



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105793854 B

(45)授权公告日 2020.06.16

(21)申请号 201480066397.2

(72)发明人 K·A·布兹杜泽克

(22)申请日 2014.11.24

S·H·戈帕拉克里希南
P·库马尔

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105793854 A

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(43)申请公布日 2016.07.20

代理人 李光颖 王英

(30)优先权数据

61/911,507 2013.12.04 US

(51)Int.Cl.

G16H 20/40(2018.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

A61N 5/10(2006.01)

2016.06.03

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2014/066293 2014.11.24

(56)对比文件

US 2011153547 A1, 2011.06.23,
CN 1953782 A, 2007.04.25,
CN 101120871 A, 2008.02.13,
CN 103209736 A, 2013.07.17,
CN 102264435 A, 2011.11.30,

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/083035 EN 2015.06.11

审查员 葛晓倩

(73)专利权人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

权利要求书2页 说明书6页 附图2页

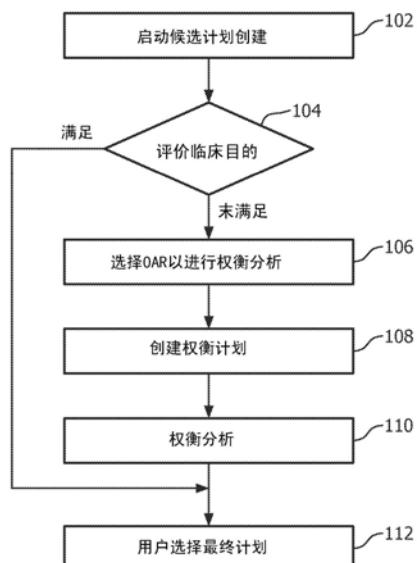
(54)发明名称

处置规划系统及非瞬态计算机可读介质

(57)摘要

规划图像存储器(14)存储体积诊断图像。用户利用用户接口设备(32)输入定义包括危及器官的临床目标的数据。自动规划模块(36)生成候选处置计划。权衡模块(38)具有处理器，所述处理器针对所述临床目标评估所述处置计划。当未满足一个或多个目标时，所述权衡模块(38)执行权衡分析以确定在其他临床目标上的效果，并且生成更接近地满足未满足的目标的至少一个权衡处置计划。候选计划和至少一个权衡计划被显示在显示设备(30)上和/或由所述处理器分析，并且从所述至少一个权衡处置计划和所述候选处置计划中选择最终处置计划。

CN 105793854 B



1.一种处置规划系统,包括:

规划图像存储器(14),其存储体积诊断图像;

存储器,其用于存储用户定义的临床目标(32),所述用户定义的临床目标被配置用于使用用户输入定义包括靶和危及器官的临床目标的数据;

自动规划模块(36),其被配置为基于所述临床目标来生成候选处置计划;以及

权衡模块(38),其具有处理器,所述处理器被配置为进行以下各项:

针对所述临床目标评估所述候选处置计划;

当未满足一个或多个目标时,执行权衡分析以确定在满足的临床目标和其他未满足的临床目标上的效果;并且

生成更接近地满足未满足的目标的至少一个权衡处置计划。

2.根据权利要求1所述的系统,其中,所述自动规划模块(36)被配置为:

自动制定包括剂量概况和优先级,所述剂量概况和所述优先级对应于所述靶和所述危及器官;

基于所述多个目标来优化多个处置计划参数以生成所述候选处置计划;并且

所述权衡模块(38)被配置为:

重新制定所述多个目标包括以下中的至少一项:修改所述多个目标的参数和/或将一个或多个额外目标添加到所述多个目标;并且

基于经重新制定的多个目标来重复所述优化以生成经重新制定的权衡处置计划。

3.根据权利要求1或2所述的系统,其中,所述权衡模块(38)还被配置为:

针对至少一个危及器官的临床目标重新评估至少一个权衡处置计划。

4.根据权利要求3所述的系统,其中,所述权衡模块(38)还被配置为:

