(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101534715 B
(45)授权公告日 2012.01.11

(21)申请号 200780041469.8
(22)申请日 2007.10.30
(30)优先权数据
06123818.4 2006.11.10 EP
(85)PCT申请进入国家阶段日
2009.05.07
(86)PCT申请的申请数据
PCT/IB2007/054396 2007.10.30
(87)PCT申请的公布数据
WO2008/056298 EN 2008.05.15
(73)专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司
地址 荷兰艾恩德霍芬
(72)发明人 N·J·努尔德霍尔克
(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司 72002
代理人 王英 刘炳胜
(51)Int.Cl.
A61B 6/00(2006.01)

(56)对比文件
US 2004/0247070 A1,2004.12.09, 全文.
US 2006/0120505 A1,2006.06.08, 全文.
US 6529766 B1,2003.03.04, 全文.

审查员 陈响

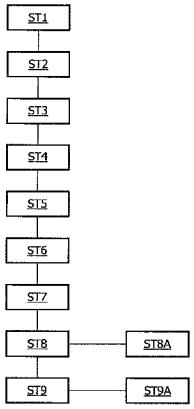
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54)发明名称

在(Xper)CT下的针引导过程中的金属伪影预防

(57)摘要

本发明涉及用于预防当金属针存在于扫描视场中时,在活检过程中由计算机断层摄影扫描产生的金属伪影的方法和设备。预先确定金属针的方向和电磁场的方向。针对电磁场的确定,考虑电磁场的源位置和探测器位置。当所确定的电磁场的方向和金属针的方向互相对应时,可以警告用户。



CN 101534715 B

1. 一种用于在检查曝光设备 (1) 的电磁场 (20) 内的金属针 (40) 引导过程中的金属伪影预防的方法，包括：

确定 (ST1) 所述电磁场 (20) 的源 (21) 的位置，

确定 (ST2) 探测器 (25、26) 的位置，

基于所述源 (21) 的所述位置和所述探测器 (25、26) 的所述位置确定 (ST4) 所述电磁场 (20) 的方向 (29)，

确定 (ST6) 所述金属针 (40) 在所述电磁场 (20) 中的方向 (49)，以及

基于所述电磁场 (20) 的所确定的方向 (29) 和所述金属针 (40) 的所述方向 (49) 的比较提供 (ST7) 信号。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述电磁场 (20) 是 x 射线场。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述源 (21) 是 x 射线焦斑。

4. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述探测器 (25) 包括探测器像素 (26)。

5. 如权利要求 1 所述的方法，还包括：

确定 (ST3) 场影响参数，以及

另外基于所述场影响参数确定 (ST5) 所述电磁场 (20) 的所述方向 (29)。

6. 如权利要求 1 所述的方法，还包括基于所述信号向用户提供 (ST8) 警告。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其中，向用户提供警告包括提供 (ST8) 所重建的体积 (52) 上的矢量图 (51)，所述矢量图 (51) 示出了通过所述重建的 x 射线锥形束 (50) 的路径 (53)，所述路径 (53) 为应该被预防的所述针的方向。

8. 如权利要求 7 所述的方法，还包括提供 (ST9) 使用所述针治疗的受检对象 (9) 的替代位置 (9a)，使得所述针的所述方向 (49) 不在通过所述重建的 x 射线锥形束 (50) 的路径 (53) 内，所述路径 (53) 为应该被预防的所述针的方向 (49)。

9. 如权利要求 8 所述的方法，还包括对所述受检对象 (9) 进行自动定位 (ST9A)，使得所述针的所述方向 (49) 不在通过所述重建的 x 射线锥形束 (50) 的路径 (53) 内，所述路径 (53) 为应该被预防的所述针的方向。

10. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述检查曝光设备是计算机断层摄影设备 (1)。

11. 一种用于在检查曝光设备 (1) 的电磁场 (20) 内的金属针引导过程中的金属伪影预防的设备，包括：

适于确定所述电磁场 (20) 的源 (21) 位置的组件 (11)，

适于确定探测器 (25、26) 的位置的组件 (12)，

适于基于所述源 (21) 的所述位置和所述探测器 (25、26) 的所述位置确定所述电磁场 (20) 的方向 (29) 的组件 (14)，

适于确定所述金属针 (40) 的方向 (49) 的组件 (16)，以及

适于基于所述电磁场 (20) 的所确定的方向 (29) 和所述金属针 (40) 的所述方向 (49) 的比较提供信号的组件 (17)。

12. 如权利要求 11 所述的设备，还包括：

适于确定场影响参数的组件 (13)，以及

适于另外基于所述场影响参数确定所述电磁场 (20) 的所述方向 (29) 的组件 (15)。

13. 如权利要求 11 所述的设备，还包括适于基于所述信号向用户提供警告的组件

(18)。

14. 如权利要求 13 所述的设备，其中，用于向所述用户提供警告的所述组件 (18) 包括适于提供所重建的体积 (52) 上的矢量图 (51) 的组件 (18a)，所述矢量图示出了通过所述重建的 x 射线锥形束 (50) 的路径 (53)，所述路径 (53) 为应该被预防的所述针的方向。

