(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 108771794 B
(45)授权公告日 2021.05.04

(21)申请号 201810235106.8

(22)申请日 2018.03.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108771794 A

(43)申请公布日 2018.11.09

(30)优先权数据
15/466,451 2017.03.22 US

(73)专利权人 瓦里安医疗系统国际股份公司
地址 瑞士卡姆

(72)发明人 E·库塞拉 J·诺德 J·皮里 P·尼梅拉

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所 11256
代理人 王茂华

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

(56)对比文件
CN 101120871 A,2008.02.13
CN 105031819 A,2015.11.11
CN 104866928 A,2015.08.26
CN 102138155 A,2011.07.27
CA 2995473 A1,2017.02.16
CN 105120955 A,2015.12.02
US 2015095043 A1,2015.04.02
WO 2015193776 A1,2015.12.23
EP 2323732 A1,2011.05.25

审查员 张晓丹

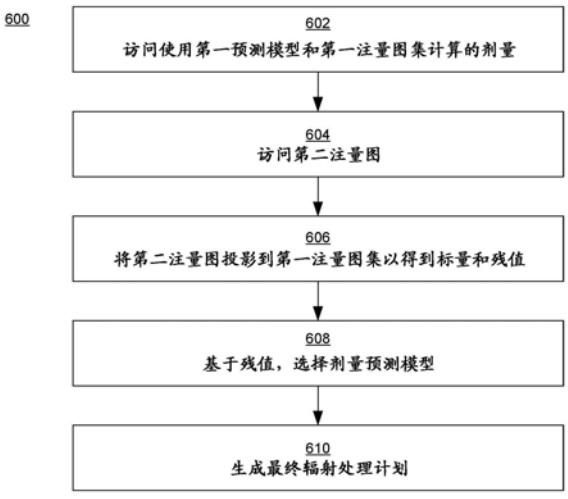
权利要求书3页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

用于生成辐射处理计划中的剂量计算的系统和方法

(57)摘要

公开了用于生成辐射处理计划中的剂量计算的系统和方法。使用第一注量图集和第一(更快的)剂量预测模型计算的第一剂量被访问。第二注量图被访问。第二注量图被投影到第一注量图集上来确定标量集和残值。当残值满足准则时,第二剂量使用第一剂量预测模型、标量集和第二注量图来计算。当残值不满足准则时,第二剂量使用第二(更准确的)剂量预测模型和第二注量图来计算。



1.一种计算系统,包括:

中央处理单元(CPU);以及

存储器,耦合到所述CPU,并且在所述存储器中已经存储指令,当所述指令由所述计算系统执行时,使得所述计算系统执行与生成辐射处理计划相关联的操作,所述操作包括:

访问使用第一注量图集和第一剂量预测模型计算的第一剂量;

访问第二注量图;

将所述第二注量图投影到所述第一注量图集上来确定标量集和残值,所述标量集对所述第一注量图集进行加权,所述残值用于评价在将所述第二注量图投影到所述第一注量图集上时产生的误差;以及

当所述残值满足准则时,使用所述第一剂量预测模型、所述标量集和所述第二注量图来计算第二剂量,并且其中当所述残值不满足所述准则时,使用第二剂量预测模型和所述第二注量图来计算所述第二剂量。

2.根据权利要求1所述的计算系统,其中所述操作还包括访问使用所述第一注量图集和所述第二剂量预测模型计算的第三剂量集;

其中使用所述第一剂量预测模型、所述标量集和所述第二注量图来计算第二剂量包括:

使用所述第一剂量预测模型和所述残值计算第四剂量;以及

将所述标量集和所述第三剂量集相乘的积与所述第四剂量求和。

3.根据权利要求1所述的计算系统,其中所述操作还包括访问第三剂量集,包括使用所述第一注量图集和所述第一剂量预测模型计算的剂量与使用所述第一注量图集与所述第二剂量预测模型计算的剂量之间的差;

其中使用所述第一剂量预测模型、所述标量集和所述第二注量图计算第二剂量包括:

