



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102548613 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 15

(21) 申请号 201080036718. 6

(22) 申请日 2010. 06. 18

(30) 优先权数据

102009033297. 9 2009. 07. 15 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 02. 20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2010/058636 2010. 06. 18

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/006733 DE 2011. 01. 20

(73) 专利权人 GSI 亥姆霍兹重离子研究中心有
限责任公司

地址 德国达姆施塔特

(72) 发明人 C. 伯特 E. 里特泽尔

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

代理人 谢强

(51) Int. Cl.

A61N 5/10(2006. 01)

(56) 对比文件

DE 102005063220A1 , 2007. 06. 28, 全文 .

US 2008078942A1 , 2008. 04. 02, 全文 .

WO 2009040117A1 , 2009. 04. 02, 全文 .

WO 2009/149882A1 , 2009. 12. 17, 全文 .

Nami Saito etc..Speed and accuracy of
a beam tracking system for treatment of
moving targets with scanned ion beams.
《PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY》.2009, 第
54 卷 4849 - 4862.

Marco Durante and Jay S. Loeffler.
charged particles in radiation oncology.
《NATURE REVIEWS CLINICAL ONCOLOGY》.2009, 第
7 卷 37-43.

审查员 刘林林

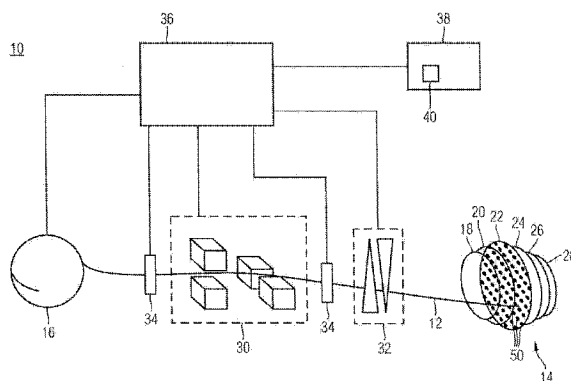
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

针对利用粒子束执行再扫描方法的辐照或辐
照规划

(57) 摘要

本发明涉及一种用于对目标体积进行辐照规划的方法,其中确定具有可单个扫过的目标点的目标区域,其中确定再扫描遍历的次数,其中多次扫描所述目标区域,这样使得在再扫描遍历期间以不同频度扫过所述目标区域的目标点,从而至少部分目标点不在每次再扫描遍历时都被扫过,并且其中所述扫过目标点被这样分配到再扫描遍历,使得在不是在每次再扫描遍历时都被扫过的至少一个目标点中在扫过所述目标点的最后的再扫描遍历之前存在至少一次不扫过所述目标点的其它再扫描遍历。本发明还涉及一种相应的辐照方法,一种相应的辐照规划装置、一种用于控制辐照设备的相应的控制装置以及一种这样的辐照设备。



1. 一种用于对目标体积 (14) 进行辐照规划的方法

– 确定具有能够单个扫过的目标点 (50) 的等能量层 (18, 20, 22, 24, 26, 28),

– 确定再扫描遍历的次数, 在所述再扫描遍历中这样多次扫描所述等能量层 (18, 20, 22, 24, 26, 28), 使得在再扫描遍历期间以不同频度扫过所述等能量层 (18, 20, 22, 24, 26, 28) 的目标点 (50), 从而至少部分目标点 (54) 不在每次再扫描遍历时都被扫过,

其中对目标点 (50) 的扫描被这样分配到再扫描遍历, 使得在不是在每次再扫描遍历时都被扫过的至少一个目标点 (59) 中在扫过所述目标点 (59) 的最后的再扫描遍历之前存在至少一次不扫过所述目标点 (59) 的其它再扫描遍历。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 目标点 (59) 在第一次再扫描遍历时不被扫过。

3. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 在至少两次再扫描遍历时扫过的目标点 (59) 中在所述两次再扫描遍历之间存在至少一次不扫过所述目标点 (59) 的其它再扫描遍历。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法, 其中, 在每次再扫描遍历时一些目标点不被扫过。

5. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法, 其中, 对目标点 (50) 的扫描被这样分配到再扫描遍历, 使得用来在一个再扫描遍历中扫过要扫过的目标点 (56) 的扫描路径 (58) 满足预先定义的标准。

6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其中, 所述预先定义的标准包括, 使得在扫描路径 (58) 中两个要依次扫过的目标点之间的距离低于阈值。

7. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 在目标点 (50) 中要施加的总剂量 (62) 是在所述目标点 (50) 中要施加的单次剂量 (64) 的整数倍。

8. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 在所述等能量层的目标点 (50) 中在每次扫过时分别施加同样大小的单次剂量 (64)。

9. 根据权利要求 7 或 8 所述的方法, 其中, 所述单次剂量被选择为由用于监视粒子束特征的测量装置所预先给定的阈值的倍数。

10. 一种用于辐照目标体积 (14) 中的等能量层 (18, 20, 22, 24, 26, 28) 的方法,

其中, 所述等能量层 (18, 20, 22, 24, 26, 28) 包括各个待扫过的目标点 (50),

其中, 利用多次用来多次扫描所述等能量层 (18, 20, 22, 24, 26, 28) 的再扫描遍历辐照所述等能量层 (18, 20, 22, 24, 26, 28),

其中, 所述等能量层 (18, 20, 22, 24, 26, 28) 的目标点 (50) 在再扫描遍历期间以不同的频度被扫过, 从而至少一部分目标点 (18, 20, 22, 24, 26, 28) 不是在每次再扫描遍历时都被扫过, 并且

其中, 在不是在每次再扫描遍历时都被扫过的至少一个目标点 (59) 中在扫过所述目标点 (59) 的最后的再扫描遍历之前实施至少一次不扫过所述目标点 (59) 的其它再扫描遍历。

11. 根据权利要求 10 所述的方法, 其中, 所述至少一个目标点 (59) 在第一次再扫描遍历时不被扫过, 或者其中所述至少一个目标点 (59) 在至少两次再扫描遍历时被扫过, 这样使得在所述两次再扫描遍历之间存在至少一次不扫过所述目标点 (59) 的其它再扫描遍历。