15. 如权利要求 14 所述的设备，还包括适于提供使用所述针 (40) 治疗的受检对象 (9) 的替代位置的组件 (19)，使得所述针 (40) 的所述方向 (49) 不在通过所述重建的 x 射线锥形束 (50) 的路径 (53) 内，所述路径 (53) 为应该被预防的所述针的方向。

16. 如权利要求 15 所述的设备，还包括适于对所述受检对象进行自动定位的组件 (19a)，使得所述针 (40) 的所述方向 (49) 不在通过所述重建的 x 射线锥形束 (50) 的路径 (53) 内，所述路径 (53) 为应该被预防的所述针的方向。

17. 一种检查曝光设备，其包括权利要求 11 至 16 中任一项所述的设备 (10)。

18. 如权利要求 17 所述的检查曝光设备，其中，所述电磁场 (20) 是 x 射线场。

19. 如权利要求 17 所述的检查曝光设备，其中，所述源 (21) 是 x 射线焦斑。

20. 如权利要求 17 所述的检查曝光设备，其中，所述探测器 (25) 包括探测器像素 (26)。

21. 如权利要求 17 所述的检查曝光设备，其中，所述检查曝光设备是计算机断层摄影设备。

22. 一种用于在检查曝光设备 (1) 的电磁场 (20) 内的金属针 (40) 引导过程中的金属伪影预防的装置，包括：

用于确定 (ST1) 所述电磁场 (20) 的源 (21) 的位置的模块，

用于确定 (ST2) 探测器 (25、26) 的位置的模块，

用于基于所述源 (21) 的所述位置和所述探测器 (25、26) 的所述位置确定 (ST4) 所述电磁场 (20) 的方向 (29) 的模块，

用于确定 (ST6) 所述金属针 (40) 在所述电磁场 (20) 中的方向 (49) 的模块，以及

用于基于所述电磁场 (20) 的所确定的方向 (29) 和所述金属针 (40) 的所述方向 (49) 的比较提供 (ST7) 信号的模块。

在 (Xper)CT 下的针引导过程中的金属伪影预防

技术领域

[0001] 本发明涉及用于在 (Xper)CT 下的针引导过程中的金属伪影预防的方法和设备，具体涉及用于例如在活检过程中预防在 (Xper)CT 中的金属伪影的方法和设备，此时，金属针出现于 (Xper)CT 扫描的视场中。

背景技术

[0002] 在活检、引流或椎体成形 (vertebroplasty) 过程中经常进行重复扫描。当针被定位成平行于只有单一投影的 X 射线路径时，将产生严重的金属伪影，其可以完全使损害变得不明显，所述损害为活检、引流或椎体成形过程的目标。

[0003] 基于该患者的所重建的体积，存在用于计划患者中的针轨迹的多个应用。在活检过程中，例如进行多个扫描以验证针朝向例如肿瘤的进度。这些应用可以使用计算机断层扫描体积，尤其是 (Xper)CT 扫描体积。(Xper)CT 扫描由旋转 X 射线采集组成。当在一个或多个 X 射线投影中针平行于从例如 X 射线管到探测器像素的 X 射线的路径时，产生非常强的金属伪影，其几乎不可能得以校正并其将完全使目标损害变得不明显。

[0004] 从 JP10211197A 中可以了解 X 射线 CT 设备，其中，用来自 X 射线源的 X 射线脉冲照射对象的扫描表面，在 X 射线探测器中探测传输 X 射线量并且将转换输出在预放大器部分放大、进行 A/D 转换以及输入至图像处理器。之后，在所输入的 360° X 射线传输数据被转换成投影数据和反投影数据之后，增加 360° 的反投影数据以及重构断层摄影图像并在监测器上显示。在测量开始时，调节角度从而不至于使插入到受试者身体的穿刺针的穿刺角与投影数据的测量开始角以及反向于测量开始角 180° 的角重叠，抑制在穿刺针的扫描过程中由运动产生的伪影。

[0005] 此外，H.Liu 在 journal of Applied Physics 83(11)，1998，6849-6851 页中描述了“metallic needle artefactes in magnetic resonance imaging”。D.Xiao 等人在 proceeding of IEEE conference control application，Canada，2005，13-18 页中描述了“software design of transperineal prostate needle biopsyrobot”。