从所述至少一个权衡处置计划或所述候选处置计划中进行选择。

5.根据权利要求1或2所述的系统,其中,所述权衡模块(38)还被配置为:

接收针对每个目标的优先级排序;并且

生成在不同程度上满足较高优先级目标且满足较低优先级目标的多个权衡处置计划。

6.根据权利要求1或2所述的系统,其中,所述权衡处置计划经由显示设备(30)而被显示给用户以示出权衡区域和值。

7.根据权利要求1或2所述的系统,其中,所述权衡模块(38)使用剂量体积直方图交叠分析来评估所述权衡处置计划。

8.根据权利要求1或2所述的系统,其中,所述权衡模块(36)还被配置为:

基于所生成的权衡处置计划来更新机器学习数据库(40)。

9.一种承载有软件的非瞬态计算机可读介质,所述软件用于控制一个或多个处理器来执行:

基于包括靶和危及器官的临床目标来生成候选处置计划;

针对所述临床目标评估所述候选处置计划;

当未满足一个或多个目标时,执行权衡分析以确定在满足的临床目标和未满足的临床目标上的效果;并且

生成更接近地满足未满足的目标的至少一个权衡处置计划。

10.根据权利要求9所述的非瞬态计算机可读介质,其中,生成候选处置计划包括:

自动制定包括剂量概况和优先级的多个目标,所述剂量概况和所述优先级对应于所述靶和所述危及器官;

基于所述多个目标来优化多个处置计划参数以生成所述候选处置计划;并且生成所述权衡处置计划包括:

重新制定多个目标包括以下中的至少一项:修改所述多个目标的参数和/或将一个或多个额外目标添加到所述多个目标;并且

基于经重新制定的多个目标来重复所述优化以生成经重新制定的权衡处置计划。

11.根据权利要求9或10所述的非瞬态计算机可读介质,其中,所述软件还控制所述一个或多个处理器执行:

针对所述危及器官的临床目标重新评估至少一个权衡处置计划。

12.根据权利要求11所述的非瞬态计算机可读介质,其中,所述软件还控制所述一个或多个处理器执行:

从所述至少一个权衡处置计划或所述候选处置计划中进行选择。

13.根据权利要求9或10所述的非瞬态计算机可读介质,其中,所述软件还控制所述一个或多个处理器执行:

基于针对每个目标的接收到的优先级排序来生成在不同程度上满足较高优先级目标且满足较低优先级目标的多个权衡处置计划。

14.根据权利要求9或10所述的非瞬态计算机可读介质,其中,所述权衡处置计划经由显示设备(30)而被显示给用户以示出权衡区域和值。

处置规划系统及非瞬态计算机可读介质

技术领域

[0001] 本申请总体涉及辐射治疗。本申请结合辐射治疗规划具体应用并将具体参考其加以描述。然而,可以理解的是,本申请也适用于其他使用情形并不一定限于前述应用。

背景技术

[0002] 在辐射治疗规划中,创建患者特异性处置计划可能是耗时且乏味的任务。许多步骤是冗余的并且在不同患者之间或者在不同计划之间变化非常少。可以使用宏语言或脚本来使这些步骤中的许多步骤自动化,但是某些方面在没有用于编写逻辑表达、循环和其他常见编程功能的工具的情况下是困难的。

[0003] 在过去的十年里,技术进步已经在强度调制辐射治疗 (IMRT)、强度调制质子治疗 (IMPT) 等领域中提供了巨大的飞跃,从而改善了剂量递送。在当前处置规划中难以自动化的一个领域是强度调制辐射治疗 (IMRT) 或体积调制弧治疗 (VMAT) 优化。最近,研究兴趣已经转向使在计划生成中涉及的各种任务(从射束放置到剂量优化)自动化的办法,以帮助减少在临床用户上的工作负担。优化是一种迭代过程,在该迭代过程中用户试图指定以剂量或生物目标的形式的规划目的以创建对靶结构的理想剂量(通常是均匀的高剂量),并使对关键结构的剂量最小化。

