



# (12)发明专利



(10)授权公告号 CN 107708806 B

(45)授权公告日 2020.08.04

(21)申请号 201680033601.X

(22)申请日 2016.05.23

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107708806 A

(43)申请公布日 2018.02.16

(30)优先权数据  
62/172,267 2015.06.08 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.12.08

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/IB2016/053000 2016.05.23

(87)PCT国际申请的公布数据  
WO2016/198979 EN 2016.12.15

(73)专利权人 皇家飞利浦有限公司  
地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 K·A·布兹杜泽克 P·库马尔

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

代理人 李光颖 王英

(51)Int.Cl.  
A61N 5/10(2006.01)

(56)对比文件  
US 2007201614 A1,2007.08.30,  
US 2010232572 A1,2010.09.16,  
US 2004001569 A1,2004.01.01,  
US 2005207531 A1,2005.09.22,  
EP 2708261 A1,2014.03.19,  
CN 102264435 A,2011.11.30,

审查员 刘林林

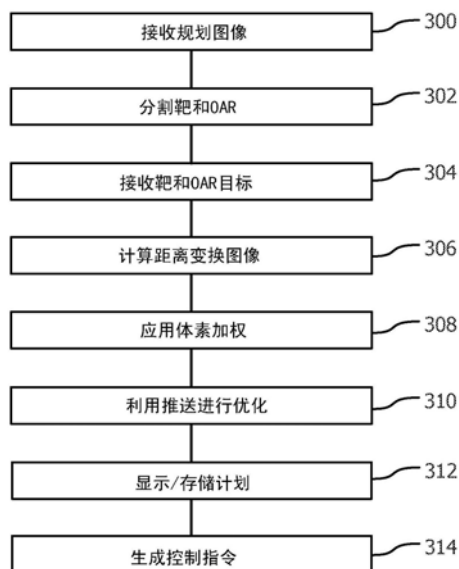
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

## (54)发明名称

具有全局考虑的辐射治疗优化单元

## (57)摘要

辐射治疗规划系统(100)包括辐射治疗优化单元(124),所述辐射治疗优化单元接收从体积图像分割的至少一个靶结构和至少一个风险器官(OAR)结构,并且基于至少一个修正目标函数生成优化的计划(126)。优化的计划(126)包括针对每个体素的规划辐射剂量。



1. 一种辐射治疗规划系统(100), 包括:

辐射治疗优化单元(124), 其被配置为接收从体积图像分割的至少一个靶结构和至少一个风险器官结构, 被配置为根据距所述至少一个靶结构中的最近的一个靶结构的距离对体素进行加权, 并且被配置为基于至少一个修正目标函数来生成优化的计划(126), 并且所述优化的计划(126)包括针对每个体素的规划辐射剂量,

其中, 所述至少一个修正目标函数中的一个修正目标函数包括与所述至少一个风险器官结构中的一个风险器官结构中的体素相关联的最大风险器官修正目标函数, 并且

其中, 所述辐射治疗优化单元(124)还被配置为接收第一剂量目标水平, 并且被配置为在所述第一剂量目标水平被满足的情况下基于所述最大风险器官修正目标函数将规划剂量水平降低到接收到的第一剂量目标水平之下。

2. 根据权利要求1所述的系统, 其中, 所述辐射治疗优化单元(124)还被配置为接收针对所述至少一个风险器官结构中的一个风险器官结构的第一权重和第一节省水平, 所述第一节省水平在所述接收到的第一剂量目标水平之下。

3. 根据权利要求1所述的系统, 其中, 所述辐射治疗优化单元(124)还被配置为接收针对所述至少一个风险器官结构中的一个风险器官结构的第二剂量目标水平、第二权重和第二节省水平, 并且所述至少一个修正目标函数中的一个修正目标函数包括与所述至少一个风险器官结构中的所述一个风险器官结构中的体素相关联的最大风险器官等效均匀剂量修正目标函数, 所述第二节省水平在所述第二剂量目标水平之下。

4. 根据权利要求2所述的系统, 其中, 所述辐射治疗优化单元(124)还被配置为接收针对所述至少一个风险器官结构中的一个风险器官结构的第二剂量目标水平、第二权重和第二节省水平, 并且所述至少一个修正目标函数中的一个修正目标函数包括与所述至少一个风险器官结构中的所述一个风险器官结构中的体素相关联的最大风险器官等效均匀剂量修正目标函数, 所述第二节省水平在所述第二剂量目标水平之下。

5. 根据权利要求4所述的系统, 其中, 所述辐射治疗优化单元(124)被配置为在针对体积中的至少一个体素的优化的迭代之间调节所述第一权重、所述第二权重、所述第一剂量目标和所述第二剂量目标中的至少一个。

6. 根据权利要求1-5中任一项所述的系统, 其中, 所述辐射治疗优化单元(124)被配置为: 生成剂量下降区域结构, 所述剂量下降区域结构包括距所述至少一个靶结构一距离的在所述至少一个靶结构周围的体素的几何体积; 并且将修正目标函数与所述剂量下降区域结构相关联。

7. 根据权利要求6所述的系统, 其中, 所述辐射治疗优化单元(124)被配置为: 生成身体区域结构, 所述身体区域结构包括身体中的体素的体积, 所述体素不包括所述剂量下降区域、所述至少一个靶结构和所述至少一个风险器官结构中的体素; 并且将最大风险器官修正目标函数与所述身体区域结构和接收到的第三剂量目标相关联。

8. 根据权利要求1-5中任一项所述的系统, 其中, 所述至少一个靶结构和所述至少一个风险器官结构包括体素的交叠区域, 并且所述交叠区域中的所述规划剂量是根据以下中的至少一项计算的:

根据所述至少一个风险器官结构的接收到的剂量目标而加权的最大风险器官修正目标函数; 或者

根据距所述交叠区域的边缘的距离和所述至少一个靶结构的接收到的剂量目标而加权的最大风险器官等效均匀剂量修正目标函数。

9. 根据权利要求1-5中任一项所述的系统, 其中, 所述辐射治疗优化单元(124)被配置为: 将剂量网格拟合到所述体积图像的体积, 并且计算空间邻近体素的至少第一迭代组中的规划剂量, 所述空间邻近体素在随后的迭代中被处理为个体体素的体积; 并且所述系统还包括:

