围绕空间固定的虚拟旋转轴转动。在此,所述物理旋转轴在其旋转期间在围绕虚拟旋转轴的圆形轨道上移动,但是仅附加地通过两个平移移动。所述平移移动例如可以通过具有两个平移自由度的十字工作台(Kreuztisch)来进行。

[0108] 第二种可能性包含的是,结合旋转轴的至少一个平移移动来有针对性地跟踪探测器。对现在在所述物理旋转轴旋转期间在一个方向上移动的虚拟旋转轴来说,在所述一个方向上跟踪该探测器。该方向垂直于所述物理旋转轴并且垂直于探测器平面的法线。但是所述虚拟旋转轴固定在探测器平面的法线方向上,即使所述测量对象没有中心地布置在所述物理旋转轴上。这是通过以下方式实现的,即相应地在探测器平面的法线方向上跟踪所述物理旋转轴。在此,该物理旋转轴执行线性移动,以便将虚拟旋转轴和探测器平面之间在探测器平面的法线方向上的距离保持恒定。所述虚拟旋转轴和所述探测器在成像射线中的侧向移动导致所述工件的相同区域现在以改变了的成像射线角度成像。在此出现的测量偏

差可以通过数学方法以及必要时探测器围绕平行于旋转轴的方向倾斜来得到校正。相应的方法已经在DE-A-10 2008 044 437中描述。应用该校正的前提是,旋转中点偏移和放大、也就是成像射线的位置、旋转轴和探测器都相互已知。EP05750966.3描述了用于确定所需要的方法。

[0109] 为了满足以下条件,即所述工件旋转所围绕的轴,也即所述虚拟旋转轴在所有旋转位置中都关于探测器中心地布置的轴,在第一步骤中在将工件布置在所述物理旋转轴上之后借助至少一个平移移动来使所述物理旋转轴推移,使得所述虚拟旋转轴中心地与探测器对准。相应的对准(例如具有翻转测量(Umschlagsmessung))可以从现有技术中得知,例如EP05750966.3。优选地,如果使用坐标测量设备的高度精确轴、优选CNC轴,该对准可以是快速和精确的。

[0110] 为了控制由平移移动和旋转移动构成的组合而采用控制计算机。为此,该控制计算机必须已知虚拟旋转轴与物理旋转轴之间的相对位置。该位置或者从已经描述的用于对准工件的方法已知,或者通过以下方式确定,即对事先在物理旋转轴的不同旋转位置中拍摄的检查测量(优选透射图像)进行分析。为此所需的方法由DE-A-10 2008 044 437和EP 05750966.3描述。这些方法同样可以在本来测量期间、在不同旋转位置中的测量之间进行。如果在所述设备中存在其它传感器,则这些其它传感器可以事先或者在测量期间被用于确定虚拟旋转轴与物理旋转轴之间的相对位置。

[0111] 优选仅在达到围绕所述虚拟旋转轴的事先预定义的角度时才拍摄用于本来测量的透射图像。由此能够实现恒定的角度栅格以及对测量体积的常规重建。所采用的控制计算机为此识别出,何时借助由平移移动和旋转移动构成的组合来达到相应的旋转位置和横向位置。

[0112] 作为工件优选采用旋转对称的零件和/或工具和/或可断层造影的零件。

[0113] 在本发明的另一方面中,简化对具有明显不同维度的零件的测量,这些零件不能在所有旋转位置用相同的射线能量足够反差明显地成像。为此需要比现有技术中少的测量,因为不是对每个旋转位置都需要利用每一射线能量拍摄。

[0114] 根据本发明,将射线能量和/或所使用的波长范围(优选管加速电压、管电流)和/或限制波长的滤波器与分别存在的几何形状(优选透射长度)和/或所存在的材料(优选材料密度)相匹配。由此不是对每个旋转位置都存在具有所有射线能量的图像。更快速的测量是通过以下方式产生的,即优选对在每个旋转位置中利用例如两个射线能量的测量仅拍摄具有一个或另一个射线能量的图像。对于稍后的数据融合,也许需要至少对若干旋转位置利用多于一个的射线能量拍摄图像。

[0115] 借助事先拍摄的少量透射图像和/或借助在本来测量期间在先前的旋转位置的一个或多个中所拍摄的图像和/或借助事先已知的几何形状数据和/或材料数据,优选从工件的CAD模型来选择要用于每个旋转位置的射线能量。利用事先拍摄,可以在少量的旋转位置中通过改变诸如射线能量的拍摄参数优选自动确定具有适当的射线能量的数据组。对于缺乏的旋转位置对射线能量进行内插。这是可能的,因为不能预期从旋转位置到旋转位置的透射长度或材料的跳跃式改变。因此,同样还可以从本来测量流程的先前一个或先前多个的旋转位置的描述射线能量的参数中,优选通过平均或外推来确定用于当前旋转位置的参数。然后通过持续的或者只有在多个旋转位置之后才进行的对所拍摄的透射图像的图像参

数的监视,优选通过分析对最大强度的超过以及对最小强度的未超过,匹配用于分别当前旋转位置的射线能量。此外或替换地,可以将事先提供的关于几何形状的信息,以及由此在针对各个旋转位置的配准(Registrierung)之后提供的透射长度和/或工件的材料用于确定针对每个或各个旋转位置的要使用的射线能量。中间值又可以被内插。可以借助对成像的仿真,优选通过对射线衰减、散射和/或探测器灵敏度的仿真从工件数据中确定针对相应的旋转位置的所需要的射线能量,以便透射图像包含可分析的对比度。

[0116] 为了能够实现已经属于现有技术的、将利用不同射线能量拍摄的所属图像匹配或标准化到相同的强度水平,可以通过内插虚拟地产生具有以下射线能量的透射图像,其中未利用这些射线能量进行过测量。作为其基础,优选使用相同射线能量的在相邻旋转位置中确定的透射图像。此外,可以通过比较所使用的辐射参数来进行所述匹配。为此,借助相同旋转位置但不同射线能量的所选择的息息相关的图像对来确定变换方程,这些变换方程优选用于类似射线能量的图像和/或类似的在探测器上存在的强度分布的图像。用于其它射线能量或强度分布的缺乏的变换方程又被内插。

[0117] 本发明通过对不同测量的经过重建的体积数据进行合并和/或重采样,解决对计算机断层造影测量的测量值的共同分析,所述测量在不同的位置处和/或利用不同的放大和从而像素或体素栅格被拍摄。在此,各个测量可以在空间上叠加,其中加权地对重叠区域中的重建值(优选灰度值)进行平均。该加权例如根据与重叠边界的距离进行。重采样到单位三维栅格是必要的,以便可以随后将体积滤波器应用于整个组合的测量数据组。

[0118] 如果高度放大地确定工件的细节,则也许将工件的部分在若干旋转位置中不成像到探测器上。如果这些未成像的部分在侧向在垂直于物理旋转轴和/或虚拟旋转轴的方向上位于测量区域之外,则从具有较小放大的至少一个测量的测量值(优选分别相同旋转角度的透射图像)中计算出在透射图像中缺乏的区域,其中在该至少一次测量时工件的相应部分被成像在探测器上。相应透射值的计算优选地利用重采样方法和/或内插方法和/或外推方法进行。

[0119] 共同分析体积数据(尤其是灰度值)的多个数据组的前提是在空间中的精确的可分配性。因此,利用精确的坐标测量设备轴来移动用于改变工件的测量片段以及用于改变放大的组件,即承载工件的旋转轴、X射线源和探测器。由此与拼接方法不同,不必强制地存在重叠区域。

[0120] 在对体积数据进行重采样时,首先在空间中相应于不同数据组的拍摄位置来布置所述不同的数据组。为此,对每个灰度值都存在x,y和z位置。接着对所有数据组确定固定的x、y、z栅格,对该栅格内插所属的灰度值。由此产生单位可表示和可分析的数据组。通过这样才可以确定高分辨的特征之间的间距以及应用基于体积的滤波器。

[0121] 优选地,在坐标测量设备中采用所述一种或多种方法和/或在坐标测量设备中集成所述装置。

[0122] 因此,此外通过一种用于借助测量系统、优选计算机断层造影测量系统来确定诸如工件的对象的结构和/或几何形状的方法,该测量系统包括至少一个辐射源、至少一个辐射探测器和至少一个物理旋转轴,本发明的特征在于,组合来自工件的不同旋转位置的照片、优选透射图像,对于所述旋转位置:

[0123] -借助由工件与探测器之间的旋转和平移的相对移动构成的组合将所述工件围绕

不同于物理旋转轴的旋转轴旋转,以便所述工件与当前旋转位置无关地总是在接近探测器的相同位置处成像,和

[0124] -工件、辐射源和探测器采取相对于彼此的多个位置。在此尤其是规定,借助由旋转移动和平移移动构成的组合将所述工件围绕不同于物理旋转轴的旋转轴旋转,其中该物理旋转轴相对于探测器和/或辐射源不是位置固定的,其方式是,所述物理旋转轴在至少一个平移方向上被移动和/或探测器在至少一个平移方向上和/或至少一个旋转方向上被移动,或者借助由旋转移动和平移移动构成的组合将所述工件围绕不同于物理旋转轴的旋转轴旋转,其方式是,所述探测器固定而所述物理旋转轴在两个平移方向上被移动,其中第一方向几乎垂直于探测器平面,并且第二方向几乎垂直于物理旋转轴的方向和几乎垂直于探测器平面的法线。

[0125] 本发明特有的地建议,所述工件围绕相对于探测器和/或辐射源不位置固定的物理旋转轴旋转,其方式是,所述物理旋转轴在几乎垂直于探测器平面的平移方向上被移动,并且探测器在伸展于探测器平面中的、垂直于所述物理旋转轴方向的方向上移动,并且优选探测器围绕几乎平行于物理旋转轴的方向旋转,和/或在考虑关于照射偏心的工件透射和/或关于照射存在的探测器旋转的情况下校正测量结果。

[0126] 与此无关地,与所述物理旋转轴不同的旋转轴可以是工件的虚拟旋转轴,优选是对称轴。

[0127] 按照优选方式,所述物理旋转轴在诸如椭圆轨道、尤其是圆形轨道的封闭平滑曲线上,围绕虚拟旋转轴或者在优选垂直于探测器平面的直线上移动。

[0128] 借助本发明的教导,可以确定旋转对称的零件和/或工具和/或可断层造影的零件的结构和/或几何形状。

[0129] 以下思想享有独立的保护,即,在无先前将工件与物理旋转轴对准的情况下进行测量,并且在物理旋转轴的旋转移动期间进行物理旋转轴和/或探测器的平移移动,其中优选借助CNC控制的坐标轴,通过在本来测量之前和/或期间进行的对准,所述虚拟旋转轴始终保持相对于探测器来说中心地布置。

[0130] 本发明特有的地还有,控制计算机确定所述虚拟旋转轴相对于物理旋转轴在空间中的相对位置并由此控制由平移移动和旋转移动构成的组合,其方式是,

[0131] -在物理旋转轴的至少两个事先或在不同旋转位置中的本来测量之间采取的旋转位置中拍摄检查测量、优选透射图像,从这些检查测量中分别在至少一个坐标中确定所述虚拟旋转轴相对于物理旋转轴或者相对于表征物理旋转轴的物体(例如圆柱体或心轴(Dorn))的位置的位置,并且组合这些检查测量的结果,和/或

[0132] -通过其它集成在设备中的传感器装置事先或在测量期间确定所述虚拟旋转轴相对于物理旋转轴的位置。

[0133] 按照优选方式,分别仅在达到围绕虚拟旋转轴的事先预定义的角度时才拍摄透射图像。

[0134] 同样地给出以下可能性,即利用不同的射线能量针对不同的旋转位置拍摄照片,优选透射图像,其中不是对每个旋转位置都用所有所使用的射线能量进行拍摄。

[0135] 存在以下可能性,即通过改变产生辐射的源(优选X射线管)的加速电压和/或管电流和/或改变所采用的射线滤波器来产生不同的射线能量。

[0136] 还规定,根据在相应旋转位置中当前最大存在的和/或最小存在的透射长度和/或根据工件材料选择分别使用的射线能量。

[0137] 本发明特有地教导,用于至少若干旋转位置的要使用的射线能量

[0138] -从少量事先拍摄的透射图像通过以下方式来确定,即事先优选自动设定触发在探测器上可分析的对比度的参数,其中探测器的几乎所有元件都具有大于最小值和小于最大值的强度,并且对于所有其它旋转位置内插射线能量,和/或