[0004] 计划评估被分类为三个阶段:1、物理评估;2、技术评估;以及3、临床评估。计划的物理方面和技术方面通常由技师在完成计划之后进行检查。计划的临床方面由辐射肿瘤学家进行调查。目前,基于覆盖计划的物理方面、技术方面和临床方面的以下五个种类来评估 IMRT 计划:1、几何分析, 2、剂量分布分析, 3、剂量体积直方图 (DVH) 分析, 4、参数分析以及 5、递送能力分析。

[0005] 几何分析被执行以评估射束放置的最优化。射束放置是非常重要的步骤。优化的质量主要受射束的数量及其角度的影响。已经考虑增加IMRT 计划的最优化和递送能力制定了用于优化在IMRT中的射束放置的规则。

[0006] 剂量分布分析定性地核查剂量分布在轴向面、冠状面和矢状面中的最优化。该分析还可以被拆分成2D分析和3D分析。2D剂量分布分析暗示逐切片地评估剂量分析。这种类型的分析用于在每个切片中评估处方剂量相对于靶体积的适形性。这种类型的分析还可以披露在靶体积中和周围的冷点或热点的分布。冷点或热点是在靶和危及器官内的区域,其接收比辐射的计划的剂量更少或更多的剂量。3D分布分析在相对于一组射束取向来确定剂量分布与整个靶体积适形程度如何中是有用的。

[0007] 剂量体积直方图 (DVH) 是一种用于评估计划的最优化的有力工具。DVH表示以图形2维格式的3维剂量分布。针对靶体积的DVH以图形方式表示剂量分布在覆盖范围、一致性和同质性方面的特性。针对危及器官 (OAR) 的DVH曲线表示OAR在平均剂量和最大剂量方面幸免的效率。

[0008] 参数分析被执行以定量地核查剂量的最优化。在该分析中使用的参数是:(a) 针对靶体积的最小剂量、平均剂量和最大剂量,以及(b) 针对靶体积的覆盖范围、一致性和同质

性。除了针对计划评估的物理度量之外,在计划评估中还使用多个生物度量。这些生物度量包括等效均匀剂量 (EUD)、肿瘤控制概率 (TCP) 以及正常组织并发症概率 (NTCP) 等。

[0009] 递送能力分析被执行以便评估计划在剂量递送方面有多健壮。该分析涉及核查参数,例如分段的数量、每个分段的最小监测单位或平均监测单位 (MU)、最小分段区域 (MSA)、总递送时间等。MU是在辐射治疗中的线性加速器的机器输出的度量。递送能力分析披露计划是否是在现实情况下可递送的。

[0010] 已经利用不同技术对计划生成的各个阶段进行自动化。这些技术通过使计划生成过程(例如,剂量目标操纵和IMRT/VMAT优化)自动化来减少在临床用户(即,辐射技师)上的负担。给定关于辐射治疗处置计划生成所涉及的复杂度,用户有必要想要一定量的手动控制和审查,但是同时这阻止了这些技术完全自动化。当前自动规划方案提供用户定义的模板的一次性配置,其稍后可以被应用到新患者以自动生成处置计划。

[0011] 具体地,难以确定满足目的的最佳计划,这是因为最佳的定义是主观的并且对于同一用户在不同患者之间是可变的。在计划生成之后,用户考量在靶目的和危及器官目的之间的各种权衡,并决定对于每个患者什么是可接受的。理解权衡已经成为若干技术的焦点。然而,该途径的一个问题在于用户具有比所需要的多得多的灵活性,这使得工作流程太笼统并且不集中于医生。另一问题在于其仅独享基于影响的计划。

发明内容

[0012] 根据一个实施例,一种处置规划系统包括:规划图像存储器,其存储体积诊断图像;存储器,其用于存储用户定义的临床目标,所述用户定义的临床目标被配置用于使用户输入定义包括危及器官的临床目标的数据;自动规划模块,其被配置为基于所述临床目标来生成候选处置计划;以及权衡模块,其具有处理器,所述处理器被配置为进行以下各项:针对所述临床目标评估所述处置计划;当未满足一个或多个目标时,执行权衡分析以确定在其他临床目标上的效果;并且生成更接近地满足未满足的目标的至少一个权衡处置计划。