辐射递送设备(104), 其被配置为根据所述优化的计划(126)将外部辐射束的集合递送到所述至少一个靶结构。

10. 一种在辐射治疗规划系统中执行的辐射治疗规划的方法, 包括:

接收从体积图像分割的至少一个靶结构和至少一个风险器官结构

根据距至少一个靶中的最近的一个靶的距离对体素进行加权(308);

接收(304)针对所述至少一个风险器官结构中的一个风险器官结构的第一剂量目标水平; 并且

基于至少一个修正目标函数来生成(310)优化的计划(126), 并且所述优化的计划(126)包括针对每个体素的规划辐射剂量,

其中, 所述至少一个修正目标函数中的一个修正目标函数包括与所述至少一个风险器官结构中的所述一个风险器官结构中的体素相关联的最大风险器官修正目标函数, 并且

其中, 在所述第一剂量目标水平被满足的情况下, 基于所述最大风险器官修正目标函数的生成将规划剂量水平降低到接收到的第一剂量目标水平之下。

11. 根据权利要求10所述的方法, 还包括:

接收(304)针对所述至少一个风险器官结构中的所述一个风险器官结构的第一权重和第一节省水平, 所述第一节省水平在所述接收到的第一剂量目标水平之下。

12. 根据权利要求10所述的方法, 还包括:

接收(304)针对所述至少一个风险器官结构中的一个风险器官结构的第二剂量目标水平、第二权重和第二节省水平, 并且所述至少一个修正目标函数中的一个修正目标函数包括与所述至少一个风险器官结构中的所述一个风险器官结构中的体素相关联的最大风险器官等效均匀剂量修正目标函数, 所述第二节省水平在所述第二剂量目标水平之下。

13. 根据权利要求11所述的方法, 还包括:

接收(304)针对所述至少一个风险器官结构中的一个风险器官结构的第二剂量目标水平、第二权重和第二节省水平, 并且所述至少一个修正目标函数中的一个修正目标函数包括与所述至少一个风险器官结构中的所述一个风险器官结构中的体素相关联的最大风险器官等效均匀剂量修正目标函数, 所述第二节省水平在所述第二剂量目标水平之下。

14. 根据权利要求13所述的方法, 其中, 生成(310)包括在针对至少一个体素的优化的迭代之间调节所述第一权重、所述第二权重、第一剂量目标和第二剂量目标中的至少一个。

15. 根据权利要求10-14中任一项所述的方法, 其中, 生成(310)包括: 生成剂量下降区域结构, 所述剂量下降区域结构包括距所述至少一个靶结构一距离的在所述至少一个靶结构周围的体素的几何体积; 并且将修正目标函数与所述剂量下降区域结构相关联。

16. 根据权利要求15所述的方法, 其中, 生成(310)包括: 生成身体区域结构, 所述身体区域结构包括身体中的体素的体积, 所述体素不包括所述剂量下降区域、所述至少一个靶

结构和所述至少一个风险器官结构中的体素;并且将最大风险器官修正目标函数与所述身体区域结构和接收到的第三剂量目标相关联。

## 具有全局考虑的辐射治疗优化单元

### 技术领域

[0001] 以下总体上涉及外部射束辐射治疗,并且利用对逆向规划优化技术的特定应用来描述,所述技术包括强度调制辐射治疗(IMRT)和/或体积调制弧形治疗(VMAT)辐射治疗规划。

### 背景技术

[0002] VMAT和/或IMRT辐射治疗技术向靶区(诸如癌性生长)递送高剂量以破坏或控制靶区中的患病组织。剂量目标由医学从业者基于一幅或多幅体积规划图像(例如,X射线计算机断层摄影(CT)图像)来识别。基于剂量目标,优化器被用于规划针对靶区的外部辐射的射束的取向、持续时间、形状和强度。靶区和附近的器官或风险器官(OAR)在规划图像中被识别并且通常被分割为结构。

[0003] 在递送来自辐射源的穿过身体的外部辐射的射束时,辐射射束的路径中的器官也经受递送的辐射。器官可以分为串行器官或并行器官。接收到串行器官的任何一个部分的致命剂量的辐射的诸如脑干、脊髓等的串行器官导致整个器官出故障。诸如腮腺、喉、嘴唇等的并行器官可以接收到并行器官的部分的致命剂量,并且仍然保持来自其余部分的至少一些功能。

[0004] 针对外部辐射的射束的规划方法通常包括竞争目标。一些目标要求向靶区递送辐射。其他目标要求不递送辐射或仅允许向OAR递送特定量的辐射。OAR目标通常包括最大剂量目标或最大剂量体积直方图(DVH),以及目标相对于其他OAR目标的权重或优先级。靶目标包括最小辐射剂量目标或一致剂量目标。优化器程序输入具有剂量目标的靶目标和OAR目标,并识别一组射束,每个具有强度、持续时间、形状和取向,其最优地满足竞争目标以形成计划。权重对应于分割的体积,例如OAR和靶区,针对其基于加权目标使用被应用到整个分割的体积的权重来计算规划剂量。

[0005] 医疗保健从业者查看来自优化器的输出,所述输出通常被看作是以体积方式表达的规划剂量或预期剂量,例如施加在规划图像上的等值轮廓线、剂量体积直方图等。在调谐过程中,可以改变目标,例如改变权重或剂量目标,或者可以添加目标。添加的目标可以将剂量如更多引导到特定靶区或更少引导到特定OAR。添加的目标可以包括分割结构的子集或具有对应剂量目标的额外结构,以将规划剂量改变或移位。优化器程序以改变/额外的目标重新运行,并重复该过程,直到达到可接受的优化的计划。然而,添加更多的结构和目标施加更大的复杂性、从业者的更多的时间,以及更多的计算要求,例如,更慢和/或更长的响应时间、更多的计算机硬件等。

[0006] 人工查看和引导优化器增加了宝贵的临床人员的时间,降低了吞吐量,并且增加了成本。人工查看也能够不一致。使规划过程自动化可以减少医疗保健从业者的查看、分析和改变的交互次数。

[0007] WO 2008/035213 A2公开了一种用于确定辐射治疗计划的系统。所述系统基于组织的位置特别地对健康组织施加空间可变约束。提供约束以考虑随着距靶向结构的距离增