使用所述第二注量图和所述第一剂量预测模型来计算第四剂量;以及

将所述标量集和所述第三剂量集相乘的积与所述第四剂量求和。

4.根据权利要求1所述的计算系统,其中所述准则包括针对所述残值的幅度的阈值。

5.根据权利要求1所述的计算系统,其中所述准则包括针对所述残值的标准化值的阈值。

6.根据权利要求1所述的计算系统,其中所述第二剂量预测模型比所述第一剂量预测模型更准确、并且利用更多计算资源。

7.根据权利要求1所述的计算系统,其中所述操作还包括:

选择用于辐射处理的最终注量图,其中所述最终注量图选自包括至少所述第一注量图集和所述第二注量图的多个注量图;以及

将所述最终注量图转换为叶顺序设置,所述叶顺序设置控制所述辐射处理期间多叶准直器的移动。

8.一种计算系统,包括:

中央处理单元(CPU);以及

存储器,耦合到所述CPU,并且在所述存储器中已经存储指令,当所述指令由所述计算系统执行时,使得所述计算系统执行与生成辐射处理计划相关联的操作,所述操作包括:

使用第一注量图集和第一剂量预测模型计算第一剂量;

访问第二注量图；

将所述第二注量图投影到所述第一注量图集上来确定标量集和残值，所述标量集对所述第一注量图集进行加权，所述残值用于评价在将所述第二注量图投影到所述第一注量图集上时产生的误差；以及

基于所述残值，选择剂量预测模型，以使用所述第二注量图来计算第二剂量，其中当所述残值满足准则时，所述第二剂量使用所述第一剂量预测模型来计算，并且其中当所述残值不满足所述准则时，所述第二剂量使用第二剂量预测模型来计算，其中所述第二剂量预测模型比所述第一剂量预测模型更准确地计算所述第二剂量。

9.根据权利要求8所述的计算系统，其中所述操作还包括使用所述第一注量图集和所述第二剂量预测模型来计算第三剂量集，其中进一步地当所述残值满足所述准则时，所述第二剂量通过以下来计算：

使用所述第一剂量预测模型和所述残值计算第四剂量；以及

将所述标量集和所述第三剂量集相乘的积与所述第四剂量求和。

10.根据权利要求8所述的计算系统，其中所述操作还包括计算第三剂量集，包括使用所述第一注量图集和所述第一剂量预测模型计算的剂量与使用所述第一注量图集和所述第二剂量预测模型计算的剂量之间的差，其中进一步地当所述残值满足所述准则时，所述第二剂量通过以下来计算：

使用所述第二注量图和所述第一剂量预测模型计算第四剂量；以及

将所述标量集和所述第三剂量集相乘的积与所述第四剂量求和。

11.根据权利要求8所述的计算系统，其中所述准则包括针对所述残值的幅度的阈值。

12.根据权利要求8所述的计算系统，其中所述准则包括针对所述残值的标准化值的阈值。

13.根据权利要求8所述的计算系统，其中所述操作还包括：

选择用于辐射处理的最终注量图，其中所述最终注量图选自包括至少所述第一注量图集和所述第二注量图的多个注量图；以及

将所述最终注量图转换为叶顺序设置，所述叶顺序设置控制所述辐射处理期间多叶准直器的移动。

14.一种用于辐射处理规划的计算机实现的方法，所述方法包括：

生成第一辐射处理计划，所述第一辐射处理计划包括第一注量图集，其中所述第一辐射处理计划使用第一模型来生成，所述第一模型使用所述第一注量图集计算第一剂量；

生成第二辐射处理计划，所述第二辐射处理计划包括第二注量图，其中所述第二辐射处理计划通过以下来生成：

将所述第二注量图投影到所述第一注量图集上来确定标量集和残值，所述标量集对所述第一注量图集进行加权，所述残值用于评价在将所述第二注量图投影到所述第一注量图集上时产生的误差；以及