[0013] 根据本申请的一个优选方法,一种用于生成用于辐射治疗处置规划的权衡计划的方法包括:生成候选处置计划;针对所述临床目标评估所述处置计划;当未满足一个或多个目标时,执行权衡分析以确定在其他临床目标上的效果;并且生成更接近地满足未满足的目标的至少一个权衡处置计划。

[0014] 根据另一实施例,一种处置规划系统,包括:规划图像存储器,其存储体积诊断图像;存储器,其用于存储用户定义的临床目标,所述用户定义的临床目标被配置用于使用户输入定义危及器官的数据;自动规划模块,其被配置为生成处置计划;以及权衡模块,其具有处理器,所述处理器被配置为进行以下各项:针对临床目的评估所述处置计划;当未满足目的时,选择危及器官以进行权衡分析;创建与每个选择的危及器官相对应的所述处置计划的副本;根据针对所选择的危及器官的所述临床目的来优化对应的处置计划副本;针对所选择的危及器官的所述临床目的评估至少一个权衡计划;并且从所述至少一个权衡计划和经优化的计划中选择最终计划。

[0015] 一个优点是针对医师的流水线化权衡分析。

[0016] 另一优点在于为提高效率而生成较少的候选计划。

- [0017] 另一优点是降低了IMRT/VMAT规划复杂度。
- [0018] 另一优点在于创建了关注于初始计划未满足临床目标的问题领域的可递送的计划权衡空间。
- [0019] 本领域普通技术人员将在阅读并理解下面的详细描述后认识到本发明的另外的其他优点。

附图说明

- [0020] 图1描绘了实施用于使计划生成自动化的改进方法的IMRT规划系统。
- [0021] 图2描绘了用于生成权衡计划的方法。

具体实施方式

[0022] 参考图1,治疗系统10(例如,强度调制辐射治疗(IMRT)系统或体积调制弧治疗(VMAT)系统)包括用于生成患者的感兴趣区域的一个或多个规划图像的成像系统12。图像体积(即,规划图像)是体积的(即,三维的)并且通常被存储在治疗系统10的规划图像存储器14中。感兴趣区域包括一个或多个靶结构,并且通常包括一个或多个关键结构或危及器官(OAR)。每个靶结构是要被辐照的病变或其他组织区域,例如肿瘤。每个关键结构是处于打算用于靶结构的辐射(例如,行进到靶结构的辐射)所损害的风险的器官或其他组织区域,所述辐射穿过靶结构或者所述辐射与靶结构接近邻近地穿过。

[0023] 成像系统12使用一种或多种成像模态来生成规划图像,所述一种或多种成像模态例如计算机断层摄影(CT)、正电子发射断层摄影(PET)、磁共振(MR)、单光子发射计算机断层摄影(SPECT)、椎形束计算机断层摄影(CBCT)等。因此,成像系统12包括对应于各成像模态的一个或多个扫描器16,以及将来自扫描器的原始数据重建为规划图像的后端系统。如图所示,成像系统12使用例如CT来生成规划图像并且包括CT扫描器16。

[0024] 治疗系统10的规划系统18基于规划图像来生成针对患者的最优处置计划,所述规划图像通常从规划图像存储器14接收到。最优处置计划适当地包括多个治疗分数,每个治疗分数用于识别针对靶结构的规划靶体积(PTV)、在靶结构周围的边缘、针对靶体积的剂量概况、针对关键结构的剂量限制以及治疗射束方向和强度,并且通常被存储在治疗系统10的处置计划存储器20中。规划系统18包括至少一个处理器22和至少一个程序存储器24。程序存储器24包括处理器可执行指令,其当被处理器22执行时生成最优处置计划。处理器22执行处理器可执行指令以生成最优处置计划。规划系统18还包括至少一个系统总线26,其使处理器22、程序存储器24 和规划系统18的任何其他部件相互连接。