发明内容

[0006] 期望提供允许避免成像过程中的金属伪影的方法和设备。

[0007] 本发明提供了用于预防针引导过程中的金属伪影的方法、相应设备、检查曝光设备、程序组件以及相应计算机可读介质。

[0008] 根据本发明的一方面，提供了用于在检查曝光设备的电磁场内的金属针引导过程中的金属伪影预防的方法，包括确定电磁场源的位置、确定探测器的位置、基于源位置和探测器位置确定电磁场的方向、确定电磁场中金属针的方向以及提供基于所确定的电磁场的方向和金属针的方向的比较的信号。可以使用用于控制检查曝光装置的机架的几何校准数据。所述方法能够指示例如活检针不应该沿着的路径以预防金属伪影。信号信息用于警告用户所述路径倾向于产生金属伪影并由此导致无用的 (Xper)CT 扫描。

[0009] 根据本发明的另一方面，电磁场是X射线场，源是X射线焦斑以及/或探测器是探测器像素。由此，针对每个投影的X射线焦斑和针对每个投影的探测器像素位置构成了用于确定源的几何结构和影响x射线场的确定的环境存量的几何校准数据。X射线场的确定包括确定场的强度和方向，但是并不局限于此。

[0010] 根据本发明的又一方面，方法还包括确定场影响参数以及确定另外基于场影响参数的电磁场方向。因此，可以考虑例如就像影响场分布的检查器械的环境参数，以及确定电磁场的方向，其可能受到例如金属或磁部件的环境的影响。

[0011] 根据本发明的另一方面，方法包括向用户提供警告。在针轨迹计划过程中警告用户有助于预防金属伪影产生，此时在一个或多个投影中针将平行于局部X射线束。这对(Xper)CT来说尤其有帮助，因为(Xper)CT具有宽的X射线锥形束并且当用户所计划的路径将产生金属伪影时这对用户来说是很重要的，其将取决于所选择的插入点和所选择的针的角两者。

[0012] 根据另一方面，向用户提供警告包括在所重建的体积上提供矢量图的准备，所述矢量图示出了通过重建的X射线锥形束的路径，所述路径为应该被预防的针的方向。通过这样的矢量图，用户不仅知道现在的位置可能导致金属伪影，而且还知道在下一个行动中要避开哪个位置。

[0013] 根据另一方面，方法包括提供用针治疗的受检对象的替代位置，使得针的方向不在通过重建的X射线锥形束的路径内，所述针的方向为应该被预防的针的方向。因此，用户不需要改变针相对于受检对象的位置就可以改变受检对象的位置。

[0014] 根据另一方面，方法包括受检对象的自动定位，使得针的方向不在通过重建的X射线锥形束的路径内，所述针的方向为应该被预防的针的方向。由此，可以避免用户的错误决定和举动。为了安全起见，在系统自动设置新位置前，要求用户确认或接受替代位置。可以提供用于提供任何严重冲突的任何紧急打断或监测。

[0015] 本方法可以以多种方式来警告用户，简单地，当所计划的针轨迹处于产生金属伪影的所谓危险区域中时给予警告，提供所重建的体积上的矢量图，所述矢量图示出了通过重建的X射线锥形束的路径，所述路径为应该被预防的针的方向，和/或当所计划的路径是关键的且不容易修改（诸如在椎体成形的情况）时，给予警告以建议患者移动位置。此外，可以选择建议以例如床移动或自动使患者移动位置的形式使患者移动位置多少。由于非常精确地校准C臂旋转的整个几何形状，可能实现非常准确的结果。当向用户提供警告时，用户可以修改路径计划。这通过接近角的轻微改变即可容易地实现。当计划路径是关键的且不容易适应时，像椎体成形，可以选择使患者移动位置。特别地，所述方法可以被用于计划针的路径，其可以被增强，以警告用户所计划的路径位于旋转平面内，产生致使扫描无用的金属伪影。

[0016] 根据另一方面，检查曝光设备是计算机断层摄影设备。

[0017] 根据另一方面，提供用于在检查曝光设备的电磁场内的金属针引导过程中的金属伪影预防的设备，包括适于确定电磁场源的位置的组件、适于确定探测器的位置的组件、适于基于源位置和探测器位置确定电磁场方向的组件、用于确定金属针的方向的组件以及适于基于所确定的电磁场的方向和金属针的方向的比较用于提供信号的组件。

[0018] 根据另一方面，该设备包括适于确定场影响参数的组件和适于另外基于场影响参

数确定电磁场的方向的组件。因此，可以考虑在影响磁场的设备的环境中的部件，例如，（铁）磁组件和永久磁铁。

[0019] 根据另一方面，该设备包括适于向用户提供警告的组件。

[0020] 根据另一方面，用于向用户提供警告的组件包括适于提供所重建的体积上的矢量图的组件，所述矢量图示出了通过重建的 X 射线锥形束的路径，所述路径为应该被预防的针的方向。