12. 根据权利要求 10 或 11 所述的方法, 其中, 所述在目标点 (50) 中要施加的总剂量

(62) 作为在所述目标点 (50) 中要施加的单次剂量 (64) 的倍数而施加。

13. 一种辐照规划装置 (38), 具有计算单元, 所述计算单元被构造为用于执行根据权利要求 1 至 9 中任一项所述的方法。

14. 一种用于辐照设备 (10) 的控制装置 (36), 具有控制计算机, 所述控制计算机在辐照期间这样控制所述辐照设备 (10), 使得执行根据权利要求 10 至 12 中任一项所述的方法。

15. 一种辐照设备 (10), 具有根据权利要求 14 所述的控制装置 (36)。

针对利用粒子束执行再扫描方法的辐照或辐照规划

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于对目标体积进行辐照规划的方法，一种用于对目标体积中的目标区域进行辐照的方法，一种辐照规划装置、一种用于辐照设备的控制装置以及一种具有这样的控制装置的辐照设备，其执行或实现再扫描辐照方法 (Rescanning-Bestrahlungsverfahren)。这样的辐照方法尤其被用于辐照运动的目标体积以用于补偿由于目标体积运动引起的辐照不准确性。

背景技术

[0002] 粒子治疗是一种为了治疗组织，特别是肿瘤病症而建立的方法。但是，在粒子治疗中被采用的辐照方法也被应用在非治疗的领域中。属于此的研究工作例如是在非生命模体或身体上进行粒子治疗的范围内进行产品开发、对材料进行辐照等。

[0003] 在此，将诸如质子或碳离子或其它离子的带电粒子加速到高能，成形为粒子束并且通过高能束传输系统输送到一个或多个辐照空间。在辐照空间中利用粒子束辐照待辐照的目标体积。

[0004] 在此可能出现，待辐照的目标体积发生运动。例如在辐照患者时由于呼吸运动可以引起待辐照的肿瘤运动。这样的运动也可以根据被称为模体的、用于研究目的模型对象来模拟。

[0005] 特别是在其中多个辐照剂量应当连续地在目标体积中的不同位置上沉积的辐照方法中，也就是在扫描的粒子束中，如果在连续辐照期间目标体积发生运动，则在目标体积中达到期望的均匀剂量分布是困难的。

[0006] 因此，在扫描的粒子束中可以将要施加的剂量分布到多次遍历。该方法也以名称“再扫描”被公知。这意味着，多次扫过目标区域并且在那里通过在再扫描遍历 (Rescan-Durchgang) 期间多次地、重复地施加单次剂量构成总剂量。这点具有如下的优点，即在剂量沉积 (该剂量沉积在唯一一次遍历的情况下会导致完全错误沉积的剂量) 的情况下的错误可以通过多次光栅扫描遍历而平均至一定程度。这样可以至少部分地补偿目标体积的位置不确定、目标体积的运动等。

[0007] Silvan Zenklusen 等人在网上发表的报告“Preliminary investigation for developing repainted beam scanning on the psi gantry 2” (网址为 http://ptcog.web.psi.ch/ptcog47_talks.html) 建议做出如下的改进，在多次以多个再扫描遍历被扫描的区域的每个目标点的情况下，在每次再扫描遍历时始终施加小于上限，即“上限剂量限制 (Upper-Dose-Limit)”的剂量。一直以连续的再扫描遍历辐照目标点，直到达到其额定剂量。在随后的再扫描遍历中将该目标点排除在进一步的辐照之外，也就是不再扫过该目标点。

发明内容

[0008] 本发明要解决的技术问题是，提供一种用于辐照规划的方法或用于辐照的方法，

所述方法在再扫描时允许快速并有利地控制辐照设备。此外,本发明要解决的技术问题是,提供一种相应的辐照规划装置、一种用于辐照设备的控制装置以及一种辐照设备。

[0009] 本发明通过独立权利要求的内容来解决。本发明优选的实施方式在从属权利要求中给出并且在以下作进一步说明。对各个特征的上述以及随后的描述既涉及装置类别也涉及方法类别,而无需在每种情况下个别地明确指出这点;在此,所公开的各个特征还可以与所示出的组合不同地为本发明所必须。

[0010] 用于对目标体积进行辐照规划的按照本发明的方法包括如下的步骤:

[0011] - 确定具有可单个扫过的目标点的目标区域,

[0012] - 这样确定再扫描遍历的次数,在所述再扫描遍历中多次扫描目标区域,使得在再扫描遍历期间以不同频度扫过目标区域的目标点,从而至少部分目标点不是在每次再扫描遍历时都被扫过,

[0013] 其中对目标点的扫描被这样分配到再扫描遍历,使得在不是在每次再扫描遍历时都被扫过的至少一个目标点中在扫过该目标点的最后的再扫描遍历之前存在至少一次不扫过该目标点的其它再扫描遍历。

[0014] 在此,待辐照的目标体积通常被划分为多个目标区域。在辐照治疗期间以再扫描方法、也就是分别以多次再扫描遍历辐照目标区域。在此,目标区域通常被连续地扫描,也就是只要目标区域已经以再扫描方法开始扫描,则下一个目标区域仍以再扫描方法进行扫描,等等。

[0015] 特别地,针对目标区域所确定的剂量分布是不均匀的。即使应当对目标体积施加的总剂量具有均匀的剂量分布,也可能需要,对于目标区域要施加的剂量分布是不均匀的。而这点是由于部分目标区域已经在其他目标区域的辐照期间存有先前剂量 (Vor-Dosis) 而引起的。在此,剂量分布可以表示对于要施加的粒子数量的度量。剂量分布可以在考虑关于目标体积、在目标体积中待沉积的剂量和 / 或在组织中沉积的剂量的有效作用 (例如可以通过相对的生物学效用 (RBW 或 RBE) 的说明来表征) 的规划预先规定的情况下在规划阶段中被确定。

[0016] 在按照本发明的方法中,如下地对目标区域施加剂量分布,使得在再扫描遍历期间以不同的频度扫过目标区域的目标点。在此,“扫过目标点 (Anfahren eines Zielpunktes)”被理解为在目标点中施加单次剂量或者规划这点。特别地,以这种方式可以简单地施加不均匀的剂量分布。这样,例如设置了较高总剂量的目标点在再扫描遍历期间可以比设置了较少总剂量的目标点总体上被更频繁地扫过。