加的剂量水平的降低。为了确定治疗计划,优化从多个辐射束到患者的辐射通量,以使包括基于剂量约束确定的基于剂量的目标成本函数最小化。

[0008] US2007/0201614A1涉及通过最小化具有与目标体积有关的项和与非目标体积或OAR有关的项的目标函数来生成辐射疗法处置计划。后一项被确定为使得其仅在被映射以穿过非目标或OAR体积的部分的小射束的强度与由小射束所沉积的剂量的乘积等于针对非靶向体积部分的预定平均剂量约束值的情况下才为零。在另一个实施例中,目标函数具有平滑项,用于将小射束的强度偏向相应射束内的均匀分布。

## 发明内容

[0009] 本发明提出了根据权利要求1所述的辐射治疗规划系统和根据权利要求9所述的辐射治疗规划方法。

[0010] 以下描述辐射治疗(RT)优化单元,其具有辐射治疗规划系统和方法的全局考虑。RT优化单元使用基于标准剂量目标函数的新一类目标函数来确定针对靶结构和OAR结构的规划辐射剂量,所述目标函数被修改为更难驱动以满足输入目标并继续驱动超过目标,但是以降低的水平。全局考虑包括靶结构和OAR结构之间的交叠和/或距离、靶结构的剂量下降区域、身体或整体剂量最小化,在可能的情况下减少超过剂量目标的针对OAR结构的剂量,并且在需要时增加针对靶结构的剂量均匀性和一致性。在一些实施例中,优化参数调谐被直接并入到优化中。

[0011] 在一个方面中,辐射治疗规划系统包括RT优化单元,其接收从体积图像分割的至少一个靶结构和至少一个风险器官辐射(OAR)结构,并且基于至少一个修正目标函数来生成优化的计划。优化的计划包括针对每个体素的规划辐射剂量。所述至少一个修正目标函数中的一个修正目标函数包括与所述至少一个OAR结构中的一个OAR结构中的体素相关联的最大OAR修正目标函数。所述辐射治疗优化单元还被配置为接收第一剂量目标,并且在所述剂量目标被满足的情况下基于所述最大风险器官结构修正目标函数将规划剂量水平降低到低于接收到的剂量目标水平。

[0012] 在另一方面中,辐射治疗规划的方法包括从体积图像中分割至少一个靶结构和风险器官(OAR)结构。基于至少一个修正目标函数生成优化的计划,并且优化的计划包括针对用户指定剂量网格内的每个体素的规划辐射剂量。所述至少一个修正目标函数中的一个修正目标函数包括与所述至少一个风险器官结构中的一个风险器官结构中的体素相关联的最大OAR修正目标函数,并且在所述剂量目标被满足的情况下基于最大OAR结构修正目标函数的生成将规划剂量水平降低到低于接收到的剂量目标水平。

[0013] 优化的规划可以被迭代地调节,并且针对至少一个体素的剂量目标和/或权重中的至少一个在至少一个迭代之间被调节。

[0014] 一种用于辐射治疗规划的计算系统的实施例包括处理器,所述处理器被配置为接收针对根据体积图像从体积分割的至少一个靶结构和风险器官(OAR)结构的剂量目标和权重。处理器还被配置为根据距至少一个靶结构中最近的一个的距离来对体积图像的体积中的体素进行加权,并且基于至少一个目标函数生成优化的计划。优化的计划包括针对体积中每个体素的规划辐射剂量。优化的计划被迭代地调节,并且针对至少一个体素的剂量目标和权重中的至少一个在至少一个迭代之间被调节。

## 附图说明

[0015] 本发明可以采取各种部件和部件布置的形式,并且可以采取各种步骤和各步骤安排的形式。附图仅是为了说明优选实施例的目的,而不应被解释为对本发明的限制。

[0016] 图1示意性地图示了与成像和辐射递送系统结合的包括具有全局考虑的RT优化单元的范例系统,。

[0017] 图2示出了身体体积中的结构的范例概念二维显示。

[0018] 图3图示了利用RT优化单元进行辐射治疗规划的范例方法。

## 具体实施方式

[0019] 首先参照图1,示意性地图示了与成像设备102和辐射递送设备104结合的范例系统100。成像设备102包括一种或多种模态的扫描器,诸如X射线计算机断层摄影(CT)扫描器、磁共振成像(MRI)扫描器、正电子发射断层摄影(PET)扫描器、单质子发射计算机断层摄影(SPECT)扫描器、组合物、混合物等,其生成用于规划辐射治疗的对象感兴趣区域(ROI)的体积图像106。体积规划图像106至少包括三维(3D)图像,例如由2D切片、3D图像、4D图像等构建的体积图像。体积规划图像106可以直接从成像设备102接收或存储在电子存储器中,例如影像归档和通信系统(PACS)、放射科信息系统(RIS)、电子病历(EMR)、云存储、服务器存储,本地存储等。

[0020] 分割器108从体积规划图像106中识别和分割结构110。分割器108使用已知或其他分割技术来自动或手动地识别和分割结构110。分割的结构110包括一个或多个靶结构,诸如肿瘤、患病组织等。分割的结构110包括一个或多个OAR结构。OAR结构包括串行和/或并行器官。每个分割的结构110是体积结构,并且可以通过体积规划图像106中的体素的子集在空间上定义。体素可以被包括在多于一个的分割的结构中。例如,靶结构可以与OAR结构(诸如包括患病组织的OAR的部分)交叠。

[0021] 诸如工作站、膝上型计算机、平板电脑、智能电话、身佩式计算设备、服务器等的计算设备112接收指示靶目标114和OAR目标116的输入。计算设备112包括显示设备118、一个或多个输入设备120以及数据处理器122,诸如数字处理器、微处理器、电子处理器、光学处理器、多处理器等。靶目标114和OAR目标116包括针对分割的结构110的辐射剂量或生物目标。

[0022] 辐射治疗(RT)优化单元124接收分割的结构110、靶目标114和OAR目标116,并将剂量网格拟合到规划图像106的体积或体积的部分。可以通过至少一个目标表示每个剂量网格体素。在一些实例中,该表示全局地减少或消除靶结构外的热剂量。不包括在OAR结构和/或靶结构中的剂量网格中的体素被包括在剂量下降区域、一般身体区域或一些其他剂量控制结构中。剂量下降区域和一般身体区域中的每个包括由具有剂量目标的结构限定的体积。在一个实施例中,粗略剂量网格被初始化,其包括组合体素,并且粗略剂量网格然后基于最优化解的收敛在优化期间被细化到体素水平。在一些实例中,这改进了包括RT优化单元124的计算设备112的性能。