[0021] 根据另一方面，设备包括适于提供用针治疗的受检对象的替代位置的组件，使得针的方向不在通过重建的 X 射线锥形束的路径内，所述路径为应该被预防的针的方向。

[0022] 根据另一方面，设备包括适于受检对象的自动定位的组件，使得针的方向不在通过重建的 X 射线锥形束的路径内，所述路径为应该被预防的针的方向。

[0023] 应该注意的是，代替进行自动定位的是，该设备也能够只警告和 / 或建议用户进行新的定位或者要求接受进行对受检对象的自动定位。

[0024] 根据另一方面，计算机断层摄影单元包括本发明的设备。

[0025] 应该注意的是电磁场可以是 X 射线场，但是，本领域技术人员也可以将本发明的方法和设备用于电磁场而不是 X 射线场。根据另一方面，源可以是 X 射线焦斑，和 / 或探测器可以是探测器像素。

[0026] 根据另一方面，提供程序单元，当由处理器运行时，所述程序单元适于执行本发明的方法。

[0027] 根据另一方面，提供其上存储有本发明的程序单元的计算机可读介质。

[0028] 应该注意，可以将本发明的主题应用于任意 3D X 射线应用 (3DRA、Xper CT、CT)，所述任意 3D X 射线应用与和患者一起进行扫描的强吸收伸长器械组合使用。这些可以是例如活检、引流或椎体成形（螺旋）。Xper CT 是不需要运输患者就可以提供在干涉组中的软组织成像能力的系统。因此，应用包括干涉之前以及干涉之后立即的软组织信息的评估，以及流血区域和钙化的探测。被设计为用于干涉应用的 Xper CT 重建从获取到显示只用几分钟，其在患者病情恶化时的关键情形中尤为重要。

[0029] 可以将下述内容看作本发明的要点：由于通过事先确定针的位置的事先的针的位置，避免成像中的扰动，以及从而预测可能的金属伪影。

[0030] 通过参照后面描述的实施例，本发明的这些以及其他方面将变得明显，并参照所述实施例进行阐述。

附图说明

[0031] 下面将参照附图对本发明的示例性实施例进行描述。

[0032] 图 1 是示出根据本发明的一个方面的方法的图表；

[0033] 图 2 示出了电磁场的方向和针的方向；

[0034] 图 3 示出了所重建的体积上的矢量图；

[0035] 图 4 示出了检查曝光设备；以及

[0036] 图 5 示出了根据本发明一个方面的设备。

具体实施方式

[0037] 图 1 描述了根据本发明一个方面的方法的流程。应该注意的是，不一定以描述的顺序执行所述方法组成或步骤，以及可以改变合适的次序。

[0038] 参照图 1，一种用于金属针在检查曝光设备的电磁场中的引导过程中的金属伪影预防的方法包括确定 ST1 电磁场源的位置、确定 ST2 探测器的位置、基于源的位置和探测器的位置确定 ST4 电磁场的方向、确定 ST6 金属探测器在电磁场中的方向以及基于所确定的电磁场的方向和金属针的方向的比较提供 ST7 信号。应该注意，特别地，可以在合适地方改变方法组成 ST1 和 ST2 的顺序。此外，方法组成 ST6 可以分别在方法组成 ST1、ST2 和 ST4 之前或之后。

[0039] 进一步参照图 2 和图 4，可以基于用于控制检查曝光设备的控制数据执行源 21 的位置的确定，尤其地以控制 C 臂的移动，这是由于在可用的检查曝光设备中非常精确地校准 C 臂旋转的整个几何形状。可以以相同方式执行探测器 25、26 的位置的确定。基于源 21 位置和探测器 25、26 的位置执行电磁场 20 的方向 29 的确定。可以在笛卡儿坐标、柱坐标或球坐标中执行该确定，但是并不局限于此。通过由检查曝光设备探测金属针可以执行金属针 40 在电磁场 20 中的方向 49 的确定，尤其基于由检查曝光设备产生的图像处理。如果金属针 40 的方向 49 和电磁场 20 对应于电磁场 20 的方向 29，则提供信号。应该注意的是，金属针 40 和电磁场 20 的对应方向 49、29 还包括平行矢量而非叠合矢量 (congruent vector)。还应该注意的是，可能以反向方式提供信号，尤其当电磁场方向和金属针的方向不对应时，从而信号之后暗示电磁场方向和金属针的方向不对应。