[0025] 处理器可执行指令的控制模块28控制规划系统18的总体操作,包括生成最优处置计划。控制模块28适当地使用规划系统18的显示设备30向规划系统18的用户显示图形用户界面(GUI)。此外,控制模块28适当地允许用户使用规划系统18的用户输入设备32与GUI交互。例如,用户可以与GUI交互以指定参数、控制最优处置计划的生成。特别地,用户经由用户输入设备32指定位于规划图像存储器14上的图像体积内的感兴趣区域和危及器官以及其他独特的参数。在一个实施例中,使用用于存储用户定义的临床目标的存储器。显示设备30还显示权衡值、满足和未满足的目标以及权衡的特定区域的视觉表示。

[0026] 处理器的治疗射束设置模块34对用于治疗递送的一个或多个治疗射束进行配置。

这可以自动执行和/或手动执行。关于自动治疗射束设置,采用适当的例程来对配置治疗射束的参数进行自动配置。还可以预见到,可以使用自动治疗射束设置和手动治疗射束设置的组合来执行治疗射束设置。使用射束角度优化或选择方法连同在标准临床实践中遵循的射束配置来实现射束放置,例如,对于头部和颈部,标准的均等间隔7-9射束共面配置是足够的。接受从用户输入的射束的数量的额外配备也是可能的,在这种情况下,系统仅仅优化射束角度。当自动计划结果不符合期望时,也可以对射束放置进行迭代调节。然后可以使用显示设备30来向用户显示自动配置的参数,并且用户可以使用用户输入设备32来适当地修改所述参数。

[0027] 一旦参数被敲定,自动规划模块36就生成候选处置计划。自动规划模块36包括接收用于生成治疗参数的输入参数。输入参数包括在规划图像内的结构(即,靶结构并且通常是关键结构)的边界以及使用治疗射束设置模块34确定的治疗射束配置参数。在一个实施例中,自动生成最优处置计划使用诸如在Bzdusek等人的美国临时申请No.61/719,528中描述的算法的算法。通过制定剂量目标并迭代地操纵它们来自动地驱动IMRT优化器。剂量目标参数定义临床目的和优先级。

[0028] 通常,候选处置计划并不满足每个目的和目标。权衡模块38使用临床目的和来自自动规划模块36的经优化的处置计划来生成备选权衡计划。权衡模块38从自动规划模块36接收候选处置计划形式。权衡模块38接收由用户通过用户输入32定义的临床目标。权衡模块38针对输入临床目标评估候选处置计划并确定是否满足所述目标。如果满足所述目标,则用户选择经优化的处置计划,而无需权衡模块38生成备选权衡计划。

[0029] 如果权衡模块38确定处置计划没有满足所有临床目标,则执行权衡分析。用户审查由权衡模块38做出的权衡确定。在一个实施例中,权衡模块 38控制自动规划模块36来生成具有未满足的目标的备选处置计划,所述目标被约束为要被满足或被更充分地满足。在另一实施例中,权衡模块在显示器上向用户显示满足目的或未满足目的的确定。用户使用用户输入经由权衡分析来进一步考察备选处置计划。在另一实施例中,由权衡模块38自动选择危及器官。

[0030] 用户可以具有输入针对具体目标的优先级排序的选项。在一个实施例中,优先级排序被分类,即被分类成低、中和高。在另一实施例中,优先级排序是相对数值,即,1-10。用户可以通过用户输入32选择目标和优先级,并且自动规划模块36试图首先以较低优先级目的为代价满足较高优先级目的。在一个实施例中,权衡模块38升高未满足的目标的排序以观察候选处置计划如何改变。在一个实施例中,优先级和所选择的危及器官被选择到预定计划模板。

[0031] 在一个实施例中,权衡模块38通过使用已经生成的处置计划作为起点生成至少一个备选计划来执行权衡分析。使用所生成的计划比从一开始重新创建计划省时省力。在一个实施例中,权衡模块38复制针对每个危及器官或未满足或选择的其他目的的原始生成的计划。权衡模块38通过改变针对具体危及器官的优化参数来驱动优化算法以满足或接近满足未满足的目的。一旦针对具体危及器官满足目的,则权衡模块38试图满足针对剩余危及器官的其余目的。在一个实施例中,权衡模块38试图满足剩余目的,同时优化以满足针对具体危及器官的目的。权衡模块38创建与每个所选择的危及器官的每个未满足的目的相对应的多个备选权衡计划。所生成的权衡计划示出满足目的中的一个对针对靶和危及器官结构