[0017] 通过以不同的频度扫过目标区域的目标点得出,在特定的再扫描遍历中至少一部分目标点没被扫过。例如如果总共设置了 10 次再扫描遍历,但一个目标点总共应当仅被扫过 7 次,则存在 3 次没扫过、也就是跳过该目标点的再扫描遍历。

[0018] 本发明基于如下的基本思路,即,具有优势的是,将对目标点的扫描这样分配到再扫描遍历,使得在不是在每次再扫描遍历时都被扫过的至少一个目标点中在扫过该目标点的最后的再扫描遍历之前存在至少一次不扫过该目标点的其它再扫描遍历。这点例如可以通过在第一次再扫描遍历时不扫过该目标点来实现。这点也可以通过在至少两次再扫描遍历时被扫过的目标点中在该两次再扫描遍历之间存在至少一次不扫过该目标点的另一次再扫描遍历来实现。

[0019] 虽然在再扫描时以不同频度扫描目标点是具有优势的。由此也就是能够确保不均匀的剂量施加并且同时注意,在目标点上施加的单次剂量不会小到使得利用测量仪器不再能确保对施加的单次剂量进行可靠监视。

[0020] 但是也已经认识到,在重复的再扫描遍历时一直扫过目标点,直到施加了每个目标点的总剂量并且在随后的再扫描遍历中不再扫过该目标点是有问题的。通过该“固定的”模式,稀疏了在一个再扫描遍历中被扫过的目标点的数量。但是这点对于辐照设备是不具有优势的。如果在目标点被稀疏了的之后的再扫描遍历中射束因此必须被过于频繁地中断,例如以便从目标点的残余的孤立区到达下一个残余的孤立区,则这延长了辐照时间。

[0021] 该固定模式通过本规划方法来去除。由此能够将对一个目标点的辐照移动到下一个目标点,也就是移动到下一次再扫描遍历。这使得能够减少或避免所描述的负面效果。

[0022] 例如,在下次再扫描遍历时才扫过的目标点可以被用于连接下一次再扫描遍历的残余的孤立区。由此,可以灵活地优化在下次再扫描遍历期间扫过的射束路径。即使通常使用多个目标点,以便连接下一次再扫描遍历的残余的孤立区,(根据目标区域的几何特征以及要施加的剂量分布的配置)在下次再扫描遍历期间才扫过的单个目标点就已经能导致再扫描遍历的改善的实施。

[0023] 但是也可以这样分配在再扫描遍历期间要扫过的目标点,使得此时每次再扫描遍历扫过尽可能一样多的目标点,也就是使得在每次遍历时扫过的目标点的数量基本上相同。该基本上均匀的分布引起不出现或者仅以很低的程度出现“稀疏”。这点例如可以如下地实现,即在每次再扫描遍历时存在一个或多个不被扫过的目标点。目标点以及扫过每个目标点的次数可以统计地分布在再扫描遍历上。

[0024] 一种将目标点分配到再扫描遍历的可能性是考虑到扫描路径进行分配,更确切地说是这样,被用来在一个再扫描遍历中扫过要扫过的目标点的扫描路径满足预先定义的标准。例如可以在分配目标点之后检查,在每个再扫描遍历中从中得到的扫描路径是否满足预先定义的标准。如果否,则可以改变对目标点的分配。所述分配也可以从一开始就构造为在待执行的算法中不允许或禁止目标点和再扫描遍历的特定组合。

[0025] 预先定义的标准例如可以是,使得在扫描路径中两个要依次扫过的目标点之间的距离低于阈值。例如可以确定,在两个目标点之间的最大距离小于 20mm,特别地小于 10mm 或 5mm。也就是在这种情况下可以进行扫描,而无需强制断开在两个目标点之间的射束。另一种可能的标准可以是在驶过扫描路径时射束的必须要中断的次数,成立将该次数最小化或该次数应当低于阈值。

[0026] 按照一种优选的实施方案,规划方法被这样构造,使得在目标点中要施加的总剂量是在该目标点中要施加的单次剂量的整数倍,如果目标点以再扫描遍历扫过,则总是施加该单次剂量。该限制具有如下的优点,即在每个目标点中始终可以施加总的单次剂量。由此可以避免施加单次剂量的几分之一而引发的问题,因为其不能以提出的准确性被监视。

[0027] 该实施方案也可以独立于公开的方法执行。这意味着,在再扫描时或在辐照规划时对于每个目标点的再扫描方法仅允许总剂量与单次剂量之间的比例为整数。通过这种方式可以确保每个目标点始终施加总的单次剂量。例如可以通过预先规定限制了在确定辐照参数时的自由度的边界条件来执行这样的实施方式。例如也可以这样选择目标点的空间位置,使得可以满足该预先规定。作为整数关系的基础的单次剂量可以对于总的辐照规划被

相同地选择,或者也可以对于辐照规划的不同片段(如对于不同的目标区域)被不同地选择。

[0028] 具有优势地是,这样小地选择单次剂量,使得其恰好尚大于阈值。也就是由此可以确保刚好能够监视剂量施加。也就是如果单次剂量太小,则因此不能实现通过测量仪器以足够的准确性对单次剂量进行监视,这点最终会危及治疗结果。

[0029] 独立于公开的方法也可以具有优势的是,在目标点中要施加的单次剂量,也就是在扫过目标点时施加的剂量尤其在再扫描时这样选择,使得单次剂量始终大于预先给定的阈值。通过这种方式可以确保单次剂量尚可由用来监视剂量施加的测量仪器以提出的准确性进行监视。单次剂量可以与测量仪器的测量范围的选择一致以及与从加速器中提取的强度一致;总体上明确考虑使用的硬件的可能性。如果在辐照运行时硬件以其它运行模式运行,例如以改变的提取强度和/或以探测器的测量范围的其它选择,则可以调整预先给定的阈值。