[0023] RT优化单元124基于距靶结构的距离来对体素进行加权,并且通过使用修正目标函数迭代地计算规划剂量来生成优化的计划126。在一个实施例中,RT优化单元124基于距靶结构的距离对体素进行加权,并且通过使用标准目标函数迭代地计算规划剂量来生成优

化的计划126。RT优化单元124可以在优化期间调节权重和/或剂量目标。在一些实例中,RT优化单元124使用基于距离变换的体素加权方案固有地解决了交叠结构的冲突,这消除了生成额外结构和/或额外目标以交叠靶和OAR结构的开销,从而改进了计算设备112的性能。在一些实例中,修正目标函数推送超过剂量目标的计算的规划剂量,并且全局地考虑针对OAR结构的较低剂量和针对靶结构的均匀剂量。在一些实例中,调节权重和/或剂量目标,例如自调谐,降低了对医疗保健从业人员的要求,并提高了规划吞吐量。在一个实施例中,RT优化单元通过使用修正目标函数和分割结构110迭代地计算规划剂量来生成优化的计划126。

[0024] 在一个实施例中,每个修正目标函数个体地被处理。在另一个实施例中,每个剂量网格体素利用针对该体素的(一个或多个)对应的修正目标函数进行处理,这在一些实例中改进了包括多线程的计算设备112使用多个处理器核或图形处理单元(GPU)核进行逐体素处理的性能。例如,针对并行操作的大约四分之一的体素,利用逐体素处理和四核处理器,每个核可以被分配并处理修正目标函数。

[0025] 修正目标函数包括最大剂量OAR修正目标函数,最大等效均匀剂量(EUD)OAR修正目标函数和/或靶修正目标函数。在一个实施例中,修正目标函数可以包括标准靶目标函数。在一个实施例中,最大剂量OAR修正目标函数包括考虑分割结构的最大的DVH OAR修正目标函数。

[0026] 最大剂量OAR修正目标函数减少体素 $d_i$ 的规划剂量,低于目标已经达到的剂量目标 $d_g$ 。例如,在 $d_i - d_g > 0$ 的情况下,最大剂量OAR修正目标函数由以下定义:

[0027] 等式1

$$[0028] \quad F^k = w^k \sum_{i \in V} w_i \left( \frac{d_i - d_{go}}{d_{go}} \right)^2 \Delta v_i,$$

[0029] 否则修改最大剂量OAR修正目标函数被定义为:

[0030] 等式2

$$[0031] \quad F^k = w^k \sum_{i \in V} w_i \left( \frac{f(OFValue_{\text{靶}}, c)}{d_{go}} \right)^2 \Delta v_i,$$

[0032] 其中, $d_{go} = d_g - d_o$ , $d_o$ 是从目标偏移的剂量, $w^k$ 是第 $k$ 个OAR结构和剂量目标的权重或优先级, $w_i$ 是体素 $i$ 的权重, $f(OFValue_{\text{靶}}, c)$ 是残差驱动器,OFValue是修正目标函数的(一个或多个)值, $c$ 是常数, $v_i$ 是体素 $i$ 的体积,并且 $\Delta v_i$ 是相对于第 $k$ 个OAR结构的体积 $V$ 的体素体积。残差驱动器是常数或基于(一个或多个)靶目标函数值的函数。接收或输入的OAR目标116包括目标剂量( $d_g$ ),优先级/权重( $w^k$ )和节省(sparing)水平( $c$ )。在一个实施例中,节省水平是常数或目标剂量的函数。节省水平可以是剂量目标的值,其中, $c < d_g$ ,或者被表达为目标剂量的函数,例如百分比。

[0033] 一旦达到剂量目标,例如 $d_i \leq d_g$ ,残差驱动器将规划剂量降低到低于目标。梯度函数(其是具有与剂量目标的偏移( $d_o$ )的目标函数的导数)具有增加推送或减少规划剂量以达到剂量节省水平的效果。在另一个实施例中,等式2使用小偏移值,例如, $F^k = d_i - x$ ,其中, $x$ 是小偏移。在一个实施例中,RT优化单元124针对所有值使用由等式1定义的目标函数,例如,标准化的目标函数。在一些实例中,这意味着目标函数操作为正好满足目标。针对等式1



(其中,  $d_i - d_g > 0$ ) 的梯度函数由下式定义:

[0034] 等式3

$$[0035] \quad \frac{dF^k}{dd} = \frac{dF^k}{dd} w^k \sum_{i \in V} w_i \left( \frac{d_i^2 - 2d_{go}d_i + d_{go}^2}{d_{go}^2} \right)^2 \Delta v_i = 2w^k \sum_i w_i \left( \frac{d_i - d_{go}}{d_{go}^2} \right) \Delta v_i,$$

[0036] 否则根据等式2的梯度函数由下式定义:

[0037] 等式4

$$\frac{dF^k}{dd} = \frac{dF^k}{dd} w^k \sum_{i \in V} w_i \left( \frac{f(OFValue_{\text{靶}}, c)}{d_{go}^2} \right)^2 \Delta v_i =$$

[0038]

$$2w^k \sum_i w_i \left( \frac{f(OFValue_{\text{靶}}, c)}{d_{go}^2} \right) \Delta v_i。$$