[0139] -借助在本来测量期间在先前旋转位置中的一个或多个中拍摄的图像,优选通过形成平均值和/或外推来确定,和/或

[0140] -通过持续的或者在多个旋转位置之后才进行的对所拍摄的透射图像的图像参数的监视,优选通过分析对最大强度的超过和对最小强度的未超过来确定,和/或

[0141] -借助事先已知的几何形状数据和/或诸如密度的材料数据,优选从工件的CAD模型确定并且优选通过针对缺少的旋转位置的内插来确定,和/或

[0142] -借助对成像的仿真,优选通过对射线衰减、散射和/或探测器灵敏度的仿真从工件数据确定。

[0143] 与此相分离地可以规定,通过匹配到相同的射线强度水平来融合借助不同的射线能量产生的透射图像,其方式是,

[0144] -利用射线能量(利用这些射线能量不测量)通过在相邻旋转位置中确定的、相同射线能量的透射图像中的内插来虚拟地产生透射图像,和/或

[0145] -借助所使用的射线参数的比例来进行变换,和/或

[0146] -借助相同旋转位置但不同射线能量的所选择的息息相关的图像对来确定变换方程,这些变换方程优选用于类似射线能量的图像和/或类似的在探测器上存在的强度分布的图像,并且优选内插出用于其它射线能量或强度分布的缺少的变换方程。

[0147] 存在以下可能性,即在测量对象、辐射源和/或探测器之间的多个相对位置中、优选不同放大地拍摄的透射图像首先对于针对体积数据组的相对位置的每个组合被重建,其中这些透射图像可以部分重叠,以接着在空间中在共同栅格中被表示并且可以被分析。

[0148] 按照优选的方式,在测量对象、辐射源和/或探测器之间的多个相对位置的至少一个中,优选具有更高放大的相对位置中,工件的一部分在至少一个旋转位置中不完整地备成像在探测器上,其中工件的该部分离开垂直于虚拟旋转轴的可用测量区域,并且在所拍摄的透射图像中缺乏的测量值是从优选相同旋转位置的透射图像的测量值中计算出来的,优选通过重采样方法和/或内插方法和/或外推方法。

[0149] 在此,可以在考虑测量对象、辐射源和/或探测器的位置的情况下在空间中在共同的栅格中进行表示和分析,其中尤其是借助从具有最高放大的测量中所产生的体积数据来确定空间中的共同栅格。

[0150] 给出以下可能性,即优选在使用内插方法的情况下从原始测量数据通过合并和/或重采样方法确定用于所述共同栅格的测量值,优选灰度值,其中在重叠区域中优选对所述测量值进行加权的平均,其中优选根据至重叠边界的距离来进行所述加权。

[0151] 按照优选的方式,通过在测量对象、辐射源和/或探测器之间的不同相对位置来产生大于通过固定探测器覆盖的测量区域的测量区域,其方式是,优选在至少一个几乎垂直于成像轴的方向上进行在测量对象和至少探测器之间的相对移动。

[0152] 一种用于借助测量系统、优选断层造影测量系统确定诸如工件的对象的结构和/或几何形状的装置,该测量系统由至少一个辐射源、至少一个辐射探测器和至少一个旋转轴组成,其特征在于,借助由工件与探测器之间的旋转和平移的相对移动构成的组合可以使所述工件围绕所产生的不同于物理旋转轴的旋转轴旋转,以便所述工件与当前旋转位置无关地总是在接近探测器的相同位置处成像。

[0153] 在此,所述物理旋转轴可以在至少一个平移方向上是可移动的,和/或测量对象在至少一个平移方向上可移动地布置在所述物理旋转轴上,和/或探测器在至少一个平移和或旋转轴上可被移动。

[0154] 还存在以下可能性,即所述物理旋转轴可以在两个平移方向上被移动,其中第一方向几乎垂直于探测器平面,第二方向几乎垂直于物理旋转轴的方向并且几乎垂直于探测器平面的法线。

[0155] 此外本发明规定,所述物理旋转轴可以几乎垂直于探测器平面地被移动,并且探测器可以在至少一个在探测器平面中伸展的、几乎垂直于物理旋转轴方向的方向上被移动,并且优选所述探测器可以围绕几乎平行于旋转轴的轴被旋转。

附图说明

[0156] 本发明的其它细节、优点和特征不仅从权利要求、要从权利要求中得出的特征单独和/或组合地、而且从下面对要从附图中得出的实施例的描述中产生。

[0157] 图1以原理图示出CT测量装置,

[0158] 图2示出工件在两个不同位置中的测量布置,

[0159] 图3示出根据图2的CT探测器的原理图,

[0160] 图4以原理图示出像素或像素组的特性曲线,

[0161] 图5示出所测量的辐射的根据穿透工件的地点的强度变化过程,

[0162] 图6示出相应于图5的工件的地点坐标,

[0163] 图7示出具有根据图6的工件的CT测量布置的原理图,

[0164] 图8示出具有工件的CT测量不置的另一原理图,尤其是为了考虑在测量对象旋转以及X射线管的焦斑转移时的摆动移动,

[0165] 图9示出坐标测量设备的另一实施方式,

[0166] 图10示出坐标测量设备的另一实施方式,

[0167] 图11以原理图示出计算机断层造影传感器,

[0168] 图12示出根据支持点处的被透射的长度的强度分布的原理性变化过程,

[0169] 图13示出工件在两个不同位置中的测量布置,

[0170] 图14示出可围绕虚拟旋转轴旋转的对象的布置的第一实施方式,

[0171] 图15示出可围绕虚拟旋转轴旋转的对象的布置的第二实施方式,

[0172] 图16以工件的全部或所述工件的细节示出工件的用于测量该工件的第一装置,以及

[0173] 图17示出用于在以相同放大的两个要相继拍摄的测量中完整地测量工件的装置。

具体实施方式

[0174] 在图1中纯示例性地和原理性地示出应当是坐标测量设备一部分的CT测量装置,以测量工件4。该装置包括X射线源1和具有像素的X射线探测器5,待测量的工件或部件4布置在X射线源1与X射线探测器5之间。在此,离开X射线源1的X射线辐射2在不同的路径上穿透部件4,其中在部件4的界面处(以及在部件4内)可能形成散射辐射或其它伪影,所述其它伪影根据辐射长度的在辐射方向上存在的几何形状而不同地出现。

[0175] 为了有效地校正正在CT测量时出现的伪影,现在规定为了校正所采用的CT探测器(即X射线探测器5)的各个像素或像素组的测量值而使用不同的特性曲线。在此,为了确定各个特性曲线而在计算机断层造影成像时确定各个像素或像素组的不同测量技术特性和/或伪影。在特性曲线中通过以下方式考虑由伪影造成的影响,即在CT测量期间在用于拍摄不同投影数据的不同旋转位置中确定分配给各个像素或像素组的透射长度和/或工件4的几何形状。

[0176] 借助几乎完整存在的投影数据或借助CAD模型可以在不同的旋转位置中确定透射长度和/或工件4的几何形状。

[0177] 为了校正伪影,从事先确定的透射长度和/或在相应的透射方向上存在的特性几何形状推导出一个或多个然后在特性曲线中考虑的参数。

[0178] 尤其是通过以下方式从所述特性几何形状推导出参数,即从该几何形状和/或材料顺序针对每种材料类型和布置检测透射线段,并由此推断出诸如散射辐射伪影和射线硬化伪影的伪影的构成。

[0179] 可替换地,可以通过以下方式从特性几何形状推导出所述参数,即从该几何形状和/或材料顺序例如借助仿真确定各个材料片段的加权的平均透射长度或者以其它方式解析形成的对比度比例,并由此也推断出诸如散射辐射伪影和射线硬化伪影的伪影的构成。在此应当还根据工件(即部件4)的旋转位置和/或位置确定和使用不同的校正特性曲线。

[0180] 通过对工件的对准在工件4的相应旋转位置和位置中为X射线探测器5的各个探测器像素和/或像素组选择并分配相应的特性曲线。

[0181] 在图2中纯原理性地示出工件203,该工件被从CT管(X射线源)200辐射的X射线辐射202穿透,其中X射线202射在探测器205上。在工件203的第一位置中,穿透工件203的区域213的X射线被探测器像素(X,Y)207探测,而在工件204的第二偏离的位置中相同的区域213被穿透,但被像素(X+N,Y+M)208探测。探测器像素(X,Y)207探测穿透工件203,204的另一个区域的X射线辐射,该另一个区域尤其是在被透射的长度和/或被透射的材料顺序方面不同。因此与被透射的长度和/或材料顺序有关的伪影,如射线硬化伪影或散射辐射伪影,在工件的不同旋转位置中表现得不同。为了考虑该依赖性,根据本发明此外规定,在所述工件的不同旋转位置或位置中也确定和考虑针对不同像素或像素组的不同特性曲线,这些特性曲线描述被透射的部件长度和/或材料顺序与所探测到的辐射强度之间的关系。

[0182] 从而图3示出CT探测器205和单个像素207或像素组209。根据本发明,对该单个像素207或像素组208可以使用不同的特性曲线,这些特性曲线描述被透射的部件长度L或材料顺序与所探测到的辐射强度I之间的关系。

[0183] 在图4中示例性地示出三个不同的特性曲线210,211和212。这些特性曲线可能由于各个像素或像素组的物理特性和/或工件的被透射的路径长度或在工件内的材料顺序而例如在起始强度 $I_0/1$ 或 $I_0/2$ 而也在这些特性曲线的增长特性或线性度方面有所不同。

[0184] 借助图5至图7应当示例性地解释如何确定散射辐射的强度以便然后将该强度返回用于校正。

[0185] 在图5中示例性地根据工件310的单个透射图像的横截面的地点x再现了强度I的变化过程,这在图6和图7中更详细示出。根据图7,工件310相应于该绘制的图示布置在X射线源200与探测器205之间并且被X射线源200的辐射200穿透。在地点a1与b2之间,工件310在透射方向上具有厚度d1。在图6中根据地点x再次示出工件310的厚度。相应于图5和图6中的图示,工件310的边缘位于地点a1与a2之间或地点b1与b2之间的区域中。在两个边缘地点之间存在比在远远在工件310之外的区域304和305中明显更低的强度。在工件310之外但是在边缘地点附近存在具有提高的强度的区域300和301,所述强度例如可以通过散射辐射被触发。最大值302和303可以被用于与来自区域304和305的未衰减的X射线的强度相比确定散射辐射的强度。可以关于散射辐射幅度来校正、例如减小布置在地点a1与b2之间的探测器像素。在此,该校正可以均匀地或者与存在的透射长度或针对每种材料的透射线段有关地应用于所有像素。

[0186] 用于考虑在测量对象旋转时或在X射线管(尤其是X射线管的焦斑)与X射线探测器之间转移时的摆动移动的多传感器坐标测量设备纯原理性地从图8得出,利用该多传感器坐标测量设备可以执行对工件28的完整维度测量,所述工件28例如由芯30和围绕该芯的包封32组成。芯30和包封32的材料在它们的密度方面不同。从而芯30例如可以由金属组成,而包封32可以由塑料或其它较轻的材料组成。

[0187] 该坐标测量设备与具有控制、硬件和软件以及用于存储测量点的存储单元的分析单元34连接。此外还存在用于操作者的输入和输出单元。

[0188] 工件28布置在可旋转的工作台38上。在支架40上布置X射线源42以及示例性地触觉传感器44以及激光线性传感器46,它们沿着支架40上的活动轴可推移地布置(双箭头48,50,52)。该支架本身可以沿着垂直于活动轴48,50,52的轴54被移动。

[0189] 在工件28的关于X射线源42相对的侧上布置X射线探测器56。在此,探测器56可以根据测量任务垂直于活动轴48,50,52,54以及必要时平行于支架40的活动轴54地可被移动。