当所述残值满足准则时，使用所述第一模型、并使用所述标量集和所述第二注量图来计算第二剂量，并且当所述残值不满足所述准则时，使用第二模型、并使用所述第二注量图来计算所述第二剂量；以及

从多个辐射处理计划选择最终辐射处理计划，其中所述多个辐射处理计划包括至少所

述第一辐射处理计划和所述第二辐射处理计划。

15.根据权利要求14所述的方法，还包括访问使用所述第一注量图集和所述第二模型计算的第三剂量集；

其中使用所述第一模型、所述标量集和所述第二注量图计算所述第二剂量包括：

使用所述第一模型和所述残值计算第四剂量；以及

将所述标量集和所述第三剂量集相乘的积与所述第四剂量求和。

16.根据权利要求14所述的方法，还包括访问第三剂量集，包括使用所述第一注量图集和所述第一模型计算的剂量与使用所述第一注量图集与所述第二模型计算的剂量之间的差；

其中使用所述第一模型、所述标量集和所述第二注量图计算所述第二剂量包括：

使用所述第二注量图和所述第一模型计算第四剂量；以及

将所述标量集和所述第三剂量集相乘的积与所述第四剂量求和。

17.根据权利要求14所述的方法，其中所述准则包括针对所述残值的幅度的阈值。

18.根据权利要求14所述的方法，其中所述准则包括针对所述残值的标准化值的阈值。

19.根据权利要求14所述的方法，其中所述第二模型比所述第一模型更准确、并且利用更多计算资源。

20.根据要求要求14所述的方法，还包括：

选择用于所述最终辐射处理计划的最终注量图，其中所述最终注量图选自包括至少所述第一注量图集和所述第二注量图的多个注量图；以及

将所述最终注量图转换为叶顺序设置，所述叶顺序设置控制所述辐射处理期间多叶准直器的移动。

用于生成辐射处理计划中的剂量计算的系统和方法

技术领域

[0001] 本公开总体涉及辐射处理计划的生成。

背景技术

[0002] 处理癌症的辐射治疗的使用是众所周知的。通常，辐射治疗包含将高能量质子、光子或者电子辐射(“治疗辐射”)的波束引导到靶体积(例如，肿瘤或者病变)中。

[0003] 在患者被利用辐射处理之前，形成特定于该患者的处理计划。通过使用基于过往经验的模拟和优化，该计划限定治疗的各方面。例如，对于强度调制辐射治疗(IMRT)而言，该计划可以指定适当的波束类型(例如，平坦无滤波器类型)和适当的波束能量。计划的其他部分可以指定例如波束相对于患者的角度、波束形状、团注(bolus)和屏蔽的放置等。一般而言，处理计划的目的是将足够的辐射递送到靶体积，同时最小化周围的健康组织对于辐射的暴露。

[0004] 在IMRT中，计划者的目标是找到相对于多个临床目标的最佳方案，多个临床目标可以是互相矛盾的，因为对于一个目标的改进可以对实现另一目标产生不利影响。例如，使肝免于接收辐射剂量的处理计划可以导致胃接收太多辐射。这些类型的折中导致一个迭代的过程，其中计划者创建不同的计划来找到最适于实现期望结果的一个计划。

[0005] 例如，计划者定义质量度量集，诸如靶均匀性、关键器官不受辐射等，以及针对度量的相应靶值Q_i。对于规划而言，对度量进行定义，使得较小值优于较大值。计划者还针对质量度量中的每个质量度量定义相对优先级或者权重w_i。形成最佳计划的任务然后被公式化为二次成本函数C：$C=\mathrm{sum}(w_i(Q_i-q_i)^2)$，其中$q_i$是可以针对特定处理计划实现的质量度量的值。最佳计划通过使成本函数C最小化来确定。

[0006] 通常，仅基于成本函数确定最佳计划是不容易的。例如，成本函数的最优解可能不一定描述质量度量之间的临床上最好的平衡，或者剂量分布可能具有难以表示为质量度量的一些不期望的特征。