的其余目的的效果。在一个实施例中,生成针对未满足的危及器官目的的组合的权衡计划。在另一实施例中,计划利用在优化中考虑所有危及器官和靶结构并且仅优化直到最小可接受目的的锚定计划。例如,所生成的候选处置计划超出针对较低优先级目标的最小可接受剂量一较大裕量,同时未满足较高优先级目标。权衡模块38使用候选处置计划来首先满足高优先级目标,然后将较低优先级目标优化到最小可接受剂量。

[0032] 在生成权衡计划之后,权衡模块38执行进一步的权衡分析以用于将各计划彼此进行比较。用户使用计划比较特征(例如剂量体积直方图(DVH) 交叠或并排试验剂量)来评估权衡计划中的权衡。在一个实施例中,通过使用用于控制插值水平的混合参数在两个剂量网格之间进行插值来创建针对各计划的剂量估计。

[0033] 在一个实施例中,用户选择要被递送到患者的备选权衡计划或候选计划中的一个。在另一实施例中,由权衡模块38自动选择最终计划。在选择了计划之后,权衡模块38任选地利用所选择的计划来更新机器学习数据库 40以供将来IMRT计划使用。例如,在将来未满足针对危及器官的目标时,存储在数据库中的所选择的计划可以被用作已经生成的权衡计划。

[0034] 递送系统42执行所选择的处置计划以向患者递送治疗,例如,消融治疗、外部射束辐射治疗和/或短程辐射治疗。治疗通常包括辐射,例如x射线、质子、高强度聚焦超声(HIFU)等中的一种或多种。递送系统42包括:递送装置44,例如线性粒子加速器;以及控制系统44,其根据最优处置计划来控制递送装置46。通常从处置计划存储器20接收最优处置计划,但是也可以预见到其他源。

[0035] 图2描绘了用于生成权衡计划的方法。在步骤102处,由权衡模块38 生成并访问初始候选经优化的处置计划。在步骤104处,针对临床目标评估候选经优化的处置计划。可以由权衡模块38从用户通过用户输入32或者从指示期望的危及器官目的的计划模板接收临床目标。评估优化计划以做出是否所述计划是否满足所有临床目的的确定。

[0036] 当至少一个临床目的未被候选经优化的处置计划满足时,执行权衡分析。在步骤106处,选择危及器官以进行权衡分析。当未满足针对危及器官的目的(通常是最小剂量目的)时,选择危及器官。用户可以选择危及器官以进行分析,或者可以通过模板或预定标准进行选择。

[0037] 在步骤108处,由权衡模块38创建至少一个权衡计划。通过首先使用经优化的处置计划作为效率的基础来生成权衡计划。在一个实施例中,可以从开始完全重新优化新的计划。经优化的处置计划由权衡模块复制,然后被优化以满足针对所选择的危及器官的临床目的,例如,减少到危及器官的辐射剂量,该危及器官接收比在候选处置计划中的最优剂量更高的剂量。可以理解的是,可以在该步骤期间例如通过减少针对不同危及器官的剂量来创建多个计划。在一个实施例中,当选择了多个危及器官时使用优先级排序,并且基于优先级来创建权衡计划。

[0038] 在步骤110处,执行进一步的权衡分析。在一个实施例中,权衡模块 38执行权衡分析。备选地,用户执行权衡分析。将所生成的权衡计划彼此进行比较并且与经优化的处置计划进行比较。在多个选项中,在步骤112 处,用户选择用于递送到患者的最终计划。此外,在该步骤期间,可以根据所选择的处置计划来更新机器学习数据库。可以咨询机器学习数据库40 以推荐一个或多个处置计划。