[0190] 在该实施例中,工件28被由X射线源32发射的X射线辐射透射。然后射透工件28的辐射被探测器56检测。为了将在工件28的不同旋转位置中的用于重建的透射图像在空间中明确地相互分配,并且因此排除由于在工件28旋转时或在X射线源或X射线管42(尤其是其焦斑)与X射线探测器56之间转移时可能的摆动移动造成的测量不精确性,或将该测量不精确性在以下范围内最小化,即确保期望的测量精度,考虑事先信息,借助所述事先信息来校正本来测量过程时的透射图像。为此首先拍摄工件28或该工件的部分的一个或多个事先透射图像。为了将在事先拍摄时的漂移现象最小化,仅在少量的不同的位置中拍摄若干少量的透射图像。通过在事先拍摄的透射图像或其部分与在测量期间拍摄的透射图像或其部分进行比较,例如可以借助关联方法识别和校正位移或定标偏差。这例如可以通过重采样方法或X射线源42相对于X射线探测器56和/或工件28的定位来进行。

[0191] 借助内插方法从该工件28的相邻旋转位置的事先拍摄的透射图像来校正不存在事先透射图像所针对的用于测量所使用的透射图像。尤其是规定,与用于测量工件28典型需要的100至1600个透射图像相比拍摄20至70个事先透射图像。

[0192] 在图9中纯原理性地示出用于必要时组合地采用X射线传感器装置和光学和/或触觉传感器装置的坐标测量设备。

[0193] 在平行于该坐标测量设备的X轴的轴118上布置旋转工作台110。测量对象103位于该旋转工作台上并且因此可以围绕旋转轴118转动以及在X方向上穿过轴118被推移(双箭头)。在平行于Y轴的滑板104上布置两个平行于Z轴的轴105,106。在机械轴105上具有用于X射线辐射的传感器107以及图像处理传感器108。在机械轴106上附加地具有触觉传感器109。相对于X射线传感器107布置X射线源110,该X射线源可以可选地在Y方向上可移动或固定安置。相对于图像处理传感器装置108具有透射光源111。沿着坐标测量设备的X、Y或Z轴的机械轴或滑板被如此设计,使得安装在该坐标测量设备中或在该坐标测量设备上的传感器可以分别覆盖旋转工作台102上的整个测量区域。

[0194] 通过在多传感器坐标测量设备中集成计算机断层造影(CT),实现了完全新的可能性。利用断层造影的快速、无损坏的完整测量与利用触觉或光学传感器装置的高精度的功能式测量联合。在此可以规定,X射线传感器装置(传感器,射线源)可相应于第二传感器装置(例如图像处理传感器,透射光射线源或入射光射线源或必要时具有所分配的图像处理传感器的触觉传感器)地定位在坐标测量设备中,也就是针对第二传感器装置等价地布置X射线传感器装置。在此,具有至少触觉传感器装置和/或光学传感器装置的X射线传感器装置可以布置在共同的机械轴上或布置在单独的机械轴上,该单独的机械轴按照与用于触觉和/或光学传感器装置的机械轴类似的方式工作。要从图9的设计中得出的坐标测量设备作为多传感器坐标测量设备是不需要的,用于实现本发明教导的所有部分。更确切地说只应该确保能够执行计算机断层造影。

[0195] 在图10中纯原理性地示出多传感器坐标测量设备130的另一实施方式。传感器可以可选地装配或拆卸,或者即使在运行期间也可以自动通过相应的传感器转换系统换入和换出。当然,如果所选择的相应数量的传感器被允许固定装配在该设备上以便以该配置测量对象,则不离开本发明。

[0196] 充分已知并且再次在10中再现的坐标测量设备130的原理包括例如由花岗石组成的、具有测量工作台114的底座112,待测量对象116定位在该测量工作台114上,以测量该对象的表面特性。

[0197] 门架119可以在Y方向上沿着底座112被移动。为此柱子或架子120,122被滑行地支承在底座112上。横梁124从柱子120,122出发,滑块可沿着该横梁124活动,该滑块在其侧接纳可在Z方向上被移动的套筒或柱子126。传感器130从套筒126或必要时与套筒126连接的转换接口128出发,该传感器可以构成为触觉传感器,该触觉传感器在套筒126包含图像处理传感器时以触觉-光学的方式测量。但是就这点而言参照充分公知的技术,正如参照其它所采用的传感器那样,如激光距离传感器、白光干涉仪、图像处理传感器、X射线传感器装置或彩色焦点传感器或共焦的扫描测量头,而无需由此对本发明的教导进行限制。相应于测量任务来选择和使用所述一个或多个传感器,用于针对相应的测量任务最佳地配置坐标测量设备130。同时解决了在常见坐标测量设备中出现的问题。

[0198] 为了能够使用具有合适传感器的坐标测量设备130,该坐标测量设备可以具有传感器转换器。由此多个传感器可以分别可选地通过转换接口被配备坐标测量设备130并且手动地或者通过从停放站自动取用来转换。

[0199] 图11示出计算机断层造影传感器的原理图。离开X射线源200的辐射202在此穿透工件203并且此后射到探测器205。为了建立根据本发明的在由探测器205确定的衰减与工件或部件203的对应被透射的长度之间的关系,例如用光学或触觉传感器测量射线320的冲破点324,325。在旋转位置204改变时,例如可以在使用射线321和对冲破点326,327的测量的情况下或者也在使用射线322和穿过测量对象的冲破点328,329的情况下确定校正特性曲线的其它支持值,也就是其它透射长度。

[0200] 一种替换的、用于确定诸如326和327的冲破点之间的透射长度的可能性在于,通过触觉和/或光学测量的元件(如平面或圆柱体)和/或手动元件的数学逻辑连接来确定冲破点的坐标。例如,可以通过触觉和/或光学测量的平面330与沿着射线321的手直线(Handgeraden)相交来确定冲破点327的坐标。

[0201] 出现在这些透射长度之间的长度可以通过内插来确定。同样可以通过外推确定较大或较小的透射长度,并且使与探测器的衰减形成函数关系。

[0202] 为此图12示出被透射的长度L与由探测器确定的强度I之间的关系。基于解析的或者以查找表(LuT)形式存在的特性曲线350,首先确定离散测量的点351至354的校正值作为与现有特性曲线的差长度。对于位于这些支持点之间的强度,例如通过点355表征的强度,通过内插点355确定校正357。同样适用于位于支持点之外的强度,例如在使用外推方法的情况下穿过点356的强度。分配给各个强度的校正值以解析函数或值表LuT的形式被存放并应用。

[0203] 借助与图12相同的图13应该解释用于执行计算机断层造影的本发明教导的其它重要方面。从而在图13中纯原理性地示出对象或工件203,该对象或工件被从CT管200发射的X射线辐射202穿透,其中X射线辐射202射到探测器205上。在工件203的第一事先设定的旋转位置中,由探测器205的探测器像素207接收的辐射穿透测量对象203、区域213,并且在探测器像素207上产生相应的特性灰度值。在其它旋转位置中,例如在旋转位置204中,出现针对诸如探测器像素207或208的不同探测器像素的其它特性灰度值。如果在不同的旋转位置中遮盖从0至90度的至少一个区域,则最短和最长的透射长度在探测器205上的成像中至少被包含一次。由此计算出最亮和最暗的像素并由此计算出对比度值或用于统计分析的像素灰度值直方图。如果最亮的像素大于预先给定的最大值,也就是图像例如部分地被过控制,则例如自动减小诸如CT管200的电流和/或积分时间的参数,以然后重新事先拍摄事先透射图像。

[0204] 在出现在预先给定的灰度值之下的像素时,例如自动提高参数、图像平均的数量,由此提高信号噪声比,也就是改善信号噪声比,以然后重新拍摄事先透射图像。

[0205] 如果例如在所分析的图像区域中存在非常大数量的非常暗的像素,则自动提高CT管200的加速电压,并且此后重新拍摄事先图像。相反的行动在非常高数量的非常亮的像素时被执行。

[0206] 图14示出X射线源200和从X射线源200出发的测量辐射202、X射线探测器205和在第一测量位置中的布置在所述X射线源200与X射线探测器205之间的工件310,该工件与物理旋转轴400固定连接。第一测量位置通过以下方式采取,即通过物理旋转轴400在箭头403的方向上(在图中是竖直的)的移动,使大致对应于工件310的对称轴的虚拟旋转轴405大致中心地与探测器205对准,也就是与中心的射线轴404大致相交。通过物理旋转轴400在箭头

401的方向上的旋转(在图中围绕与绘图平面垂直相交的轴),在多个、典型为100-1600个步骤中拍摄工件310的直到360°的透射图像。为了在所有旋转位置中将工件完整地成像在探测器上,承载工件310的旋转轴400在箭头402(在图中水平)和403的方向上同时移动,使得虚拟旋转轴405在所有旋转位置中采取与探测器205相同的位置。对于90°位置,示例性地示出物理旋转轴406和工件407的位置。物理旋转轴在箭头402和403的方向上的移动通过是所述装置被置于其中的坐标测量设备的部分的十字工作台在圆形轨道412上进行。

[0207] 在图15中,物理旋转轴400现在仅还在箭头402的方向上活动,而同时探测器205在箭头403的方向上移动,并且优选附加地围绕平行于物理旋转轴400的轴倾斜。在此,虚拟旋转轴405又与中心的射线轴404相交。对于90°位置,示例性地示出旋转轴409、工件410和探测器408的改变了的位置。虚拟旋转轴现在位于物理旋转轴400的起始位置中,并且又与现在随着探测器205游走的、也就是旋转的中心射线轴411相交。在物理旋转轴400的旋转的其它变化过程中,虚拟旋转轴405在箭头403的方向上移动。

[0208] 图16在用于检测完整几何形状的第一位置中以及在用于高分辨率地确定高度放大下的细节213的第二位置204中示出工件203。在此,在第一位置中,工件203围绕虚拟旋转轴405a(在图中围绕与绘图平面垂直相交的轴)旋转,并且所述工件在所有旋转位置中都完整地成像在探测器205上。在第二位置中,工件204围绕虚拟旋转轴405b(在图中围绕与绘图平面垂直相交的轴)旋转。在该位置中,该零件在至少若干旋转位置中离开通过X射线源200形成的、在绘图平面中或者在至少一个垂直地被虚拟旋转轴405b冲破的平面中的射线区域202。所述工件由此不是在所有旋转位置中都完整地成像在探测器205上。然后探测器205上的由此缺乏的透射值通过重采样方法在内插方法和/或外推方法的帮助下从在工件203的第一位置中的测量来确定。接着通过以下方式概括性地分析两个计算机断层造影测量的结果,即借助例如重采样方法在内插方法的帮助下将重建的灰度值换算到共同的三维栅格上。

[0209] 图17示出与图16相同的行事方式,但是其中现在将相继在位置203和204中测量的工件203的、在类似相同的放大下拍摄的部分重叠的区域联合。由此可以完整地检测工件203,虽然该工件大于通过探测器205形成的测量区域。虚拟旋转轴405在此或者围绕与绘图平面垂直相交的轴或者围绕箭头405(在图中是竖直的)旋转。