[0007] 辅助计划者的一个方式是基于知识的方法，其自动地生成目标函数，使得结果计划包含并且反映在创建知识库中利用的现行实践。这通常捕获在处理中心处利用的最好实践，但是也可以基于从多个处理中心采集的良好定义的处理的较大的知识库。

[0008] 辅助计划者的另一方式是使用用于处理规划的多准则优化(MCO)方法。Pareto表面导航是促进探索临床目标之间的折中的MCO技术。对于给定临床目标集而言，如果处理计划满足目标并且在不使其他度量中的至少一个恶化的情况下没有度量可以被改进，则该处理计划被认为是Pareto最优。Pareto最优计划集限定与临床目标集有关的Pareto表面。沿着Pareto表面的移动导致临床目标之间的折中；一些度量将以使一个或多个其他度量恶化为代价来改进。计划者可以沿着Pareto表面导航并且选择根据计划者应用的准则看起来最好的最终(优化的)辐射处理计划，或者处理计划可以基于其与Pareto表面的接近度来自动地选择。

[0009] 在Pareto表面附近的导航要求精选的计划样本集已经被生成以限定Pareto表面。

为了维持导航期间的流畅的交互性，计划可以事先被计算，并且因此必须首先关于计划者想要导航的区域做出根据对情况分析的猜测，使得Pareto表面跨越该区域。如果在导航期间计划者想要移动超过由原始计划样本集跨越的区域，那么通过生成并且添加更多计划来扩大样本集是可能的。在这样的情况下，期望迅速地生成附加计划。

[0010] 高效并且迅速地生成附加计划的方法将是有价值的。

发明内容

[0011] 根据本发明的实施例提供高效并且迅速地生成附加辐射处理计划(特别地，通过高效并且迅速地执行剂量计算)的方法。

[0012] 在实施例中，使用第一注量图集和第一(更快的)剂量预测模型计算的第一剂量被访问。第二注量图被访问。第二注量图被投影到第一注量图集上来确定标量集和残值。当残值满足准则时，第二剂量使用第一剂量预测模型、标量集和第二注量图来计算。当残值不满足准则时，第二剂量使用第二(更准确的)剂量预测模型和第二注量图来计算。

[0013] 最终辐射处理计划选自处理计划样本集，其包括基于第一注量图集的第一辐射处理计划和基于第二注量图的第二辐射处理计划。

[0014] 使用第一(更快的)剂量预测模型代替第二(更准确但是更慢并且更资源密集的)剂量预测模型的能力意味着附加的辐射处理计划可以迅速并且高效地生成。

[0015] 因此，根据本发明的实施例具体而言改进辐射处理规划的领域，并且整体而言改进辐射治疗的领域。在IMRT中，波束强度跨患者中的每个处理区域(靶体积)变化。取代利用相对大并且一致的波束处理，患者被利用许多较小的波束(例如，铅笔形波束或者细光束)处理，其中的每一个具有其自身的强度，并且其中的每一个可以从不同的角度来递送(这可以被称为波束几何)。由于许多可能的波束几何、波束数目和波束强度的范围，因而实际上存在无限数目的潜在处理计划，因此一致地并且高效地生成并且评价高质量处理计划是超出人类的能力的并且要求计算系统的使用(特别地，考虑与处理类似癌症的疾病的辐射治疗的使用相关联的时间约束，并且特别地，考虑在任何给定时间段期间正经历或者需要经历辐射治疗的大量的患者)。根据本发明的实施例允许迅速地生成更有效的处理计划，这可以非常重要，考虑到当患者被诊断患有疾病(诸如癌症)时开始辐射治疗的紧急程度。而且，根据本发明的实施例帮助改进计算系统的运行，因为更少的计算资源被需要并且被消耗以形成计划，这还意味着计算机资源被释放以执行其他任务。

[0016] 本发明内容被提供，以简化形式介绍所选择的概念，其在下文的具体实施方式中被进一步描述。本发明内容不旨在标识要求保护的技术方案的关键特征或基本特征，也不旨在用于限制要求保护的技术方案的范围。