[0040] 参照图 1，还可以包括确定 ST3 场影响参数和基于附加的场影响参数确定 ST5 电磁场 20 的方向 29 的其他方法组成。如果环境包括影响电磁场的组成从而扰乱电磁场，并且因此必须考虑场影响参数对其进行校正，那么，这些另外的步骤是有用的。由于容纳检查曝光设备的组成，可以生成场影响参数，但是，并不局限于此。

[0041] 参照图 1，还可以包括基于信号向用户提供 ST8 警告的另一方法组成。由此，可以将信号用作用于向用户提供可能存在金属伪影的警告或建议的基础，从而，可以预防在金属针引导过程中的金属伪影。作为另一种方法组成，可以向用户提供 ST8A 所重建的体积上的 52 的矢量图 51，所述矢量图 51 示出了通过重建的 X 射线锥形束 50 的路径 53，所述路径 53 为应该可以被预防的针的方向。因此，对用户来说更容易估计哪个针的方向导致金属伪影。

[0042] 作为另一种方法组成，可以向受检对象 9 的替代位置 9A 提供 ST9，从而可以沿着替代位置 9A 移动使用针治疗的受检对象 9，使得针 49 的方向在通过重建的 X 射线锥形束 50 的路径 53 内，所述路径 53 为应该被预防的针的方向 49。对受检对象进行位置移动允许相对于受检对象的位置维持针的位置。

[0043] 此外，可以提供自动定位 ST9A 的方法组成，从而用户可以仅接受或者确认系统的建议，从而可以执行自动定位。因此，可以避免用户的任何错误决定或行为。

[0044] 图 2 示出了没有场影响参数的电磁场，使得电磁场只受源 21 的影响。探测器 25 也可以影响磁场。但是，确定电磁场是有用的，特别是在场的流线的范围内，所述流线穿过探测可能伪影的相关探测器 25、26。探测器可以包括探测器像素 26，所述探测器像素的数量取决于要完成的图像的分辨率。

[0045] 在图 2 中，受检对象 9 对应于所重建的体积 52，9。用箭头 29、29A 指示电磁场 20

的方向。示出了受检对象 9 内的针 40，其中，用箭头 49 指示针的方向。在图 2 的情况中，针 49 的方向对应于用箭头 29A 指示的电磁场的方向，这是由于箭头 49 和箭头 29A 彼此平行。如果电磁源 21 和探测器 25、26 旋转，同时维持所重建的体积的位置，针 49 的方向很可能与电场 29、29A 的一些流线的方向叠合，因此必须对金属伪影进行预期。应该注意，电磁场 20 可以是 X 射线场，但是如果适于各自的应用，也可以是任何其他电磁场。

[0046] 如果，电磁场是 X 射线场，源 21 可以是 X 射线焦斑，但是，如果合适，可以使用任何其他源，尤其是 X 射线源。

[0047] 图 3 示出了指示所重建的体积 52 的矢量图 51，所述矢量图 51 示出了通过重建的图 2 的 X 射线锥形束 50 的路径 53，所述路径 53 是应该被预防的针的方向。应该注意的是，平行矢量也表示反平行矢量，即矢量方向增加 / 减少 180° 。

[0048] 图 4 示出了以计算机断层摄影形式的检查曝光设备 1。检查曝光设备包括设备 10，所述设备 10 用于在检查曝光设备的电磁场 20 内的金属针引导过程中的金属伪影预防。曝光设备可以围绕例如人体的受检对象的长轴旋转。如果针的位置可能产生金属伪影，则可以对受检对象进行移动位置或旋转或移动，从而不会产生金属伪影，其中，维持检查装置的初始旋转轴，例如在移动位置至替代位置 9A 之前的受检对象 9 的长轴的初始旋转轴。

[0049] 图 5 示出了设备 10 的组成和组件。设备 10 包括适于确定电磁场 20 的源 21 的位置的组件 11。指向组件 11 的箭头指示确定源位置的所需的信息的输入。此外，提供了用于确定探测器 25、26 的位置的组件 12，其中，指向组件 12 的箭头指示所要输入以确定探测器的位置的信息的输入。根据本发明一方面，在必须要考虑这样的场影响参数的情况下，提供用于确定场影响参数的组件 13。