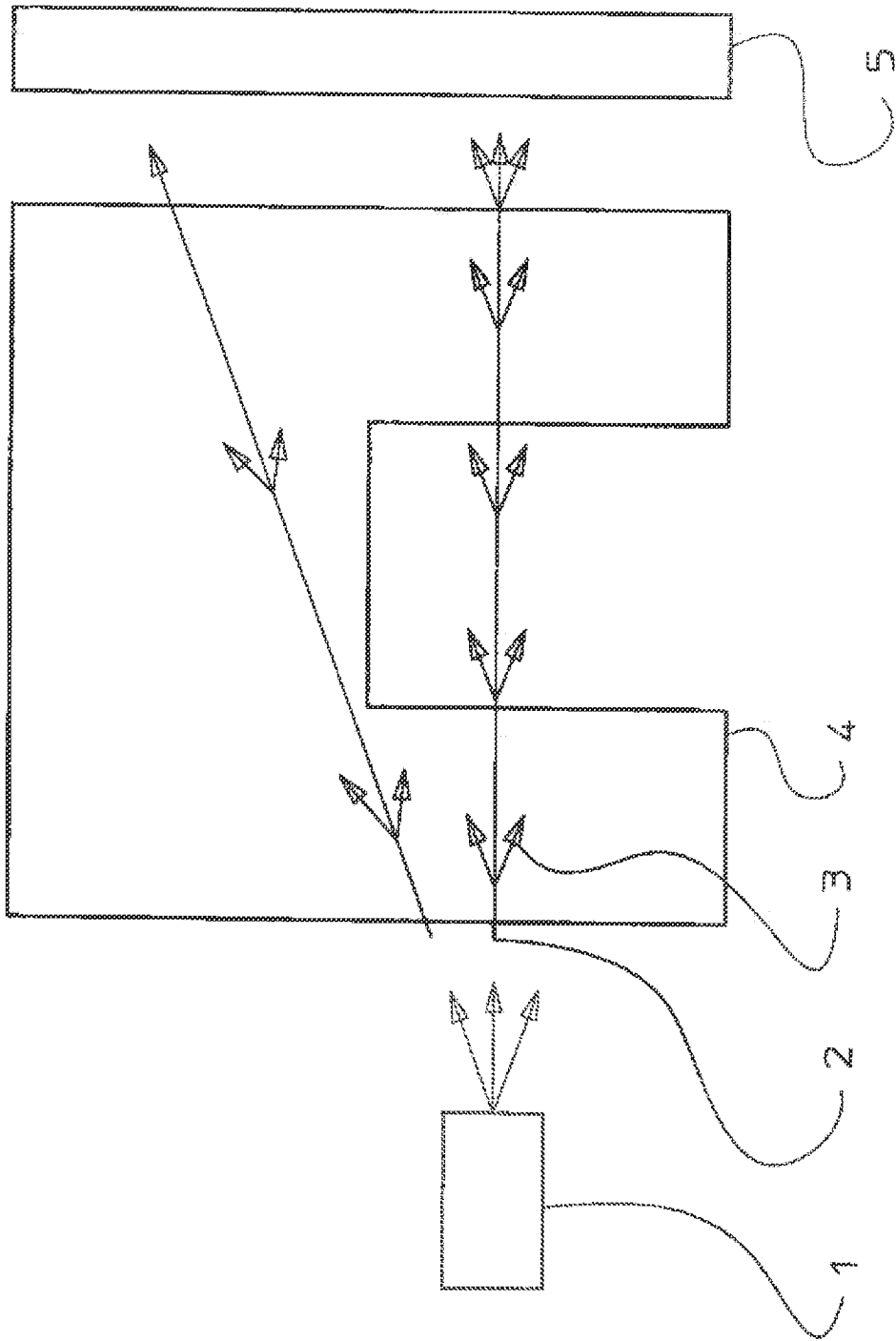


图 1

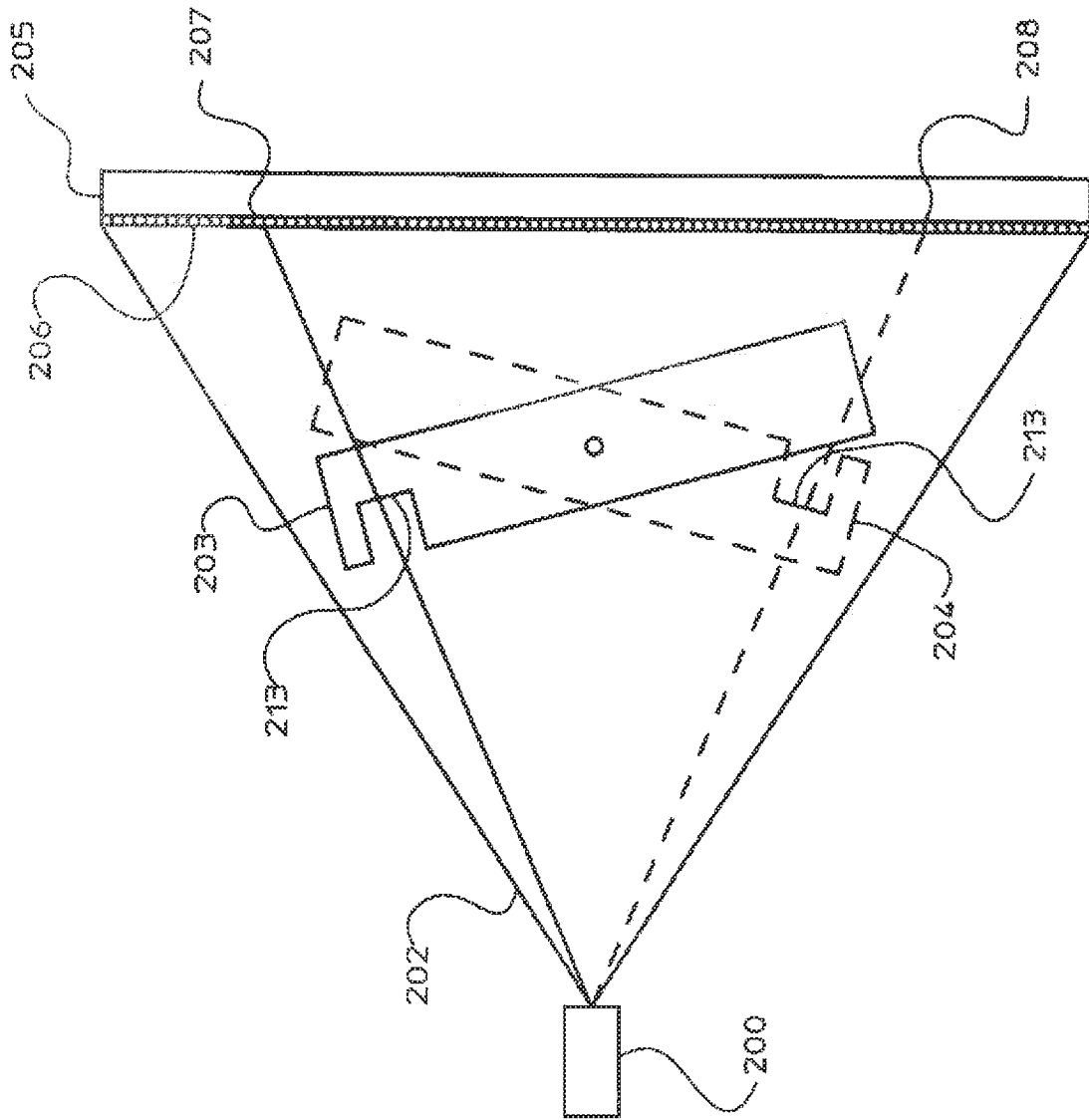


图 2

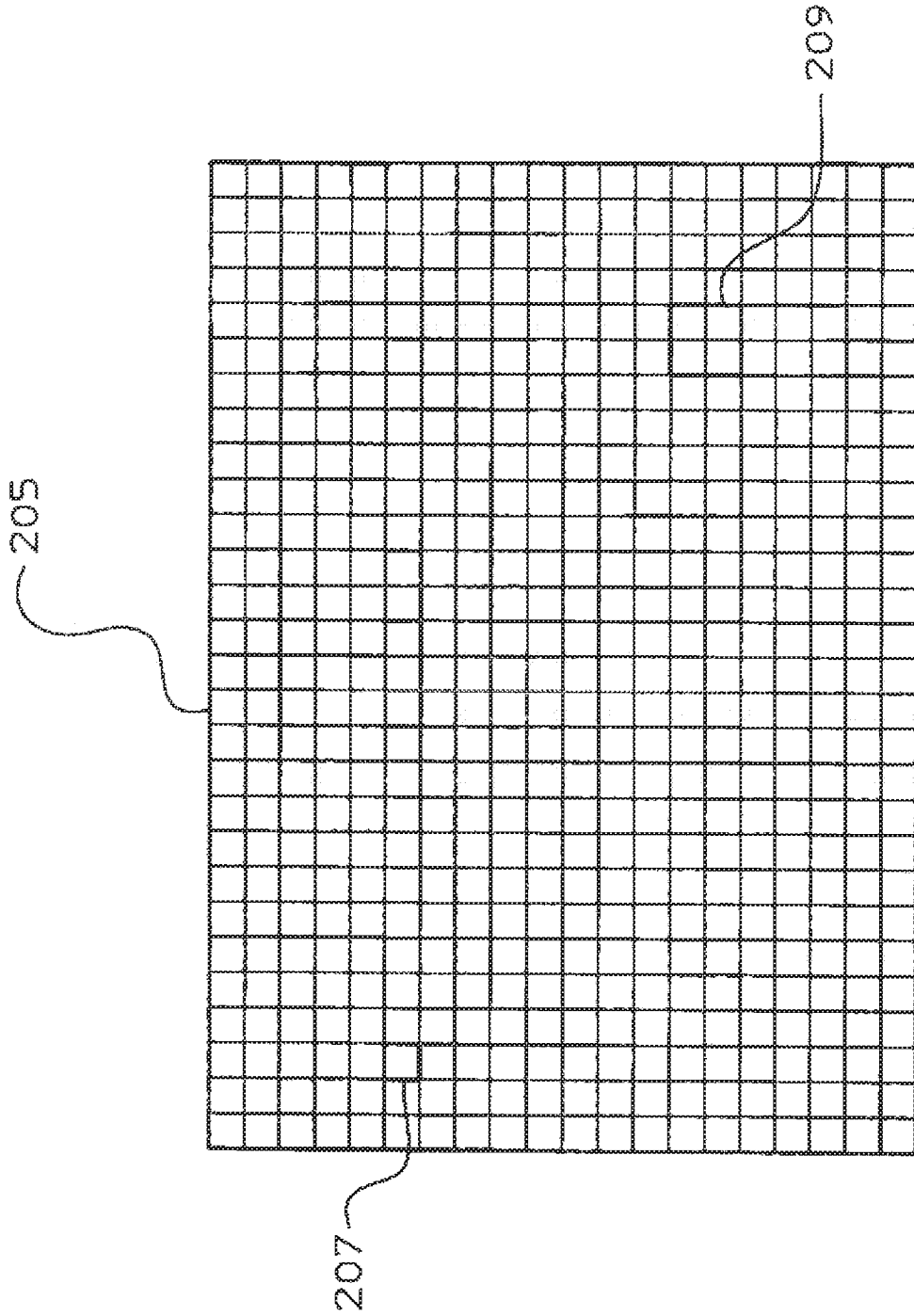


图 3