[0039] 例如,在脊髓的串行OAR的情况下,典型的最大剂量是45戈瑞 (Gy),例如,最大OAR剂量目标。在50Gy的体素剂量值、2的OAR结构权重、1的体素权重、1的相对体素体积、2Gy的剂量偏离目标的情况下,针对体素的修正目标函数值是  $2 * ((50 - 45 - 2) / (45 - 2))^2 * 1 = 0.053$ ,并且梯度值为  $2 * 2 * (50 - 45 - 2) / (45 - 2)^2 * 1 = 0.015$ 。在46Gy的剂量值的情况下,修改后的目标函数值降至  $2 * ((46 - 45 - 2) / (45 - 2))^2 * 1 = 0.010$ ,并且梯度降至  $2 * 2 * (46 - 45 - 2) / (45 - 2)^2 * 1 = 0.006$ 。在44Gy的剂量值的情况下,针对体素的目标被满足,例如,  $44\text{Gy} < 45\text{Gy}$ 。使用1Gy的残差驱动器值,然后修正目标函数值为  $2 * (1 / (45 - 2))^2 * 1 = 0.001$ ,并且梯度为  $2 * 2 * 1 / (45 - 2)^2 * 1 = 0.002$ 。目标函数的值指示满足目标的成功。较大的值表示距满足针对结构的剂量目标的目标更远的距离。梯度函数用于驱动RT优化单元,以基于外部辐射束束的持续时间、方向、取向、形状等的变化来改变规划剂量。

[0040] 最大EUD OAR修正目标函数类似地将OAR结构的规划剂量EUD<sup>k</sup>降低为低于EUD目标EUD<sub>g</sub>,其中,已经满足目标。例如,在EUD<sup>k</sup> - EUD<sub>g</sub> > 0的情况下,最大EUD OAR修正目标函数被定义为:

[0041] 等式5

$$[0042] \quad F(EUD^k, EUD_{go}) = w^k \left( \frac{EUD^k - EUD_{go}}{EUD_{go}} \right)^2,$$

[0043] 否则最大EUD OAR修正目标函数被定义为:

[0044] 等式6

$$[0045] \quad F(EUD^k, EUD_{go}) = f(OFValue_{\text{靶}}, c),$$

[0046] 其中,k是被评价的OAR结构,EUD<sub>o</sub>是从目标的偏移,  $EUD_{go} = EUD_g - EUD_o$ ,  $w^k$ 是OAR结构的权重或优先级,  $w_i$ 是体素i的权重,  $f(OFValue_{\text{靶}}, c)$ 是残差驱动器,  $d_i$ 是体素i中的剂量,  $v_i$ 是体素i的体积,并且  $\sum_{j=1}^N v_j$ 是OAR结构中的所有体素的总体积。残差驱动器可以是常数或基于(一个或多个)靶目标函数值的函数。接收或输入的OAR目标116包括EUD水平(EUD<sub>g</sub>)、优先级/权重( $w^k$ )和节省水平(c)。在一个实施例中,节省水平是常数或EUD水平的函数。节省水平可以是EUD水平的值,其中,  $c < EUD_g$ 或者被表达为EUD水平的函数,例如百分比。

[0047] 最大EUD OAR修正目标函数的梯度函数(具有与EUD目标体积的偏移的最大EUD OAR修正目标函数的导数)具有增加推送或减少规划剂量以达到EUD目标的效果。一旦达到

EUD目标,残差驱动器将规划剂量降低到低于EUD目标,并且可以通过下式来定义:

[0048] 等式7

$$[0049] \quad \frac{\partial F(EUD^k, EUD_{go})}{\partial d_i} = \frac{2w^k w_i v_i (EUD^{k^{1-a}} - d_i^{a-1})(EUD^k - EUD_{go})}{EUD_{go}^2}。$$

[0050] 靶目标函数使用标准均匀剂量目标函数或最小剂量和最大剂量目标函数的对。例如,最大/最小剂量目标函数可以由下式来定义:

[0051] 等式8

$$[0052] \quad F^k = w^k \sum_{i \in V} f(d_i, d_g) \left( \frac{d_i - d_g}{d_g} \right)^2 \Delta v_i$$

[0053] 其中,  $f(d_i, d_g) = H(d_i - d_g)$  用于最小剂量目标函数,  $f(d_i, d_g) = d_g - d_i$  用于最大剂量目标函数,并且H是Heaviside函数。接收或输入的靶目标包括第一剂量目标水平( $d_g$ )、靶结构的优先级/权重以及第二剂量目标水平( $d_{hs}$ ),其中,  $d_g \leq d_{hs}$ 。第一剂量目标水平操作为对应靶结构的最小剂量目标,并且第二剂量水平操作为对应靶结构的最大剂量目标。在一个实施例中,第一剂量目标水平包括针对给定体积的最小剂量(Min DVH),并且第二剂量目标水平包括针对给定体积的最大剂量(Max DVH)。在一些情况下,Min DVH/Max DVH允许一定比例的靶结构具有热点。

[0054] 在一个实施例中,靶目标函数包括类似于等式1和等式2的修正目标函数,基于增加的剂量或剂量最小值来改变目标,并且在满足第一剂量目标的情况下残差驱动器的推送进行操作以将规划剂量增加到高于剂量目标。在一个实施例中,增加违规体素的目标权重以将那些体素驱动到强制第二剂量目标水平( $d_{hs}$ )的范围内。在一个实施例中,第二剂量目标水平是常数或第一剂量目标的函数。增加可以是基于最优化迭代次数、体素剂量或其他参数的单次增加或递增增加。

[0055] RT优化单元124可以包括参数调谐。参数调谐包括改变权重和/或剂量目标。可以针对分割结构或针对每个体素执行权重和/或剂量目标更改。调节可以在每次优化迭代之前或之后执行,或者在一些其他模式中执行,例如每隔一个迭代,每第n个迭代,或者迭代周期可以定义任意函数。在一个实施例中,为了调谐而选择的迭代基于收敛水平,诸如连续当前剂量之间的差异 $|d_i - d_{i+1}|$ ,当前剂量与目标剂量之间的差异 $|d_i - d_g|$ 等。

[0056] 在一个实施例中,可以使用以下等式来控制OAR修正目标函数权重:

[0057] 等式9

$$[0058] \quad W_i = \frac{W_{i-1} * OFValue_{\text{目标}}}{OFValue_i},$$

[0059] 其中,W是权重,i是迭代次数,并且OFValue是目标函数值。OFValue<sub>目标</sub>是通过仅优化靶目标来计算的,例如,排除OAR目标,并且然后使用由下式定义的乘积来计算修正靶目标函数值的百分比:

[0060] 等式10

$$[0061] \quad OFValue_{\text{目标}} = OFValue_{\text{靶}} * TargetOARBalance,$$

[0062] 其中,TargetOARBalance是常数,可以每修正靶目标基于目标的权重或其他方法确定。

[0063] 在一个实施例中,在尚未达到剂量目标的情况下,修正目标函数被独立地调谐。例如,推送,例如,减少针对OAR目标的规划剂量,增加针对靶目标的规划剂量,可以通过改变修正目标函数的剂量目标关闭残差驱动器。任何OAR结构外(例如在身体区域的其他部分中)的体素也可以以与修正目标函数中定义的残差驱动器操作类似的方式进行优化,这避免了非故意地将剂量驱动到身体的非定义区域中。在另一个实施例中,修正目标函数的残差驱动器以裕量被应用到目标区域外的每个体素,例如,剂量下降区域。在下降区域中的剂量利用基于距(一个或多个)目标的距离改变最大剂量目标通过单独的目标(例如修正EUD或修正最大剂量目标)来优化。

[0064] 治疗控制设备128接收优化的计划126并生成用于诸如线性粒子加速器(LINAC)、质子治疗设备等的辐射递送设备104的一组控制指令130以使用IMRT或VMAT将外部辐射的射束递送到对象。

[0065] 分割器108、RT优化单元124和治疗控制设备128适当地由一个或多个配置的数据处理器(例如数据处理器122)来实现,处理器的分布包括对等或合作操作的处理器、处理器的客户端-服务器布置等。所配置的处理器运行存储在计算机可读存储介质(“存储器”)132中的至少一个计算机可读指令,该计算机可读存储介质排除了暂态介质并且包括物理存储器和/或其它非暂态介质以执行所公开的分割、优化和控制指令生成技术。所配置的处理器还可以运行由载波、信号或其他暂态介质承载的一个或多个计算机可读指令。

[0066] 参考图2,以剂量网格209示出了体积208中的靶结构200和OAR结构202、204、206的范例概念二维显示。第一OAR结构202与靶结构200分离。从概念上,第一OAR结构202被辐射射束210指示为并行器官,辐射射束210穿过该体积,例如,并行器官可以接收牺牲OAR体积的部分以达到针对靶结构200的剂量目标的辐射剂量。全局考虑是在可能的情况下将递送到第一OAR结构202的辐射降低到低于针对第一OAR结构202的剂量目标。

[0067] 第二OAR结构204在交叠区域212中与靶结构200交叠。第二OAR结构204在概念上被表示为串行器官,并且全局考虑是辐射被最小化为包括交叠区域212的串行器官。另一个全局考虑是不牺牲串行器官的任何部分,并尽可能将剂量推送到剂量目标以下。通过针对最大剂量OAR修正目标函数对包括交叠区域212的第二OAR结构204中的体素进行加权来实现全局考虑,例如设置为1,而针对靶目标函数或靶修正目标函数对交叠区域212中的体素的加权不被给予权重,例如,设置为零。

[0068] 第三OAR结构206在第二交叠区域214中与靶结构200交叠。第三OAR结构206在概念上被表示为并行器官,并且尽管辐射在可能的情况下被最小化,但靶结构200将接收针对包括交叠部分214的靶结构的剂量目标。至少交叠部分214被认为是靶结构200的部分和第三OAR结构206的部分的另一个全局考虑会被牺牲。另一个全局考虑是,在可能的情况下,剂量可以降低到低于第三OAR结构206的剂量目标,在一些情况下,其具有不牺牲并行器官或牺牲并行器官的更少部分的效果。根据靶目标函数或靶修正目标函数对交叠区域214中的体素进行加权。在一个实施例中,体素以梯度形式或通过距离的剂量下降被加权,这将权重从靶结构200的权重与交叠区域214的与靶结构200邻近的边缘的转移到第三OAR结构206的边缘以及根据针对第三OAR结构206的最大EUD OAR修正目标函数的权重。

[0069] 剂量下降区域216(其是靶结构之间和周围的几何区域)中的体素包括从靶结构200减少的剂量目标。剂量下降区域216包括与靶结构200相距一距离的体素。在一个实施例

中剂量下降区域216包括每距离的剂量下降或剂量下降率,例如,厘戈瑞/厘米(cGy/cm)。例如,剂量目标从靶结构200的剂量目标或其他医疗保健从业者指定的量减少50%。在另一范例中,针对体素的剂量目标随着距靶结构200的距离而变化,直到达到50%的减少。全局考虑是靶适形性和减少全身剂量。例如,辐射将被递送到由靶结构中的每个体素表示的体积,并确保靶结构的覆盖,同时最小化全身剂量。剂量下降区域可以包括邻近剂量下降区域216或在剂量下降区域216内的OAR。如范例中所示,第一OAR结构202、第二OAR结构204和第三OAR结构206被包括在剂量下降区域216中。剂量下降区域的厚度不一定几何均匀,并且每距离的剂量下降可以在整个区域上变化。

[0070] 剂量下降区域216中的体素相对于其与靶结构的接近度和最小靶剂量目标被优化成到同的最大剂量水平。更靠近靶结构的体素具有比远离的体素更高的最大剂量水平。而且,邻近较高剂量靶的体素具有比邻近较低剂量目标的体素更高的最大剂量水平。

[0071] 身体区域218包括靶结构200、OAR结构202、204、206和剂量下降区域216外部的体素体积。与OAR目标类似地接收或输入最大身体剂量目标并且所述最大身体剂量目标包括剂量目标水平和权重。身体区域可以自动确定,并作为新的结构被包括。最大剂量OAR修正目标函数最小化到身体的剂量,并全局地考虑避免热点。在一个实施例中,剂量下降区域216和身体区域218的结构与不同体素加权相结合,并且最大EUD和/或最大剂量OAR修正目标函数使身体剂量最小化。距靶结构最近的体素包括比远离体素更低的权重。

[0072] 参考图3,图示了利用RT优化单元124进行辐射治疗规划的范例性方法。在300处,接收体积规划图像106。规划图像106可以从成像设备102或从存储设备接收。

[0073] 在302处,靶结构和OAR结构由分割器108分割。在304处接收靶结构剂量目标和权重以及OAR结构剂量目标和权重。还可以在304处接收身体剂量目标和下降剂量目标。

[0074] 在306处,由RT优化单元124计算距离变换图像,RT优化单元124针对每个体素提供距至少最近靶结构的距离。基于计算的距离构建针对身体区域和剂量下降区域的一个或多个结构。