[0039] 可以理解的是，用户可以通过在一些或全部步骤之后自动确认所确定的选择来练习对自动计划生成的增加的控制。如本文所使用的，存储器包括以下中的一个或多个：非瞬态计算机可读介质；磁盘或其他磁存储介质；光盘或其他光存储介质；随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、或其他电子存储器设备或芯片或可操作地互连的芯片组；互联网/内联网服务器，可以经由互联网/内联网或局域网从其检索所存储的指令；等等。此外，如本文所使用的，处理器包括以下中的一个或多个：微处理器、微控制器、图形处理单元（GPU）、专用集成电路（ASIC）、现场可编程门阵列（FPGA）等；控制器包括：(1) 处理器和存储器，所述处理器执行在存储器上的实现控制器的功能的计算机可执行指令；或者 (2) 模拟硬件和/或数字硬件；用户输入设备包括以下中的一个或多个：鼠标、键盘、触摸屏显示器、一个或多个按钮、一个或多个开关、一个或多个触发器、语音识别引擎等；数据库包括一个或多个存储器；并且显示设备包括以下中的一个或多个：液晶显示器（LCD）、发光二极管（LED）显示器、等离子显示器、投射显示器、触摸屏显示器等。

[0040] 虽然结合示例性实施例描述了本公开的系统和方法，但是本公开并不限于这种示例性实施例。相反，本文所公开的系统和方法易于进行各种修改、增强和/或变型，而不背离其精神和范围。因此，本公开实现并包含在随附权利要求范围内的这种修改、增强和/或变型。