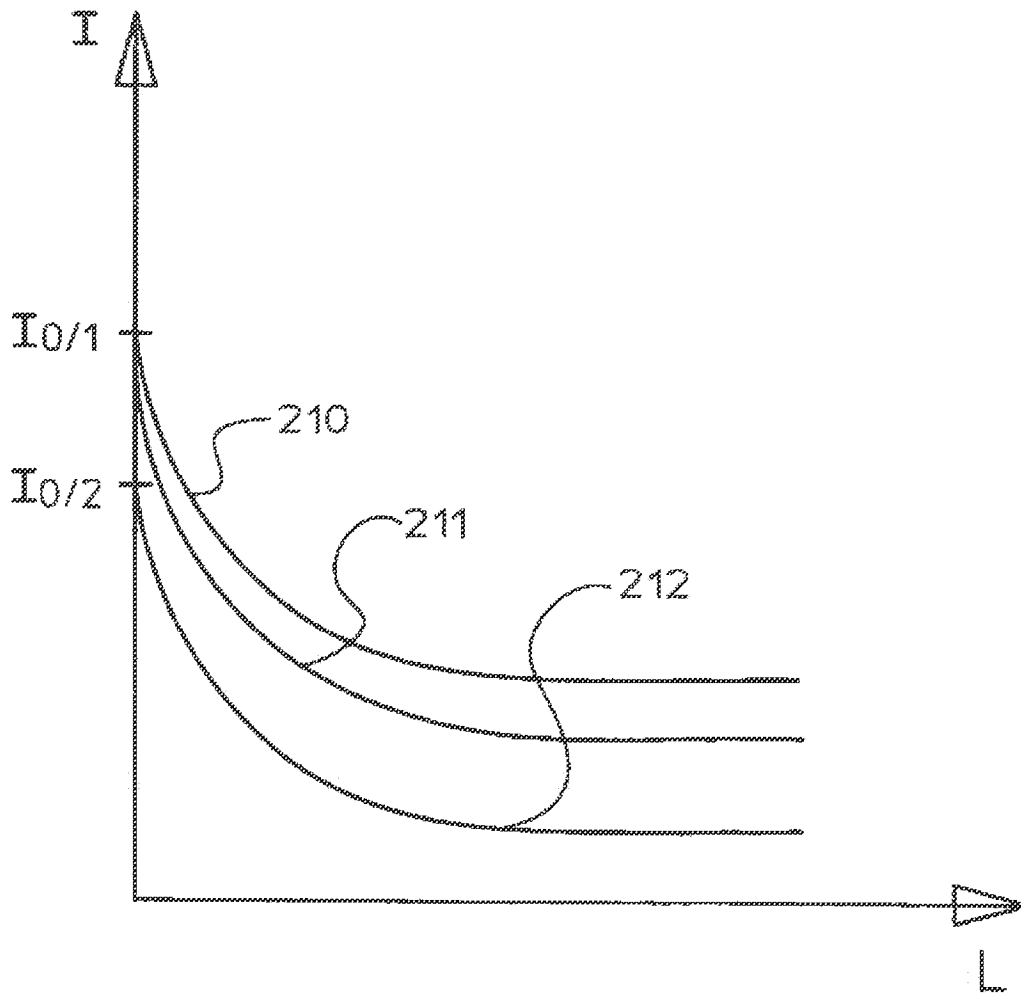


图 4

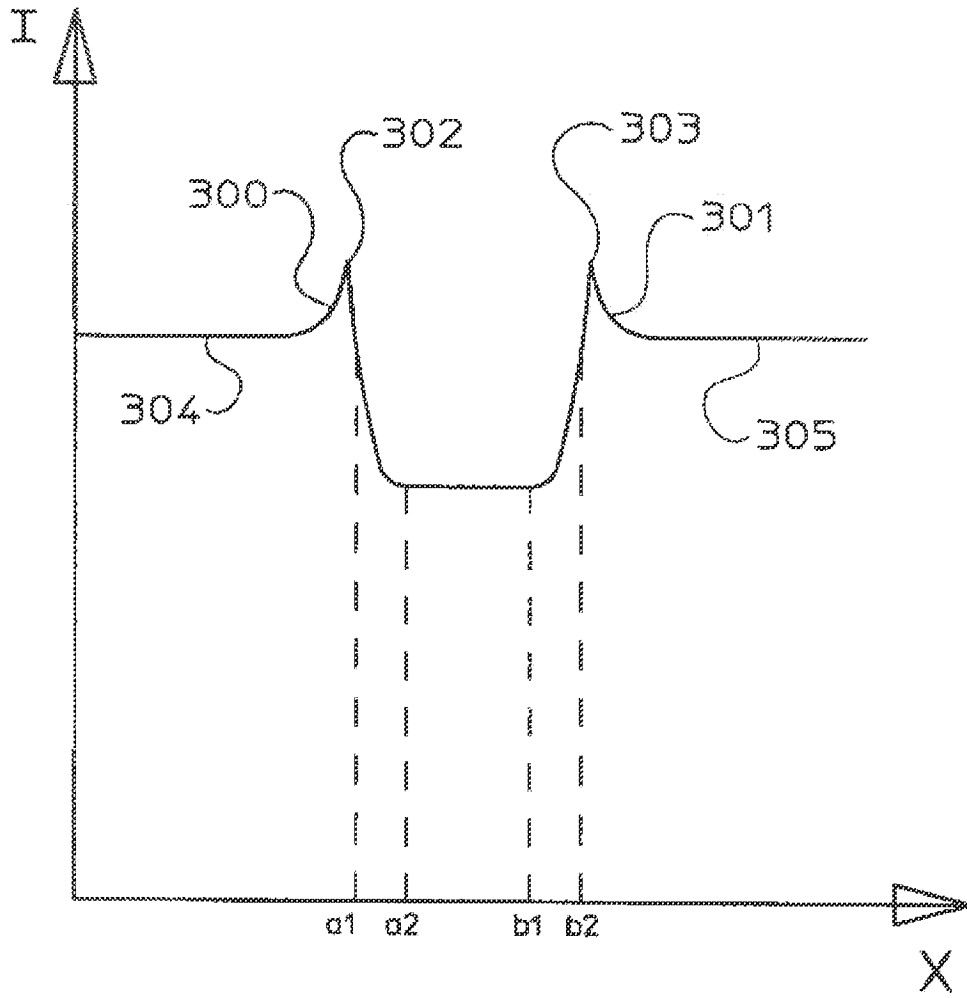


图 5

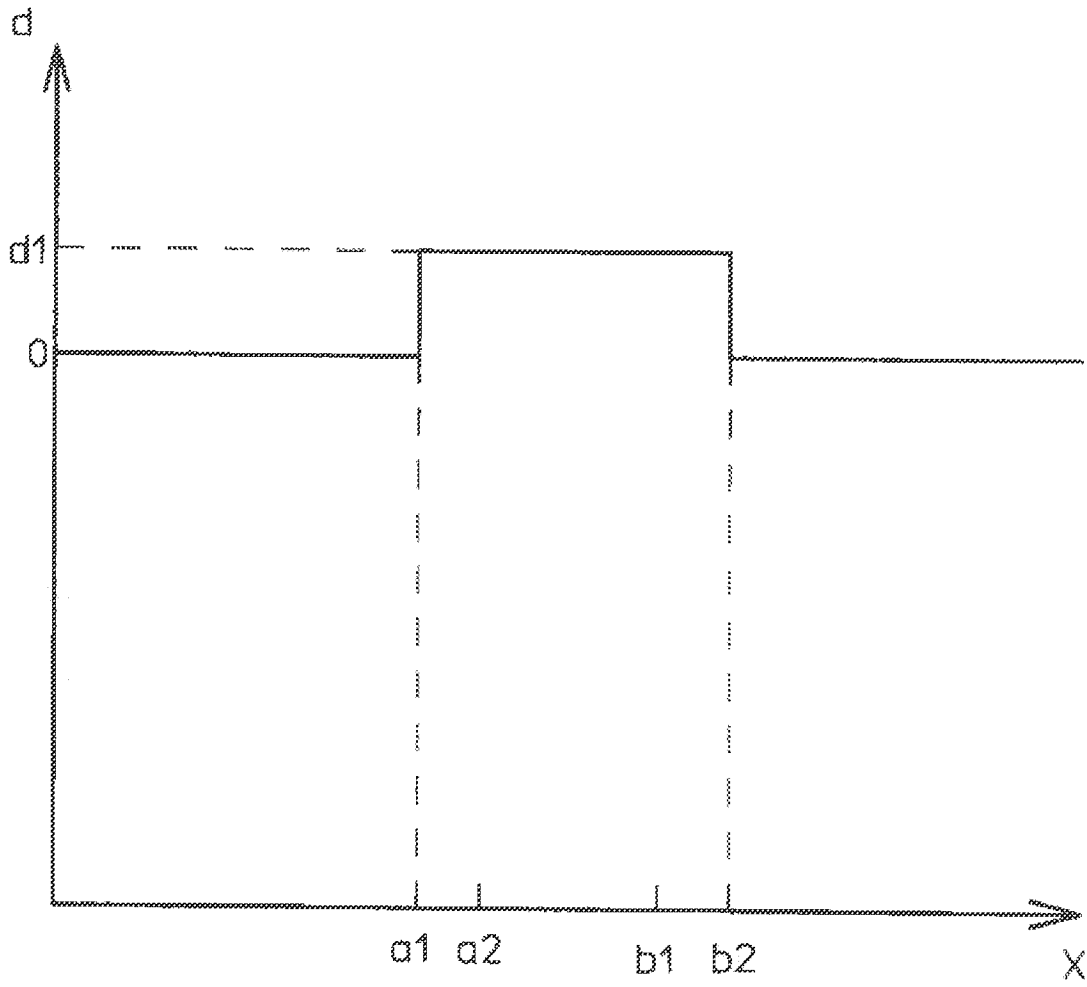


图 6

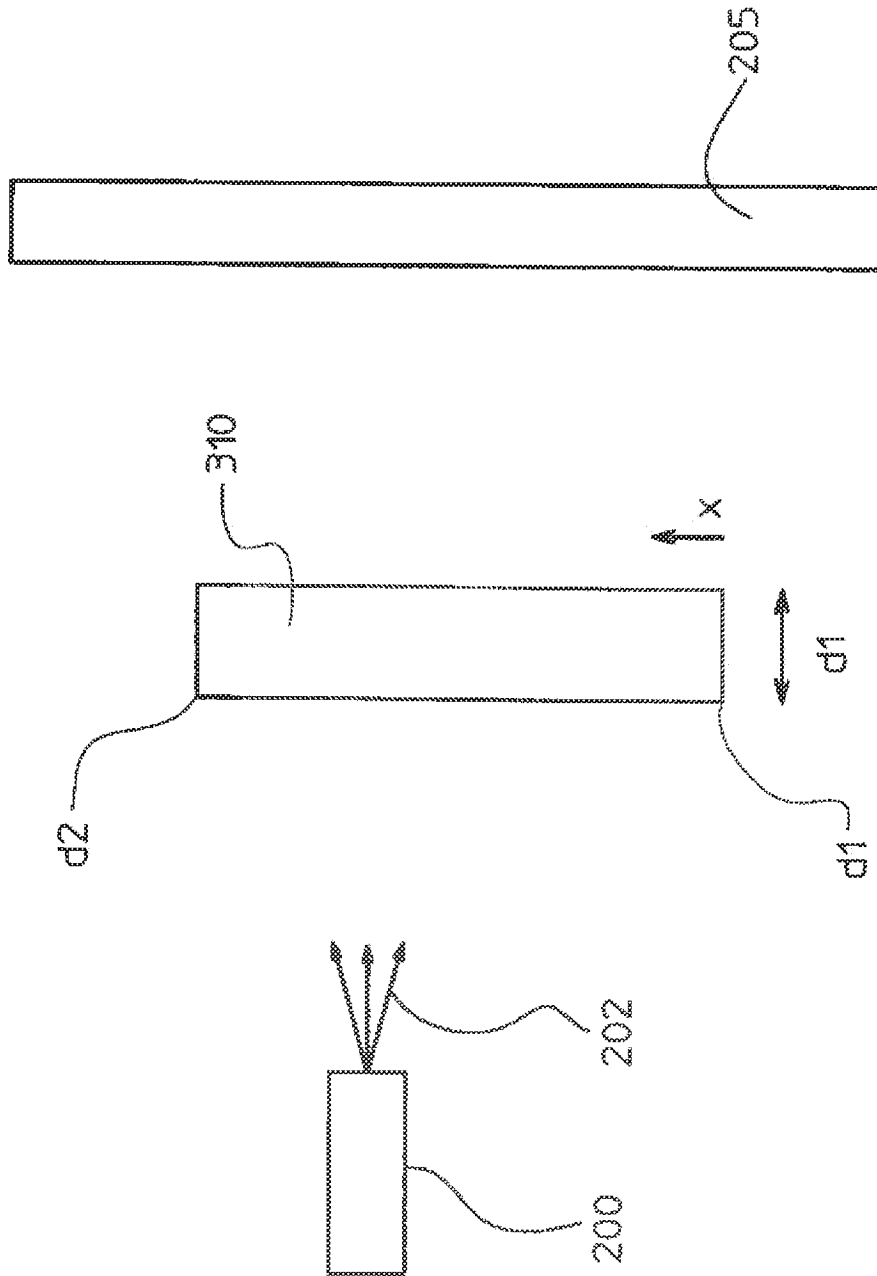