[0050] 组件 14 基于由组件 11 输出的源 21 的位置和由组件 12 输出的探测器 25、26 的位置，确定电磁场 20 的方向 29。根据本发明的一方面，也可以另外考虑其他场影响参数，由此可以提供组件 15 以基于由组件 11 输入的源的位置、由组件 12 输入的探测器的位置以及另外地由组件 13 输入的场影响参数来确定电磁场 20 方向。应该注意，可以将组件 13 和 15 设计成单一单元，其中组件 13 可以被包括在组件 15 中，或者组件 15 也可以取代组件 13 的任务。组件 17 提供基于所确定的电磁场的方向和金属针的方向的比较的信号。应该注意，可以考虑或不考虑场影响参数来确定电磁场。可以不同方式使用由组件 17 提供的信号。第一可能性为如由组件 17 的中间输出箭头指示的，由设备 10 来输出信号。该信号可用于进一步数据处理。作为替代地，可以将信号提供给组件 18 以用于向用户提供警告，例如，作为警告文本屏幕或任何其他合适的警告。可替代地，由组件 18A 提供如参照图 3 所述的矢量图也是可能的，其适于提供所重建的体积的矢量图，所述矢量图示出了通过重建的 X 射线锥形束的路径，所述路径为应该被预防的针的方向。可以基于由组件 11 输出至组件 17 的信息执行的矢量图的确定。矢量图可以被显示在屏幕、打印机或任何其他合适的介质上。

[0051] 作为另一替代，设备包括用于提供由针 40 进行治疗的受检对象 9 的替代位置的组件 19，使得针 40 的方向 49 不在通过重建的 X 射线锥形束 50 的路径 53 内，所述路径 53 为应该被预防的针的方向。受检对象 9 的替代位置 9A 在屏幕上可以被指示为图片或指示为文本描述或指示为任何其他合适指示。任何其他指示介质都是可能的。

[0052] 此外，可以提供用于受检对象的自动定位的组件 19A，使得针 40 的方向 49 不在通过重建的 X 射线锥形束的路径 53 内，所述路径 53 为应该被预防的针的方向。事实上，在接

收用户同意自动定位的用户确认之后，可以执行自动定位，以避免治疗受检对象中的任何危险。自动定位可以影响例如受检对象被放置的桌子。事实上，也可能移动合适的检查装置。替代位置意味着受检对象和检查设备的位置可以相互移动。

[0053] 应该注意，也可以将在图 1 中所指示的方法执行为程序组件，当由处理器执行时，所述程序组件适于执行所述方法。所述程序组件也可以被存储在计算机可读介质上。