[0030] 尽管如此但是在该预先规定内的单次剂量要尽可能小地选择,因为这样提高了再扫描遍历的次数并且由此明显显现再扫描的正面效果。此外,可以更简单地满足预先规定“总剂量是单次剂量的整数倍”。例如单次剂量可以始终低于阈值的十倍或五倍,特别是低于阈值的两倍。用于辐照设备的辐照规划装置或控制装置可以被相应地构造。

[0031] 按照一种优选的实施方式,在目标区域的目标点中始终分别施加同样大小的单次剂量。该实施方案特别适合于安装到辐照设备,因为辐照设备可以被构造并优化到要施加的同样大小的单次剂量。例如用来监视单次剂量施加的装置的测量范围可以与单次剂量的大小一致。此外,在再扫描时以及特别是在体积再扫描时可以发生,在无需切换等能量层的条件下和/或在无需切换用来从加速器单元提取粒子束的强度的条件下,和/或在无需切换诸如电离室系统的测量装置的测量范围的条件下进行辐照,这产生同样大小的单次剂量。

[0032] 在此,在转入目标体积的以不同的再扫描遍历辐照的另一个目标区域之前,不需要完全以所有再扫描遍历扫描目标区域。在用来辐照某一个目标区域的一些再扫描遍历期间就已经能够扫过另一个目标区域的目标点。同样通过针对某一个目标区域的再扫描遍历与另一个目标区域的再扫描遍历的该“交织”可以实现优选地扫过目标点。例如如果在再扫描遍历时要扫过只有几个目标点的目标区域,则可以考虑将这些目标点安置到另一个目标区域的另一次再扫描遍历中。也就是由此具有优势地是,当已经开始辐照另一个目标区域时,还有目标区域的一部分目标点才待扫过。同样该方法可以独立于公开的方法执行。用于辐照设备的辐照规划装置或控制装置可以被相应地构造。

[0033] 按照本发明的用于辐照目标体积中的目标区域的方法被如下地构造,使得目标区域包括各个待扫过的目标点并且使得在目标区域中尤其施加不均匀的剂量分布。目标区域通过多次再扫描遍历被辐照,也就是目标区域总共被多次扫描。目标区域的目标点本身在再扫描遍历期间以不同的频度被扫过,从而至少一部分目标点不是在每次再扫描遍历时都被扫过。该方法被如下地构造,使得在不是在每次再扫描遍历时都扫过的至少一个目标点中在扫过该目标点的最后的再扫描遍历之前实施至少一次不扫过该目标点的其它再扫描遍历。

[0034] 按照本发明的辐照规划装置具有计算单元,该计算单元被构造为用于执行用于辐

照规划的公开方法中的一个。这点例如可以借助适当的计算机程序来实现。

[0035] 按照本发明的用于辐照设备的控制装置具有控制计算机,该控制装置机在辐照期间这样控制辐照设备,使得执行公开方法中的一种以用于辐照目标体积中的目标区域。同样,这点可以通过适当的计算机程序来实现。按照本发明的辐照设备具有这样的控制装置。

[0036] 对于用于辐照规划的方法已经举出或解释的实施方式和优点对于用于对目标体积中的目标区域进行辐照的方法同样有效,并且以相应的方式对于辐照规划装置以及对于辐照设备的控制装置也同样有效。

附图说明

[0037] 具有按照从属权利要求的特征的扩展的本发明的实施方式借助下面的附图作进一步说明,但不限制于此。

[0038] 图 1 示出了穿过能够用来执行再扫描方法的辐照设备的示意性的总平面图,

[0039] 图 2 示出了用于表示在等能量层中的一层中施加的不均匀的剂量分布的图表,

[0040] 图 3 示出了在目标区域中要施加的剂量分布的示意图,

[0041] 图 4 至图 7 示出了四个要依次实施的再扫描遍历的图示,显示了在每次再扫描遍历中扫过的目标点,

[0042] 图 8 示出了在本发明的实施方式的情况下执行的方法步骤的示意图。

具体实施方式

[0043] 图 1 以极其示意性的图示示出了粒子治疗设备 10 的结构。粒子治疗设备 10 被用于利用由粒子组成的射束对布置在定位装置上的身体进行辐照,该由粒子组成的射束在以下被称为粒子束 12。特别地,作为目标体积 14 的患者的肿瘤病症组织可以利用粒子束 12 来辐照。同样,粒子治疗设备 10 用于辐照非生命体,特别是水模体或其它模体。例如出于检查和验证辐照参数的目的可以在对患者进行辐照之前和 / 或之后对水模体进行辐照。但是也可以为了研究的目的利用粒子束 12 来辐照其它身体,特别是诸如细胞培养或细菌培养的试验结构。在所有的情况下都可以是运动或静止的身体。

[0044] 典型地,粒子治疗设备 10 具有加速器单元 16,例如同步加速器、粒子回旋加速器或提供具有为辐照所需的能量的粒子束 12 的其它加速器。尤其采用诸如质子、介子、氦离子、碳离子或其它元素的离子的微粒作为粒子。典型地,粒子束 12 具有 3-10mm 的射束直径。

[0045] 在待辐照的目标体积 14 中勾画出相应于等能量层的层 18、20、22、24、26 和 28。等能量层 18、20、22、24、26 或 28 在特定的粒子束 12 的能量的情况下通过粒子束 12 的入射深度标出。在此处示出的示例中每个等能量层 18、20、22、24、26、28 表示在应当以再扫描方法进行辐照的目标体积 14 内的一个目标区域。

[0046] 优选采用光栅扫描方法作为扫描方法,其中粒子束 12 从目标点 50 引导至目标点 50,在从目标点 50 向下一个过渡时无需断开。也可以采用需要在各个目标点 50 之间断开粒子束的斑点扫描方法或者诸如连续扫描方法的其它扫描方法,以便通过再扫描方法辐照目标区域。在图 1 中示出了目标体积 14 中的中间的等能量层 22 的一些依次以粒子束 12 扫过的目标点 50。

[0047] 借助扫描磁体 30 影响粒子束 12 向其侧向偏转,也就是向其垂直于射束延伸方向

(也称为 x 方向和 y 方向) 的位置偏转。此外设置能量调制装置 32, 利用该能量调制装置可以快速改变粒子束 12 的能量, 从而可以改变粒子束 12 的入射深度。通过这种方式也能在粒子束 12 的射束方向上进行再扫描(“体积再扫描”, 也就是射束路径不必在等能量层内延伸)。