图 7

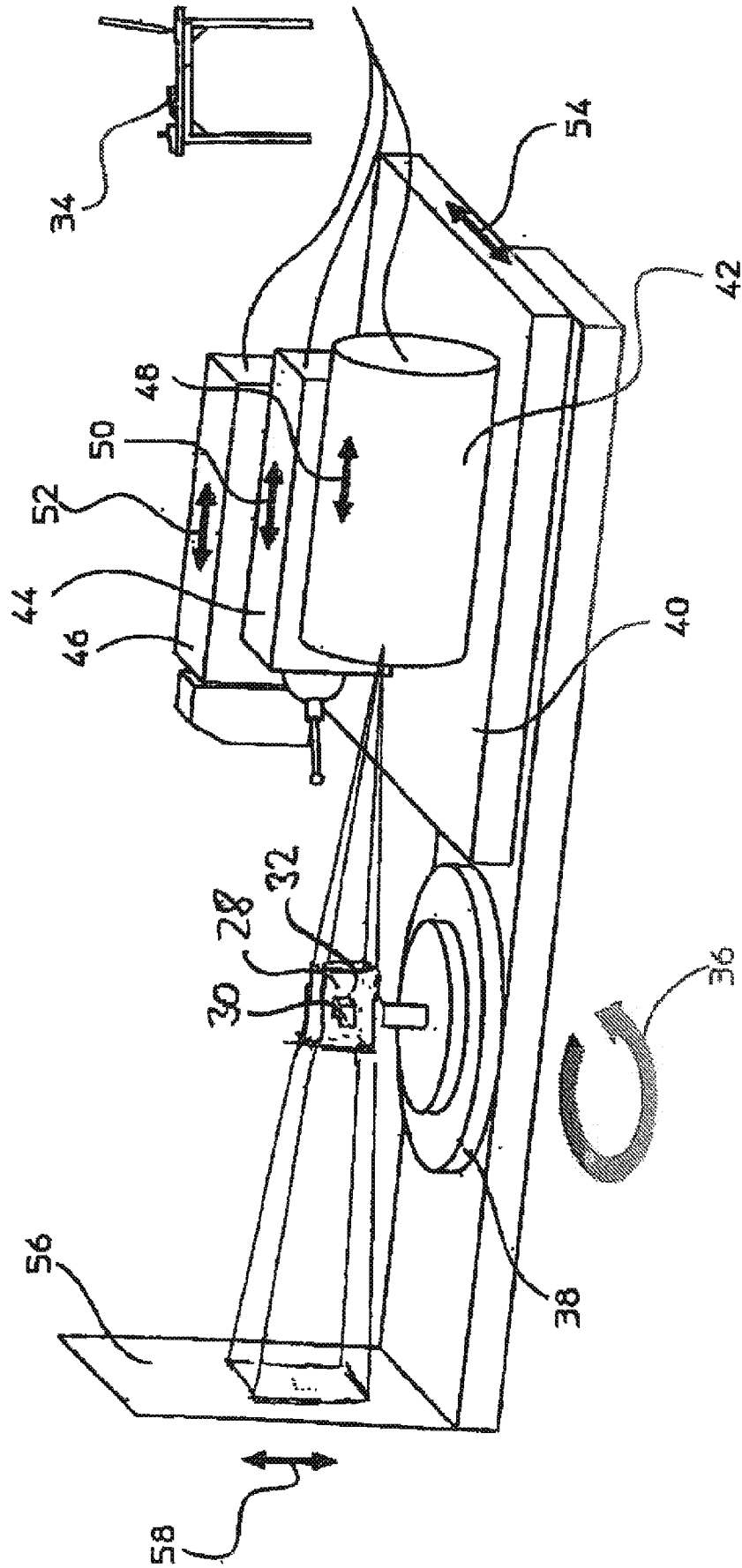


图 8

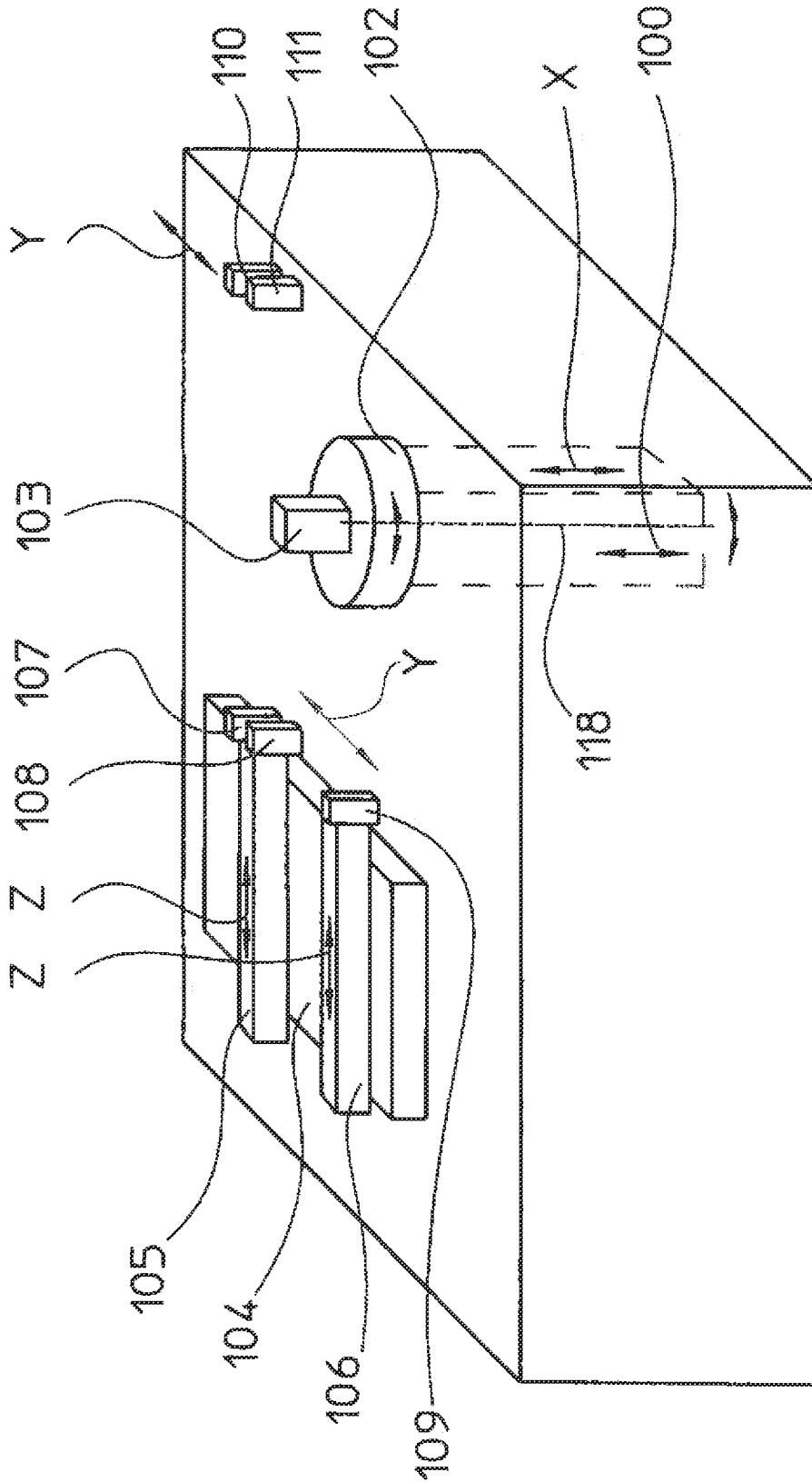


图 9

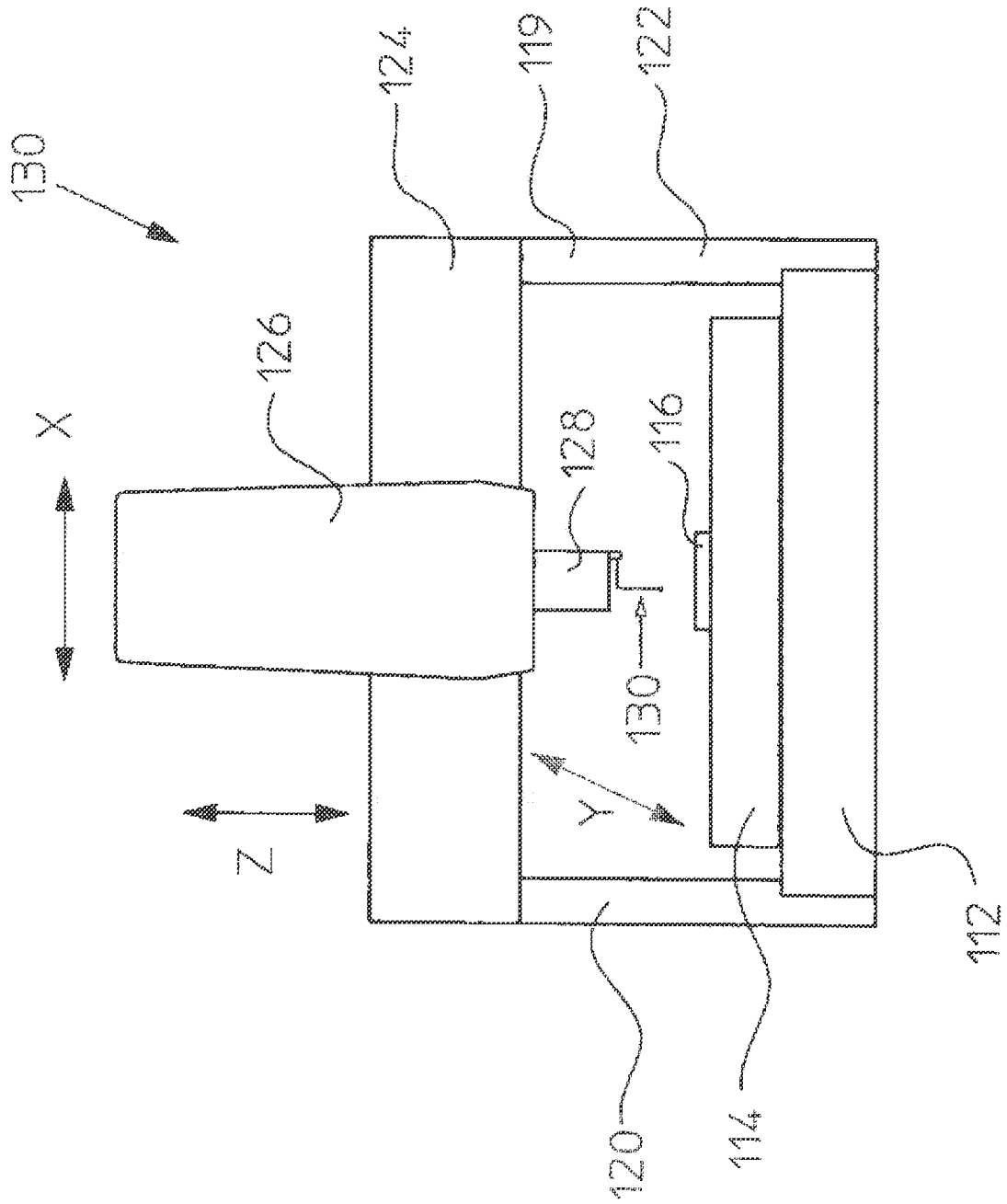


图 10