[0054] 应该注意，术语“包括”不排除其他组件或步骤，以及“一”或“一个”不排除多个。也可以对结合不同实施例描述的组件进行组合。

[0055] 应该注意，权利要求中的附图标记和数字不应被理解为对权利要求的范围的限制。也可以将本发明应用于材料科学领域、非破坏性测试或其他相关应用中。

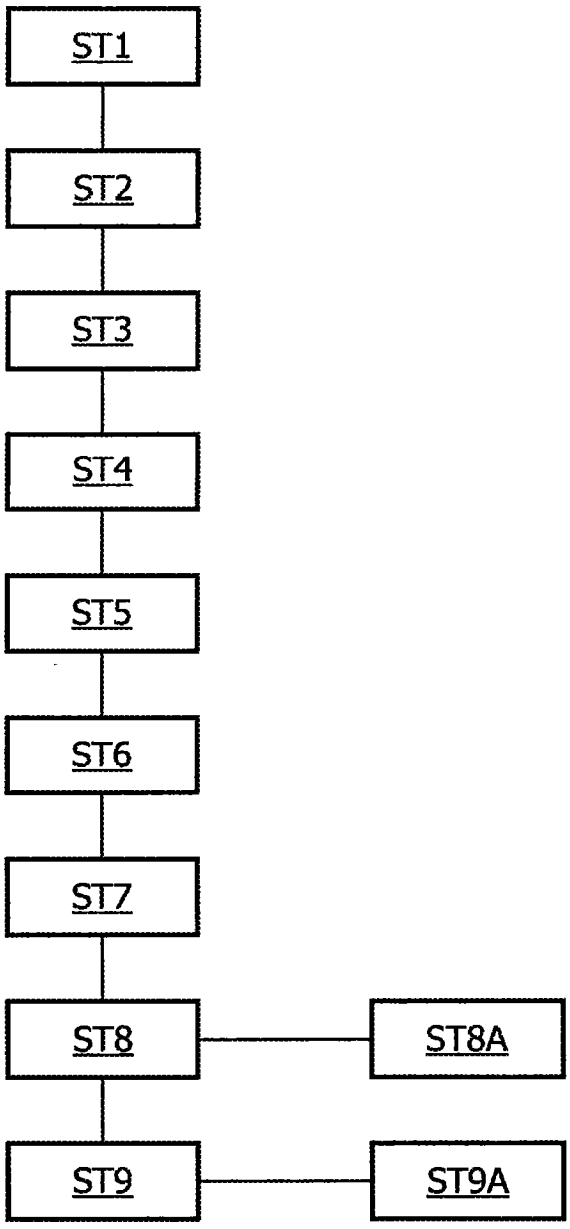


图 1