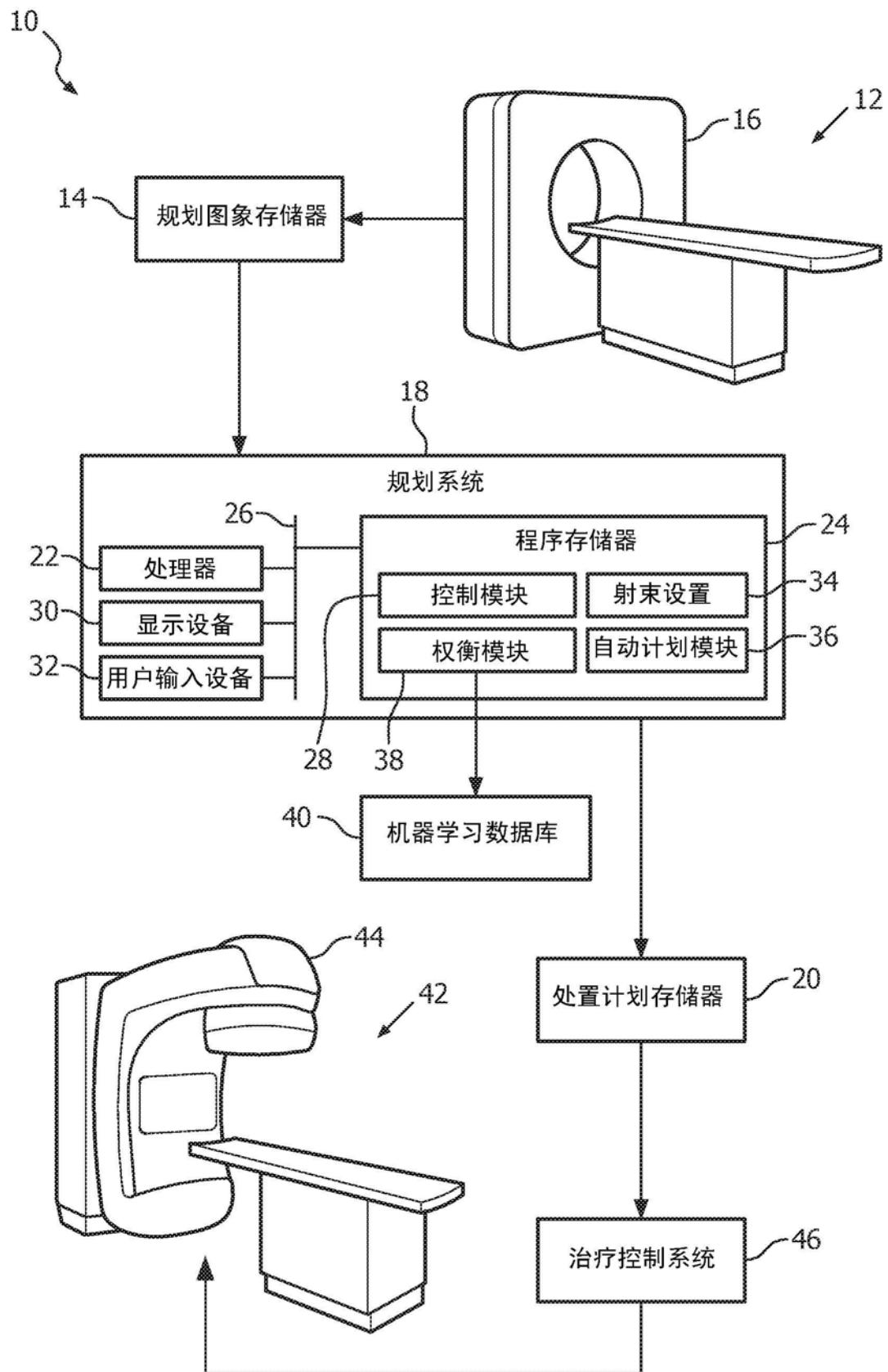


图1

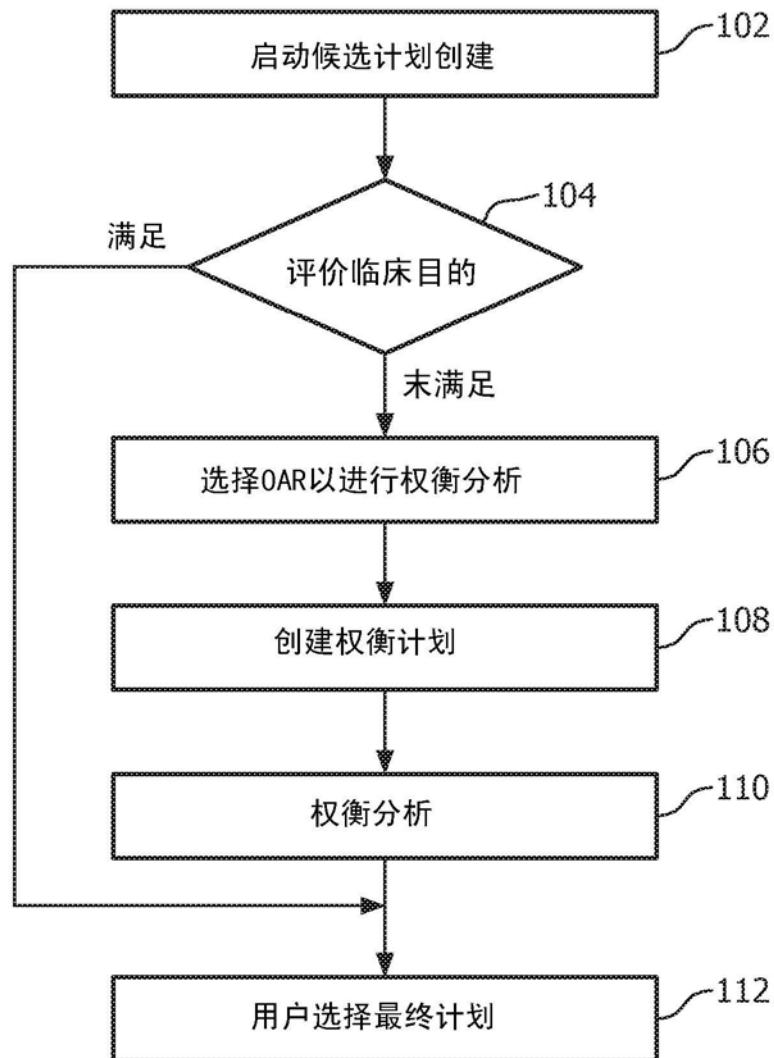


图2