[0048] 辐照设备 10 还具有流程控制器 36 和用于监视射束参数的探测器 34。此处示出的粒子束设备 10 的部件的布置仅是示例性的。同样可以考虑其它布置的结构。

[0049] 流程控制器 36, 也就是设备的探测系统, 控制设备的各个部件, 诸如加速器 16、扫描磁体 30, 并且收集测量数据, 诸如用于监视射束参数的探测器 34 的数据。通常基于借助辐照规划装置 38 确定并提供的辐照规划 40 进行控制。

[0050] 在此处示出的粒子治疗设备 10 可以执行本发明的实施方式。可能的实施方式根据下面的附图作进一步说明。

[0051] 在图 1 中的目标体积 14 具有椭球形状。如果目标体积 14 总体上应当以均匀额定剂量辐照, 则对于中间的等能量层 22 这意味着, 在中间的等能量层 22 中要施加的剂量分布是不均匀的。在对在射束方向上位于中间的等能量层 22 后面的等能量层 24、26、28 进行辐照时, 这造成了中间的等能量层 22 的中央区域已经负担了小的剂量。因此, 对于中间的等能量层 22, 在边缘要施加的剂量比在中央更多。

[0052] 在图 2 中示出了针对中间的等能量层的一些目标点在中间的等能量层 22 中能施加的剂量分布。在此, x 轴表征沿着中间的等能量层内的一条线的目标点的位置 x, y 轴表征要施加的总剂量 D。

[0053] 虚线标出提供最小注量 (Fluenz) (并且借此也确定最小要施加的剂量) 的阈值 60, 它的施加可以通过粒子治疗设备 10 的测量仪器以提出的准确性来监视。

[0054] 在此, 对于中间的等能量层 22 这样选择要施加的不均匀的总剂量 62, 使得在目标点 50 中的各个要施加的总剂量 62 始终是单次剂量 64 的整数倍。该选择一般在辐照规划期间做出并且因此一般可以是没有问题的, 因为单次剂量 64 选择得这样小, 使得其仅稍高于阈值 60, 也就是通常明显小于要施加的总剂量 62。单次剂量 64 例如可以低于阈值 60 的 1.5 倍。单次剂量 64 的选择引起: 一方面确保了能够以提出的准确性监视剂量施加, 而另一方面能够扫过尽可能多次的再扫描遍历, 以便对中间的等能量层 22 施加总剂量 62。

[0055] 以再扫描方法辐照等能量层。在此, 在不同的再扫描遍历期间总体上这样频繁地扫过目标点 50, 直到已经达到用于该目标点 50 的总剂量 62。在每次扫过目标点 50 时总的单次剂量 64 可以基于整数的比例来施加。

[0056] 单次剂量的预先规定导致以较少次的再扫描遍历辐照一般以微小剂量辐照的近中心层, 因为该层已经存有先前剂量。但是这点是可代替的, 因为该区域已经通过间接地以多个再扫描遍历辐照远中心层而被辐照。此外, 在近中心层中通常采用允许更精确的剂量测量并且相应地允许更小的阈值 60 的设置。这点例如可以通过粒子束的更低强度以及通过选择用来监视粒子束的剂量施加的测量装置(诸如电离室)的更灵敏的测量范围来达到。

[0057] 借助图 3 至图 8 结合假设的正方形的等能量层 52 解释本发明的方法的实施方式。示出的等能量层 52 是通常在实际中出现的等能量层的强烈简化。但基本原则能被更好地解释。

[0058] 图 3 示出了对于每个目标点 50 要施加的总剂量为单次剂量的倍数。可以看出,在正方形的等能量层 52 的边缘区域中的总剂量(也就是直到单次剂量的 4 倍)大于在中央区域的总剂量(仅是单次剂量的 1 倍)。这点对应于在例如图 2 示出的不均匀剂量分布中的基本原则。

[0059] 图 4 至图 7 对于四个要依次实施的再扫描遍历示出了对目标点的扫描。在此,被占用的小方格 56 意味着在相应的再扫描遍历时扫过该目标点并且在该目标点中施加单次剂量,而未占用的小方格 54 意味着在再扫描遍历时不扫过或省略该目标点。

[0060] 在此,目标点 50 被这样分布到再扫描遍历,使得在每次再扫描遍历时扫过尽可能保持相同数量的目标点 50。此外,在将对目标点 50 的扫描分配到再扫描遍历时要注意,总是能够找到直通的扫描路径 58,从而在一个再扫描遍历中无需中断可以进行辐照。

[0061] 由于均匀分布,尤其在特定的目标点的情况下得出,存在如下的再扫描遍历:在所述再扫描遍历中不扫过该目标点并且所述再扫描遍历位于一个扫过该目标点的再扫描遍历之前。例如在中央目标点 59 的情况下就是这样。仅在第二和第四扫描遍历时扫过该目标点 59,但在第一和第三扫描遍历时不扫过。

[0062] 所述分配尤其会引起一些目标点直到在较晚的扫描遍历中才被扫过。这点使得能够找到有利的扫描路径 58。可以将已知的、如也在一般的旅行推销员问题(Traveling-Salesman Problem)中使用的算法用作为此的方法。特别是如在实际中出现的复杂目标区域的情况下会出现如下情况,即,在一个再扫描遍历中必须扫过由目标点组成的不关联的孤立区。这点可以通过所描述的将对目标点 50 的扫描分配到不同的再扫描遍历来阻止。

[0063] 图 8 示出了在规划以再扫描方法的辐照时执行的方法步骤的示意图。

[0064] 首先在待辐照的对象中定义目标体积(步骤 70)。然后将目标体积分成应当分别在多次再扫描遍历中辐照的目标区域(步骤 72)。

[0065] 对于这些目标区域的每个确定要施加的剂量分布(步骤 74)。在此,可以确定单次剂量,其描述每次扫过目标点输出到目标点的剂量。但是该单次剂量例如也可以从一开始就被规定了。确定要施加的剂量分布也可以根据特定的边界条件来进行,例如可以规定每个目标点要施加的总剂量是单次剂量的整数倍。根据单次剂量并且根据每个目标点的总剂量得出为了在目标区域中施加期望的剂量分布而必须应用的再扫描遍历的次数。