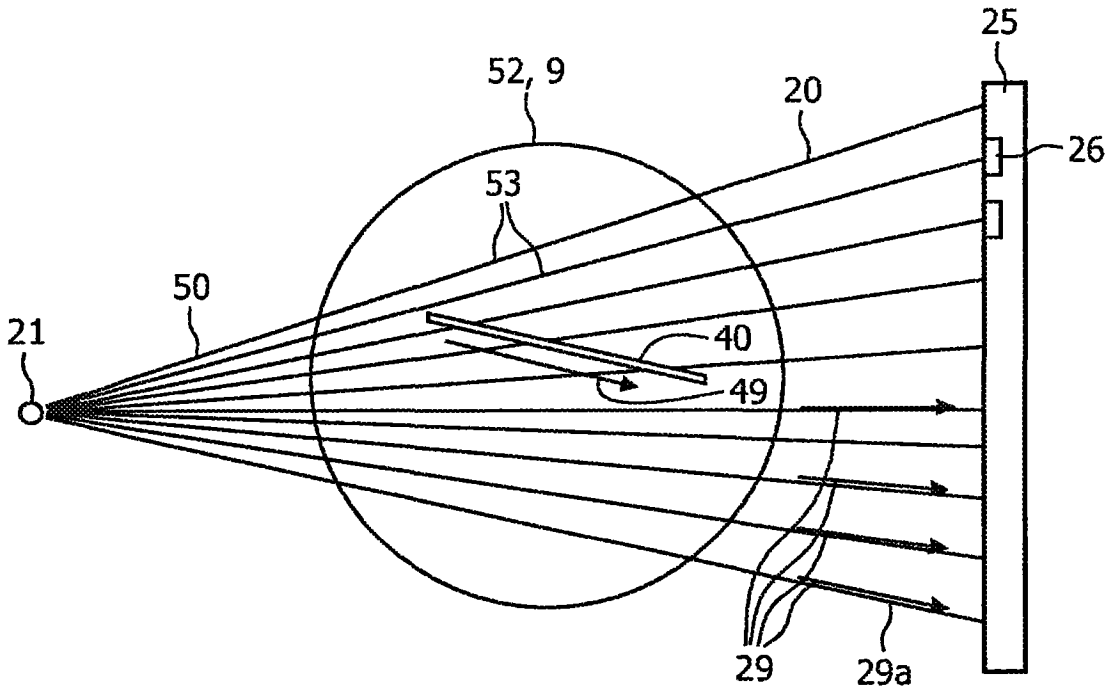


图 2

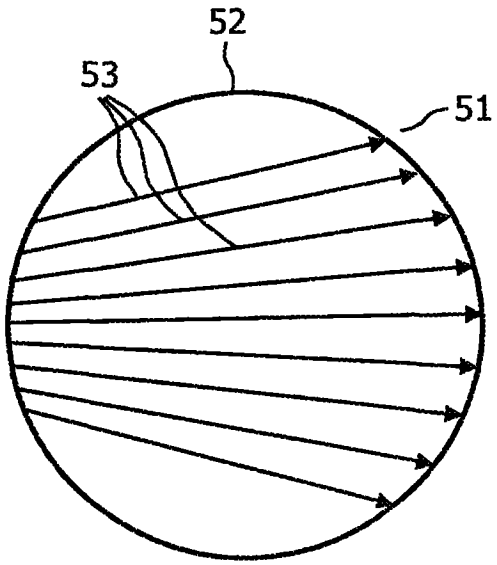


图 3

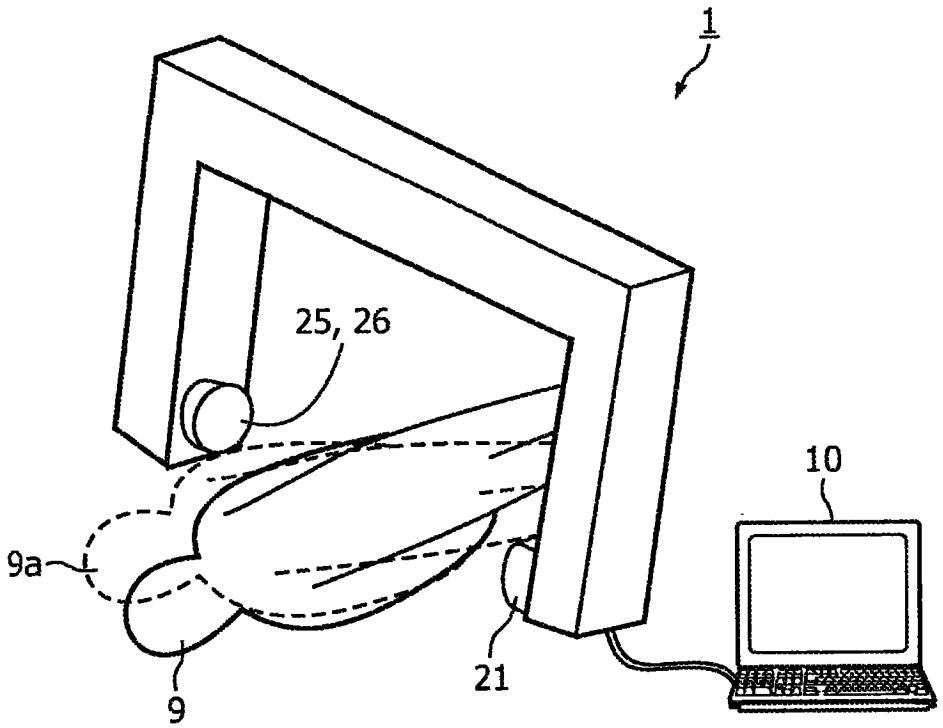


图 4

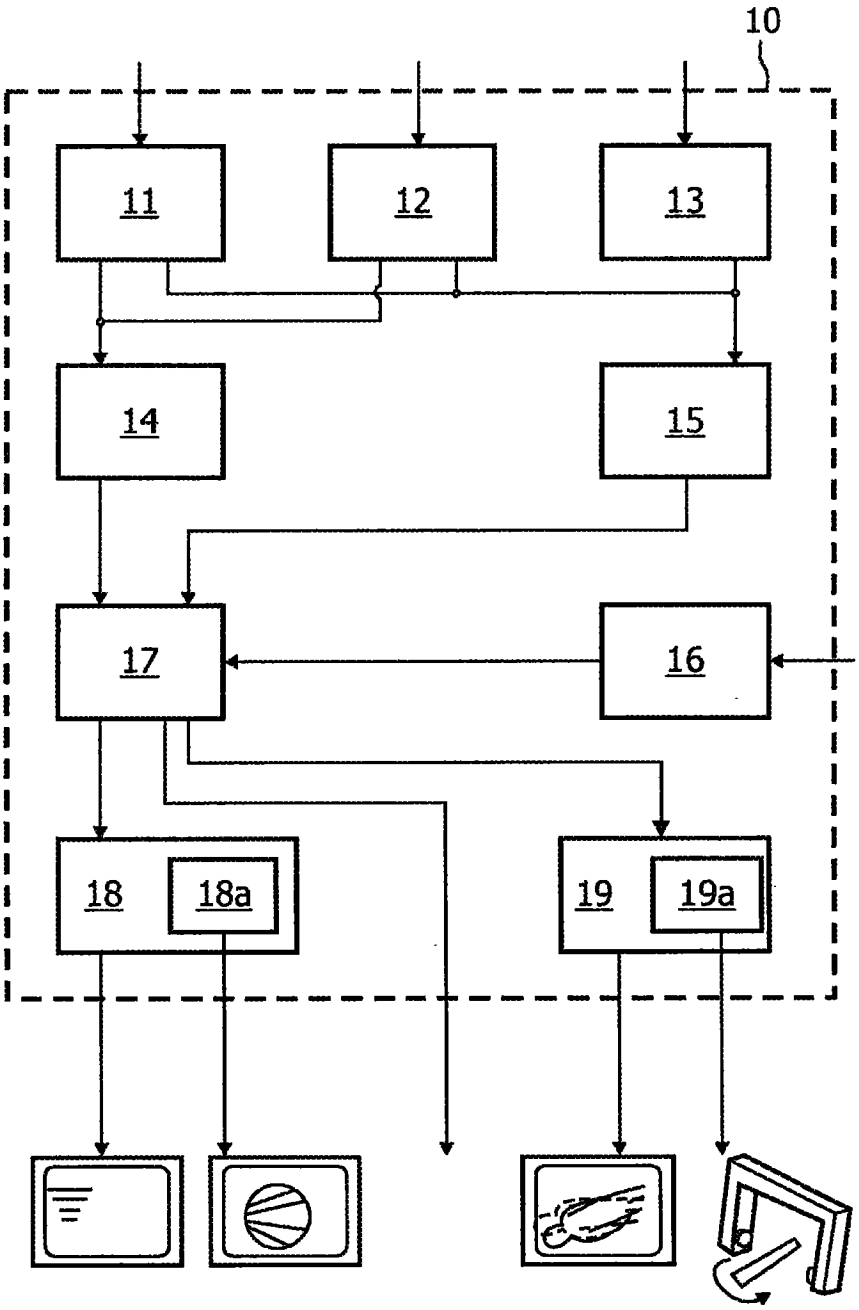


图 5