附图说明

[0017] 并入本说明书中并且形成其一部分的附图图示了本公开的实施例，在附图中相同附图标记描绘相同元件，并且附图连同具体实施方式用于解释本公开的原理。

[0018] 图1示出了在其上可以实现本文所描述的实施例的计算系统的示例的框图。

[0019] 图2是图示根据本发明的实施例中的自动化辐射处理规划系统的示例的框图。

[0020] 图3图示了根据本发明的实施例中的基于知识的规划系统的实施例。

[0021] 图4、图5A、图5B和图6是根据本发明的实施例中的用于生成辐射处理计划的计算机实现的方法的示例的流程图。

具体实施方式

[0022] 现在将详细参考本公开的各种实施例，实施例的示例被图示在附图中。在结合这些实施例进行描述时，将理解它们不旨在将本公开限于这些实施例。相反，本公开旨在覆盖可以被包含在如由所附权利要求限定的本公开的精神和范围内的备选、修改和等同方案。另外，在本公开的下面的具体实施方式中，阐述了许多具体细节以便提供对本公开的透彻理解。然而，将理解本公开可以在没有这些具体细节的情况下来实践。在其他实例中，没有详细描述众所周知的方法、流程、部件和电路从而不使本公开的各方面不必要地模糊。

[0023] 下面的具体实施方式的一些部分以在计算机存储器内的数据位上的操作的流程、逻辑块、处理和其他符号表示的形式来呈现。这些描述和表示是由数据处理领域的技术人员用于将其工作的内容最有效地传达给其他领域技术人员使用的技术手段。在本申请中，流程、逻辑块、过程等等被设想为得到期望结果的步骤或指令的自相一致的序列。步骤是利用物理量的物理操纵的步骤。通常，尽管不一定必需，这些量采取能够被存储、被转移、被组合、被比较和以其他方式被操纵在计算系统中的电信号或磁信号的形式。已经证实有时主要出于常见用法的原因将这些信号指代为事务、位、值、元素、符号、字符、样本、像素等等是方便的。

[0024] 然而，应当牢记，这些术语和类似的术语中的全部应与合适的物理量相关联并且仅仅是被应用到这些量的方便标签。除非另行明确陈述，如从下面的讨论显而易见的，应认识到，在本说明书中，利用诸如“执行”、“访问”、“计算”、“投影”、“求和”、“选择”、“转换”、“生成”、“比较”等等的术语的讨论是指计算系统或类似的电子计算设备或处理器(例如，图1的计算系统100)的动作和过程(例如，图4、图5A、图5B和图6的流程图)。计算系统或类似的电子计算设备操纵并转变在计算系统存储器、寄存器或其他这样的信息存储装置、发送或显示设备内被表示为物理(电子)量的数据。诸如“剂量”或者“注量”的术语通常指代剂量或者注量值;这样的术语的使用从周围讨论的上下文将是清楚的。

[0025] 以方法的形式来呈现和讨论下面的具体实施方法的部分。尽管其步骤和序列被公开在本文的描述该方法的操作的图(例如，图4、图5A、图5B和图6)中，但是这样的步骤和序列是示范性的。实施例非常适于执行各种其他步骤或在本文的图的流程图中记载的步骤的变型，并且以除了本文描绘和描述的序列以外的序列。

[0026] 本文描述的实施例可以在驻留在某种形式的计算机可读存储介质上的计算机可执行指令(诸如由一个或多个计算机或其他设备执行的程序模块)的一般上下文中进行讨论。通过举例而非限制性的方式，计算机可读存储介质可以包括非暂态计算机存储介质和通信介质。一般地，程序模块包括执行特定任务或实施特定抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、数据结构等等。在各种实施例中，可以根据需要来组合或分布程序模块的功能。

[0027] 计算机存储介质包括在用于存储诸如计算机可读指令、数据结构、程序模块或其他数据的信息的任何方法或技术中实施的易失性介质和非易失性介质、可移除介质和不可移除介质。计算机存储介质包括但不限于随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、电可擦可编程ROM(EEPROM)、闪速存储器或其他存储器技术、压缩盘ROM(CD-ROM)、数字多用盘