[0066] 然后,将目标点或者说对目标点的扫描分配到再扫描遍历,更确切地说是这样,使得不是在每次再扫描遍历时都被扫过的至少一个目标点中在最后扫过该目标点之前存在至少一次再扫描遍历,在该再扫描遍历期间不扫过该目标点(步骤 76)。

[0067] 在将对目标点的扫描分配到再扫描遍历之后,检查在每次再扫描遍历时是否能够满足预先定义的标准扫描路径扫过目标点(步骤 78)。例如可以检查,对在执行扫描路径时所需的射束中断的次数是低于一个值还是最小值。

[0068] 如果不满足预先定义的标准,则可以改变目标点或对目标点的扫描的分配,更确切地说是这样,使得产生的扫描路径更好地满足预先定义的标准。

[0069] 对于每个目标区域以类似的方式重复将目标点分配到再扫描遍历。然后可以按照辐照规划对目标体积或目标体积的目标区域进行辐照(步骤 80)。

[0070] 本方法可以与有关再扫描的另一种方法组合。例如可以在时间上这样设置再扫描

遍历,使得出现与目标体积的运动异步,则可以与诸如在 US20080078942A1 中公开的方法组合等。

- [0071] 附图标记
- [0072] 10 粒子治疗设备
- [0073] 11 粒子束
- [0074] 14 目标体积
- [0075] 16 加速器单元
- [0076] 18, 20, 22, 24, 26, 28 等能量层
- [0077] 30 扫描磁体
- [0078] 32 能量调制装置
- [0079] 34 探测器
- [0080] 36 流程控制器
- [0081] 38 辐照规划装置
- [0082] 40 辐照规划
- [0083] 50 目标点
- [0084] 52 正方形的等能量层
- [0085] 54 未占用的小方格
- [0086] 56 被占用的小方格
- [0087] 58 扫描路径
- [0088] 59 中央目标点
- [0089] 60 阈值
- [0090] 62 总剂量
- [0091] 64 单次剂量
- [0092] 70 步骤 70
- [0093] 72 步骤 72
- [0094] 74 步骤 74
- [0095] 76 步骤 76
- [0096] 78 步骤 78
- [0097] 80 步骤 80