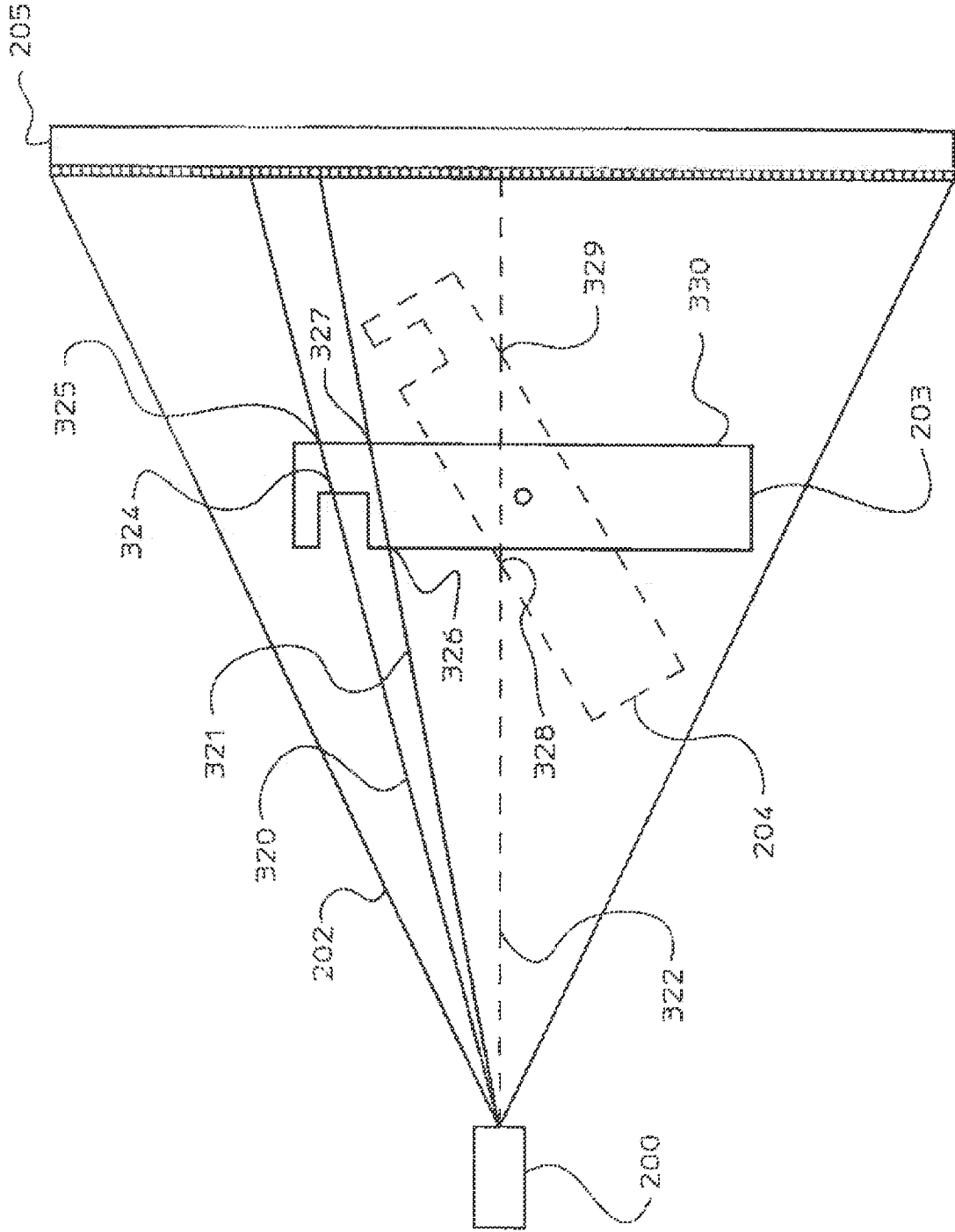


图 11

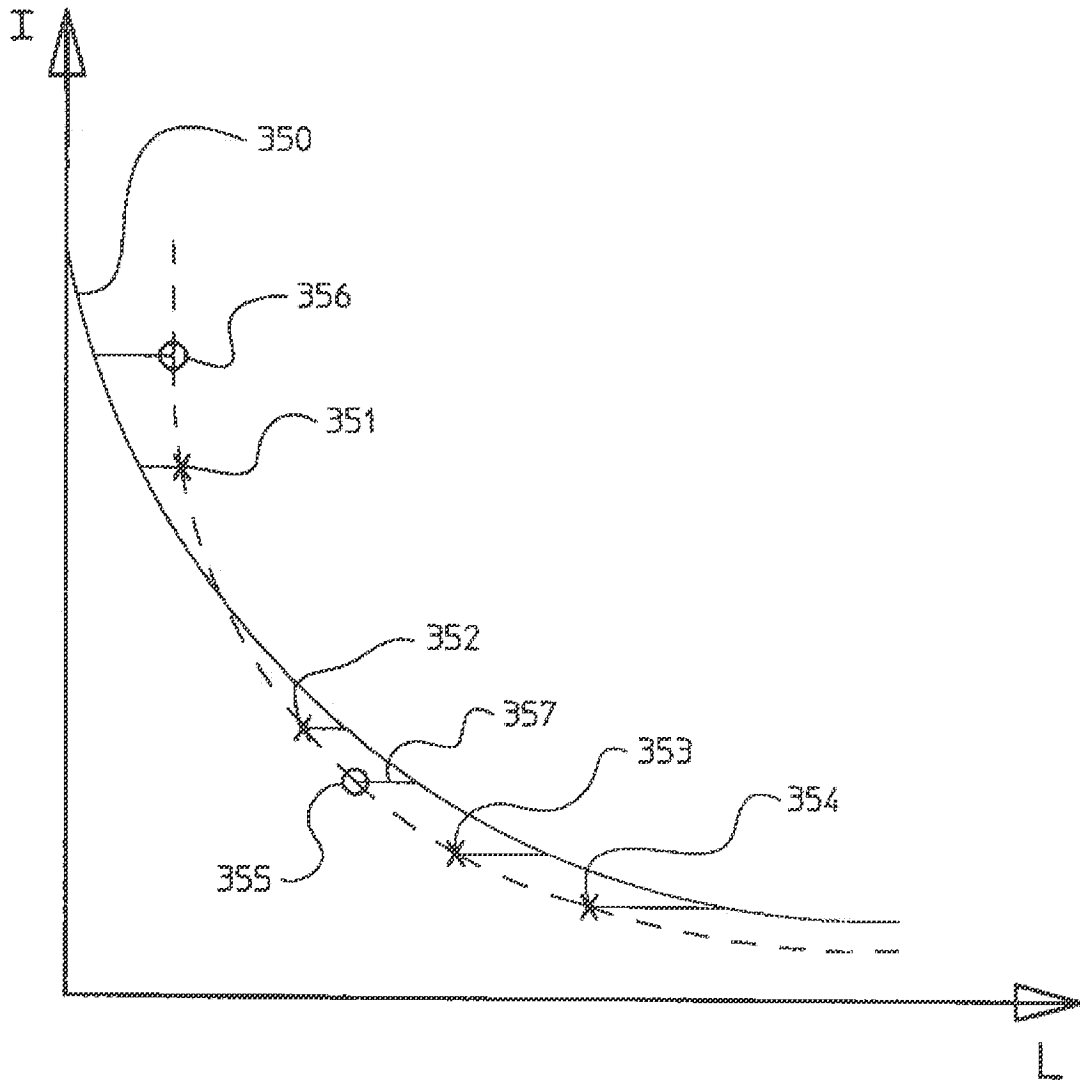


图 12

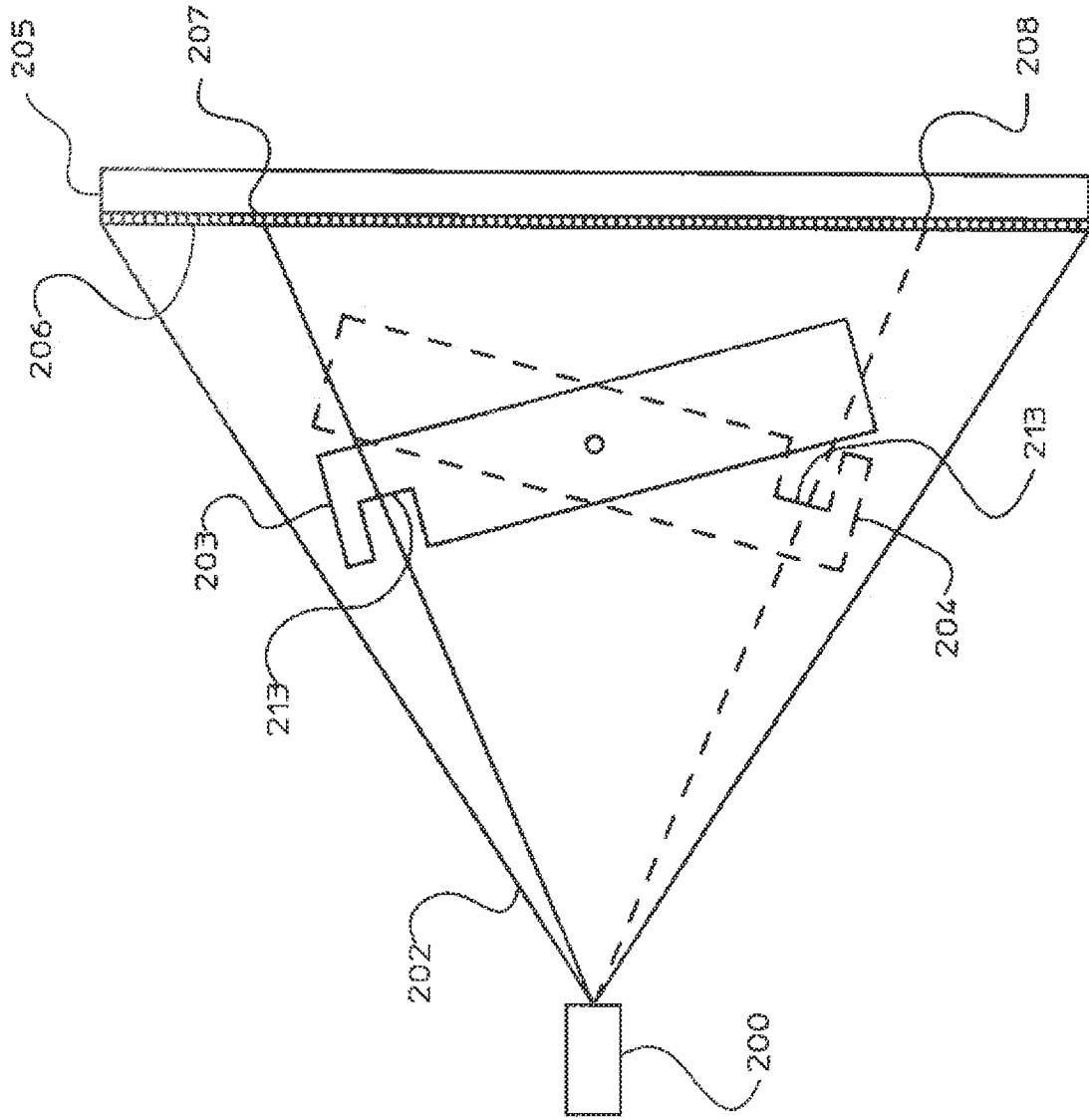


图 13

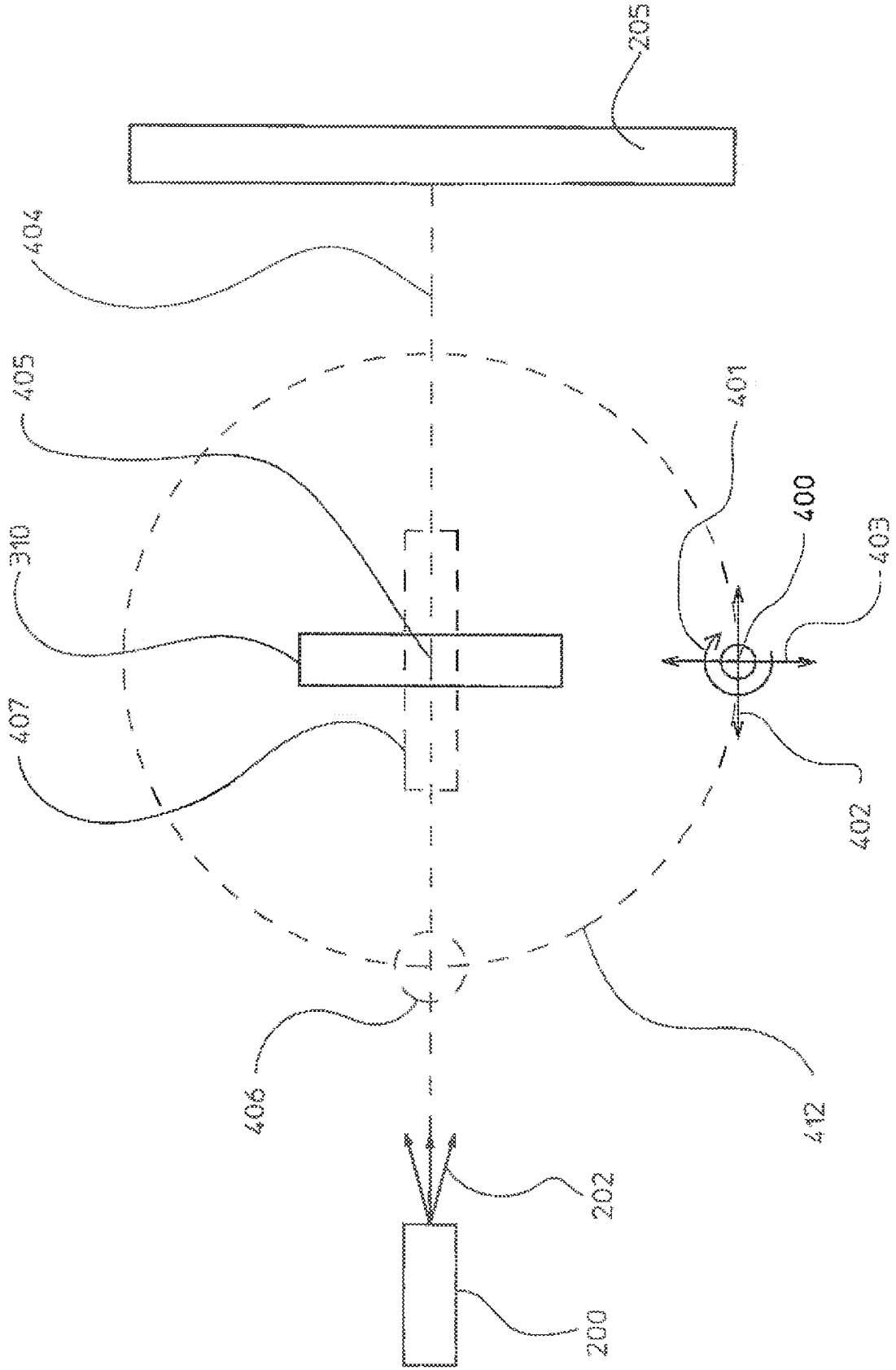