(DVD)或其他光学存储装置、磁盘、磁带、磁盘存储装置或其他磁性存储设备或能够被用于存储期望信息并且能够被访问以检索该信息的任何其他介质。

[0028] 通信介质能够实现计算机可执行指令、数据结构和程序模块，并且包括任何信息递送介质。通过举例而非限制性的方式，通信介质包括诸如有线网络或直接有线连接的有线介质和诸如声学介质、射频(RF)介质和其他无线介质的无线介质。以上中的任何的组合还能够被包含在计算机可读介质的范围内。

[0029] 图1示出本文描述的实施例可以被实施在其上的计算系统100的示例的框图。在其最基本的配置中，系统100包括至少一个处理单元102和存储器104。该最基本的配置在图1中由虚线106图示。系统100还具有附加特征和/或功能。例如，系统100还可以包括额外的存储装置(可移除和/或不可移除)，包括但不限于磁盘或光盘或者磁带。这样的额外的存储装置在图1中由可移除存储装置108和不可移除存储装置120图示。系统100还可以包含例如在使用到一个或多个远程计算机的逻辑连接的网络化环境中允许设备与其他设备通信的(多个)通信连接122。

[0030] 系统100还包括(多个)输入设备124(诸如键盘、鼠标、笔、语音输入设备、触摸输入设备等)。还包括(多个)输出设备126(诸如显示设备、扬声器、打印机等)。

[0031] 如下面将进一步解释的，根据本发明的实施例利用两个剂量预测模型151和152。在图1的示例中，存储器104包括与剂量计算模型或者剂量预测模型151和152相关联的计算机可读指令、数据结构、程序模块等。然而，相反地，剂量预测模型151和152可以驻留在由系统100使用的计算机存储介质中的任何一个中，或者可以被分布在计算机存储介质的某种组合上，或者可以被分布在联网计算机的某种组合上。

[0032] 剂量预测模型151(在本文中还被称为第一预测模型)比剂量预测模型152(在本文中还被称为第二预测模型)执行更快并且要求更少的计算资源，但是不那么准确。结合图5A和图5B下面进一步讨论何时并且如何使用剂量预测模型中的每一个。

[0033] 剂量预测模型151和152可以被用于预测针对对应于特定患者的处理计划的剂量参数。剂量预测模型151和152可以被实现为针对感兴趣区域(ROI)的剂量体积直方图(DVH)估计模型，其中预测量是剂量体积直方图。ROI是患者中的三维(3D)体积，其包含靶体积以及可以由辐射不利地影响的任何附近结构(器官)。在其他实施例中，预测模型151和151还基于到靶的距离(DTH)直方图来生成预测，其表达ROI到辐射靶的距离。然而在其他实施例中，剂量预测模型151和152被实现为适于预测(计算)用于辐射处理计划的剂量(作为剂量直方图或者空间3D剂量分布)的任何其他模型。

[0034] 剂量预测模型151和152可以然后被用于通过接收被输入到模型并且由模型处理的特定于患者的信息(例如，几何信息)来形成针对特定患者的辐射处理计划。特定于患者的输入信息可以包含可以现实地影响辐射处理计划的参数的任何组合。例如，特定于患者的信息可以被组织为向量或者数据结构，包括用于以下各项的特征元素：靶体积的大小和形状；靶体积的位置；有风险器官的大小和形状；有风险器官的类型；靶体积的与器官重叠的部分；以及器官的与靶体积重叠的部分。

[0035] 图2是图示根据本发明的实施例中的自动化辐射治疗处理规划系统200的示例的框图。系统200包括：输入接口210，其接收特定于患者的信息(数据)201；数据处理部件220，其实现预测模型151和152；以及输出接口230。系统200全部或者部分地可以在计算系统100