[0075] 在308处体素加权由RT优化单元124计算和分配,并且目标函数与加权的体素相关联。体素加权最初是根据(一个或多个)分割结构计算的,并且可以通过计算的距离来修改。例如,表示OAR结构的体素的权重根据分割的OAR结构从权重中分配。表示包括交叠区域的并行结构的体素的权重从靶结构应用,并且可以包括针对交叠区域的剂量下降。根据接收到的权重应用来自剂量下降区域和身体区域的权重,并且通过计算的距离修改剂量下降区域中的体素。

[0076] RT优化单元124基于至少一个修正目标函数和针对每个体素的相关联的规划剂量来生成优化的计划,其包括规划的外部辐射射束的集合。针对最大OAR修正目标函数和/或最大EUD OAR修正目标函数,一旦满足目标,RT优化单元124在可能的情况下推送或降低剂量为更低和/或通过调谐来调节目标剂量。对于靶修正目标函数,RT优化单元124在可能的情况下推送或增加剂量为更高。RT优化单元124可以在迭代之间调节体素的加权和/或剂量目标。

[0077] 在312处,可以将所生成的规划的外部辐射射束的集合和/或基于规划的外部辐射射束的集合的规划剂量显示和/或存储在存储装置中,例如,计算机存储器中。规划剂量可以叠加显示在规划图像106上,例如利用等值轮廓线。可以在显示器上指示分割结构、剂量

下降区域和/或身体区域,例如使用对比度或彩色图。

[0078] 治疗控制设备128可以基于生成的规划的外部辐射射束的集合在314处生成用于辐射递送设备104的控制指令。

[0079] 以上可以通过编码或嵌入在计算机可读存储介质上的计算机可读指令来实施,所述计算机可读指令在由(一个或多个)计算机处理器运行时令所述(一个或多个)处理器执行所描述的动作。额外地或备选地,计算机可读指令中的至少一个由信号、载波或其他暂态介质承载。

[0080] 已经参考优选实施例描述了本发明。在阅读和理解了前面的详细描述时,其他人可能会想到修改和变化。本发明旨在被构造为包括所有这样的修改和变化,只要它们落入权利要求或其等同物的范围内。