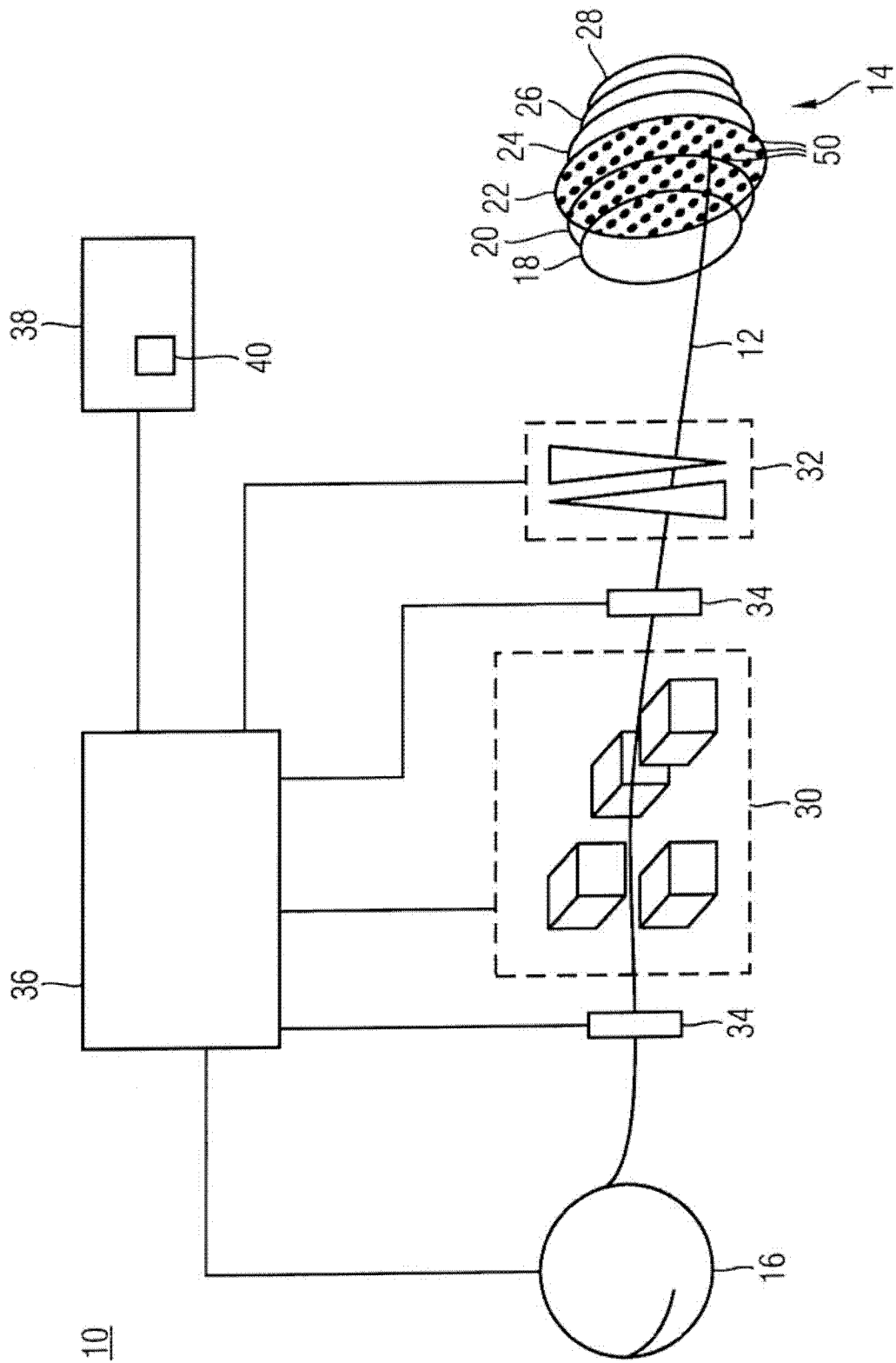


图 1

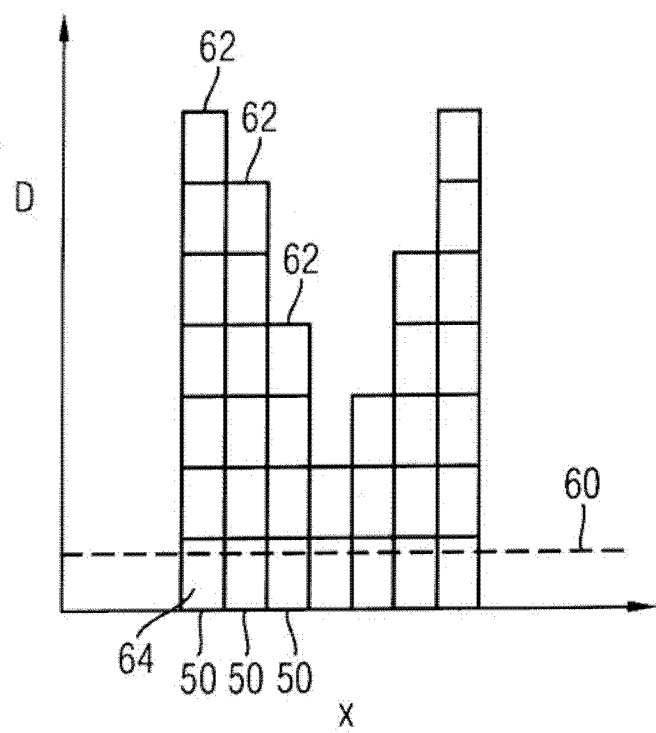


图 2

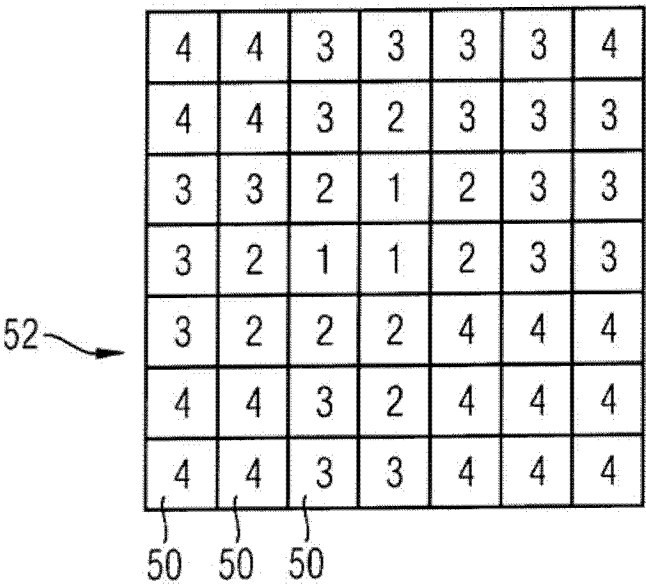


图 3

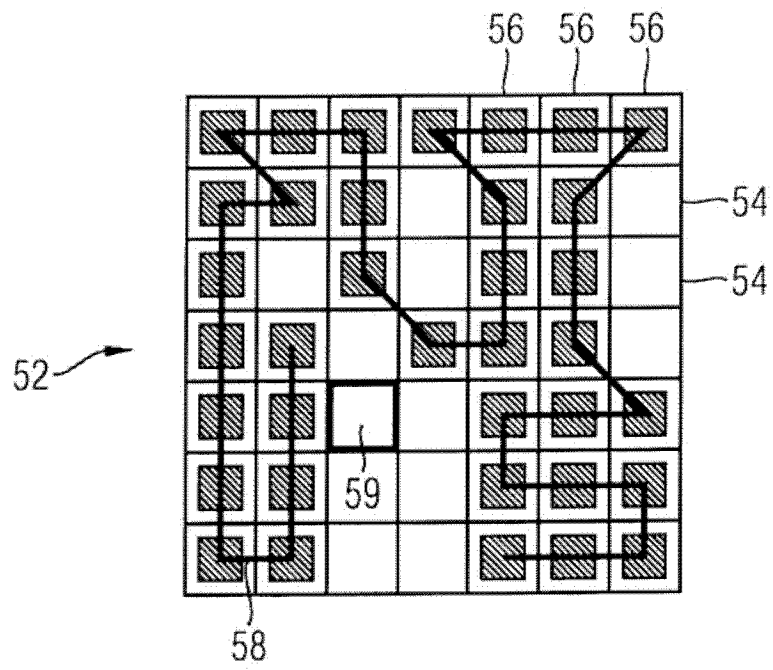


图 4