图 14

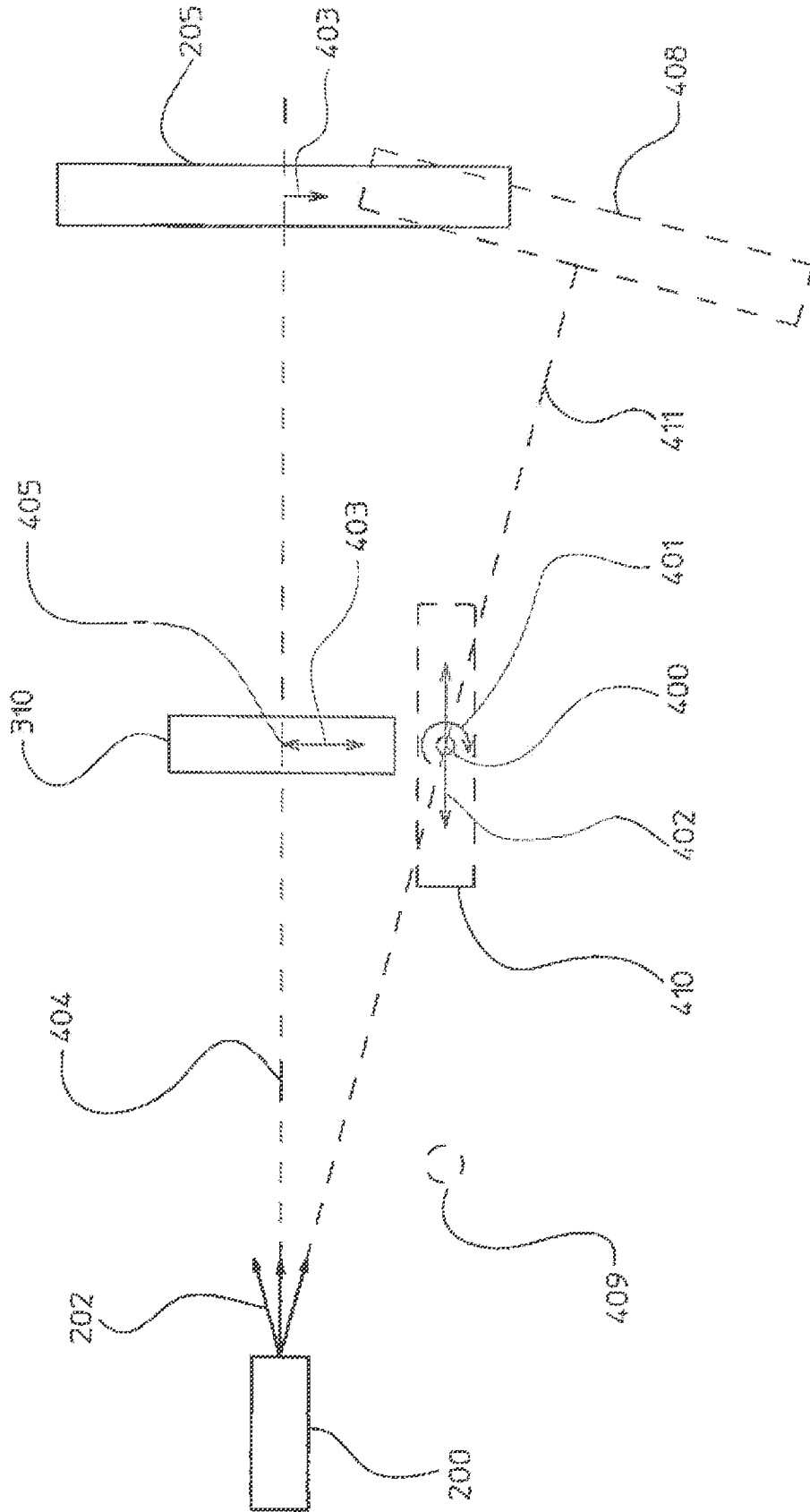


图 15

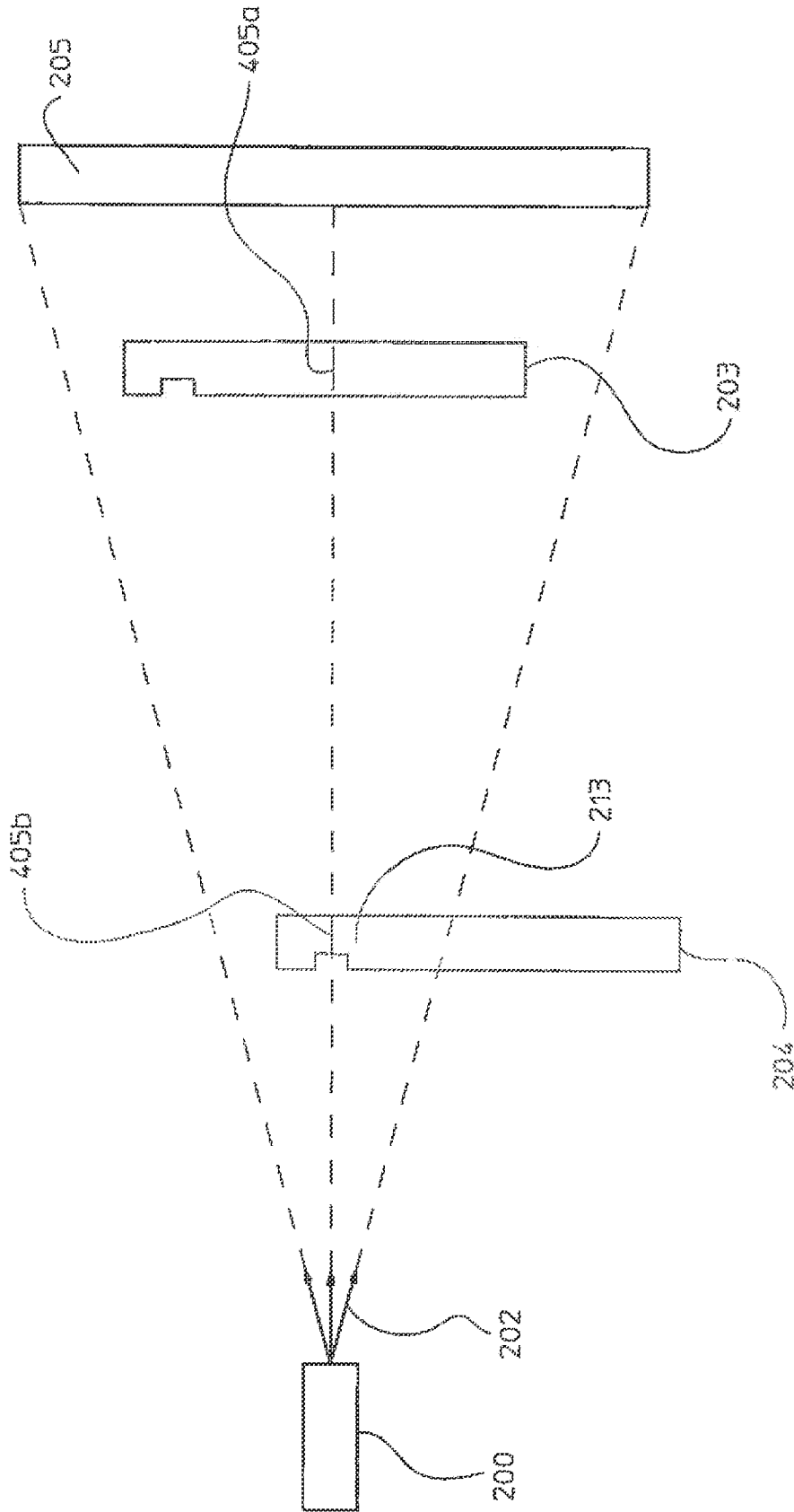


图 16

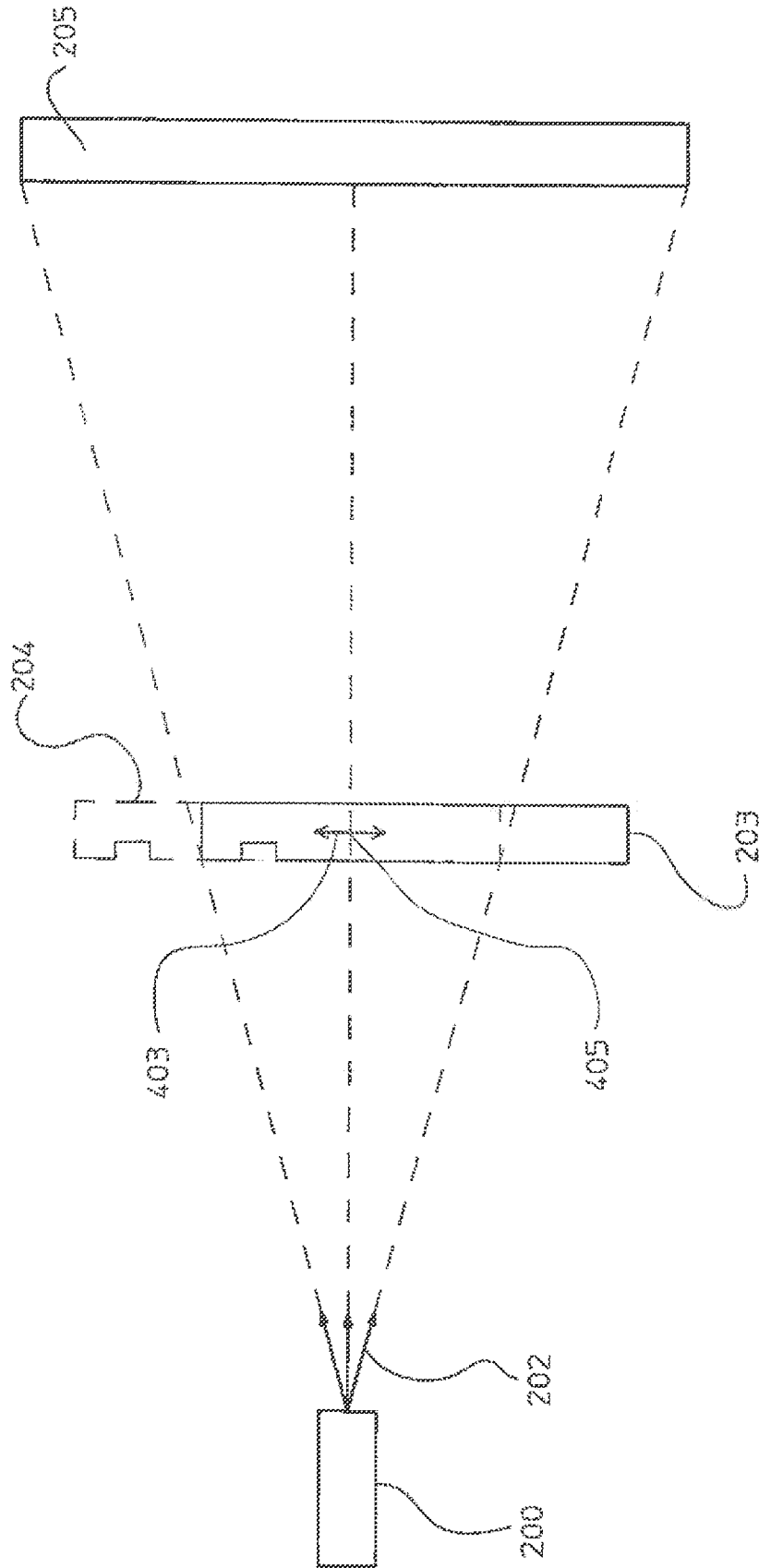


图 17