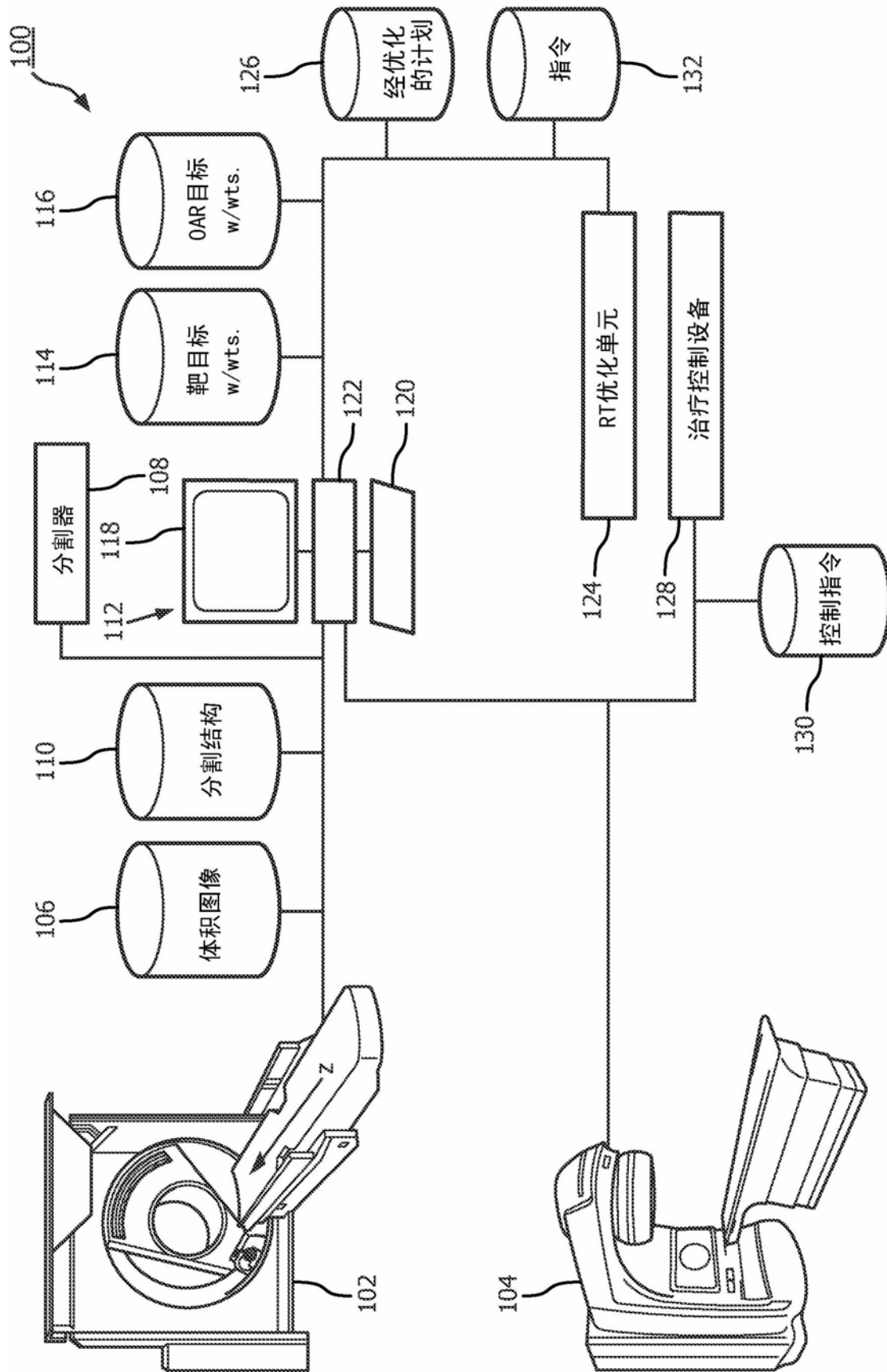


图1

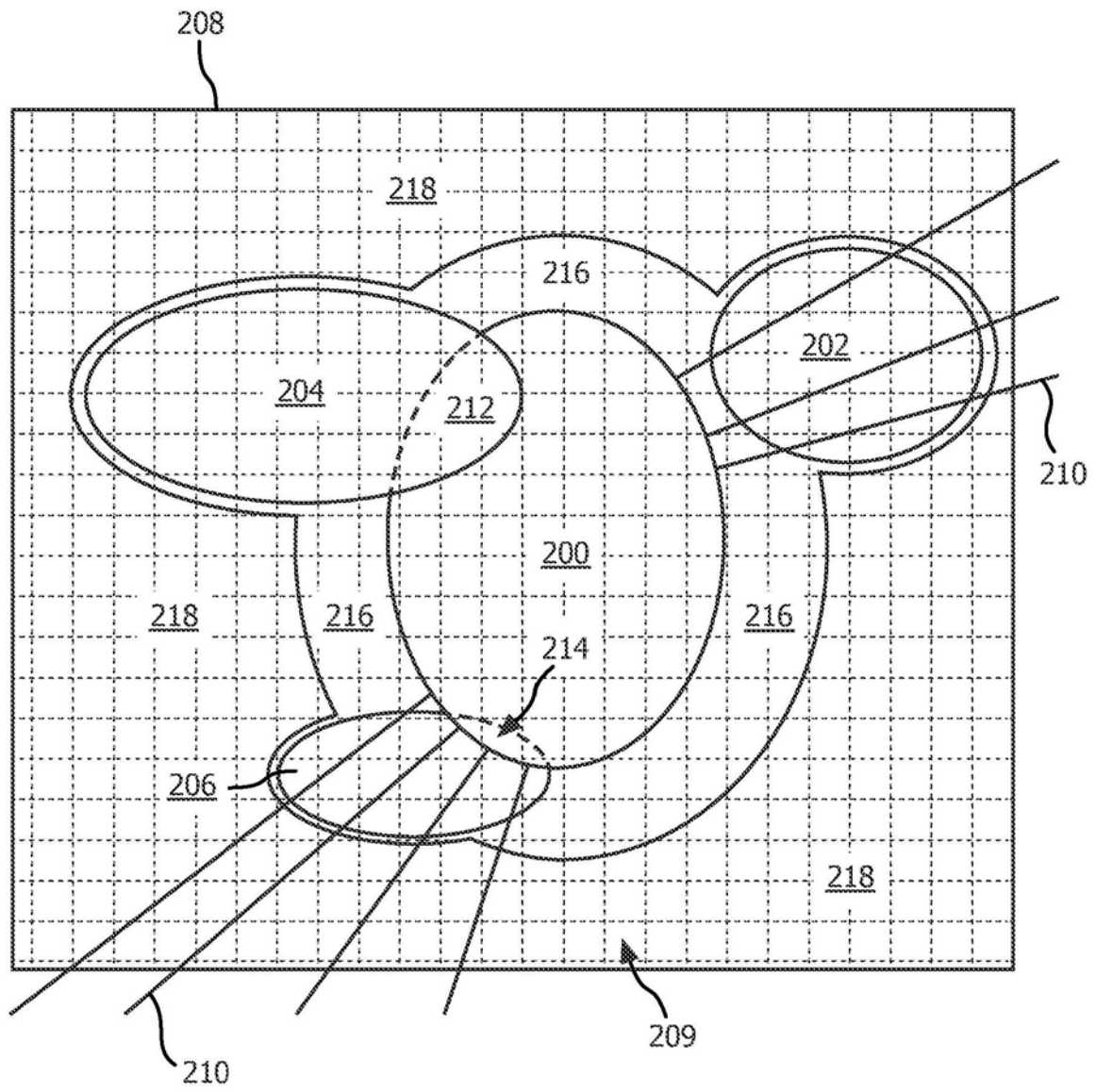


图2

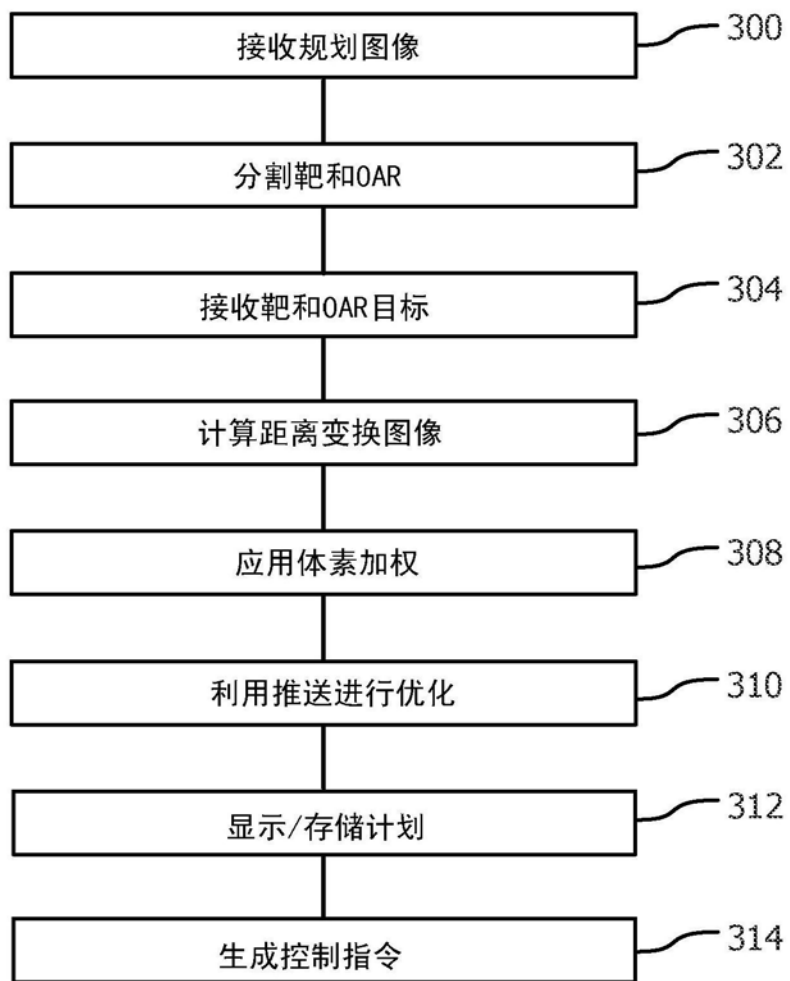


图3