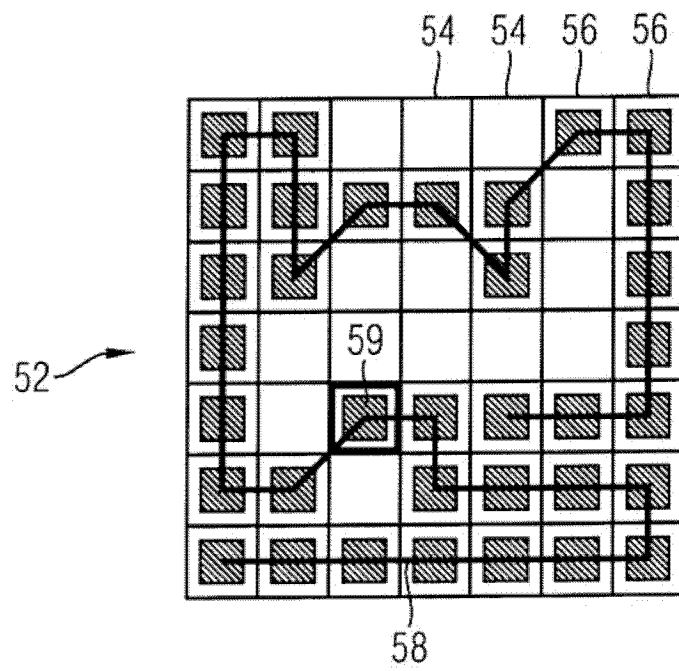


图 5

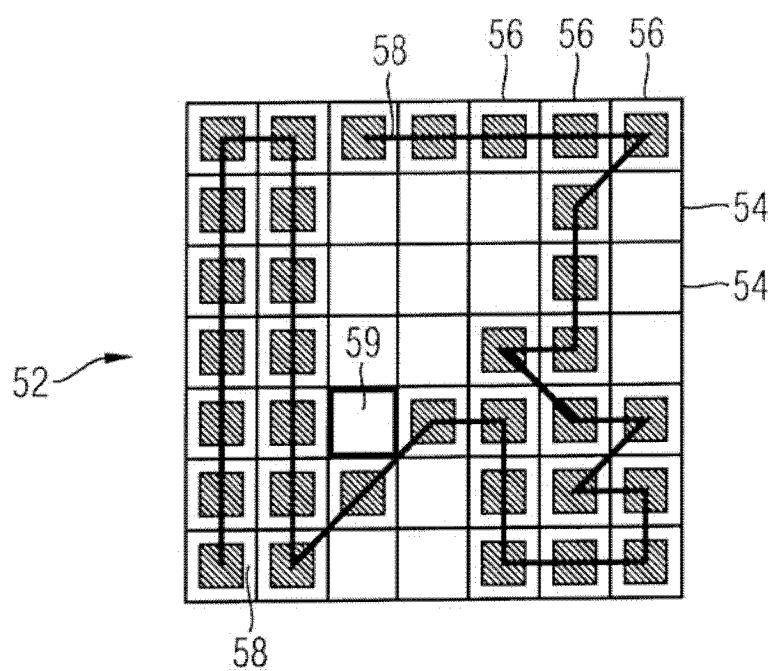


图 6

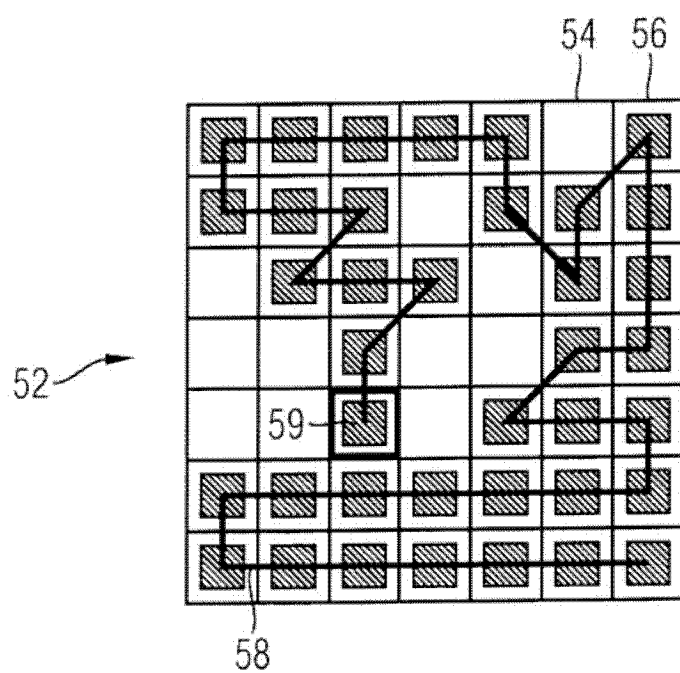


图 7

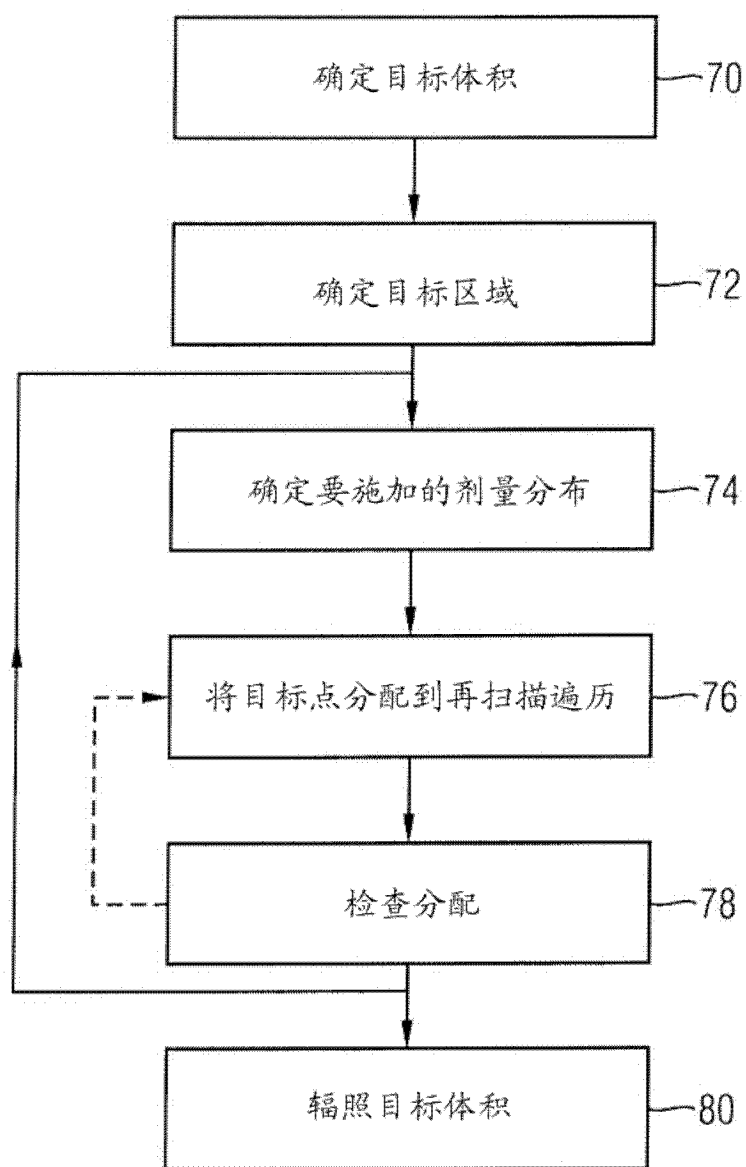


图 8