上/使用计算系统100(图1)被实现为软件程序、硬件逻辑或者其组合。

[0036] 特定于患者的信息被提供到预测模型151和152并且由其处理。预测模型151和152产生预测结果(例如,可实现的剂量分布预测)。然后,可以生成基于预测结果的处理计划。在实施例中,预测结果伴随有指示预测的质量的参数,诸如结果的可靠性(例如,受训练数据的内部一致性影响)、所预测的计划的复杂性以及结果的概率。

[0037] 图3图示了根据本发明的实施例中的基于知识的规划系统300的实施例,计划系统300包含患者记录和用于生成辐射处理计划的统计模型。在图3的示例中,系统300包括知识库302和处理规划工具集310。知识库302包括患者记录304(例如,辐射处理计划)、处理类型306和统计模型308。图3的示例中的处理规划工具集310包括当前患者记录312、处理类型314、医学图像处理模块316、优化器318、剂量分布模块320和最终辐射处理计划322。

[0038] 处理规划工具集310搜索知识库302(患者记录304),寻找与当前患者记录312类似的先验患者记录。统计模型308可以被用于将用于将当前患者记录312的预测结果与统计患者相比较。使用当前患者记录312、所选择的处理类型306和所选择的统计模型308,工具集310生成辐射处理计划322。以这种方式形成的辐射处理计划(例如,处理计划322)可以被称为平衡计划。

[0039] 更具体地,基于过往临床经验,当患者呈现出特定诊断、阶段、年龄、体重、性别、共存病症等时,可以存在最经常使用的处理类型。通过选择计划者在过去已经针对类似患者使用的处理类型,可以选择第一步处理类型314。医学图像处理模块316提供(例如,来自计算机断层摄影或者磁共振成像的)二维截面图片的自动轮廓和自动分割,以使用当前患者记录312中的医学图像形成3D图像。剂量分布图由剂量分布模块320计算,其可以利用优化器318的剂量预测模型151和152。

[0040] 知识库302可以被搜索,以寻找可以由优化器318应用来确定剂量分布的目标的组合。例如,可以从知识库302中选择平均有风险器官剂量体积直方图、平均群组有风险器官剂量体积直方图、以及平均有风险器官目标。在根据本发明的实施例中,优化器318使用剂量预测模型151和152来帮助形成剂量分布。因此,优化器318可以提供针对当前患者的3D剂量分布、注量、以及相关联的剂量体积直方图。通过使用剂量预测模型151和152,期望那些结果落入针对具有类似疾病类型和处理类型的患者的历史上接受的范围内。

[0041] 图4、图5A、图5B和图6分别是根据本发明的实施例中的用于生成辐射处理计划的计算机实现的方法的示例的流程图400、500和600。流程图400、500和600可以被实现为驻留在某种形式的计算机可读存储介质上的计算机可执行指令(例如,使用图1的计算系统100)。

[0042] 在IMRT中,波束强度跨患者中的每个处理区域(靶体积)变化。取代利用相对大并且一致的波束处理,患者被利用许多较小的波束(例如,铅笔形波束或者细光束)处理,其中的每一个具有其自身的强度,并且其中的每一个可以从不同的角度来递送(这可以被称为波束几何)。由于许多可能的波束几何、波束数目和波束强度的范围,因而实际上存在无限数目的潜在处理计划,因此一致地并且高效地生成并且评价高质量处理计划是超出人类的能力的,并且要求计算系统的使用(特别地,考虑与处理类似癌症的疾病的辐射治疗的使用相关联的时间约束,并且特别地,考虑在任何给定时间段期间正经历或者需要经历辐射治疗的大量的患者)。

[0043] IMRT的辐射处理系统包括若干部件,包括例如递送使用多叶准直器(MLC)调制的高能量质子、光子或者电子辐射的波束(细光束)的线性加速器。每个MLC叶可以由计算机独立地来回移动,以动态地塑造波束可以通过的孔径,阻挡或者不阻挡波束的部分并且从而控制波束形状和曝光时间。

[0044] 在图4的框402中,生成注量图。一般而言,控制点序列被选择或者生成,其限定辐射处理系统如何将所要求的剂量递送到患者/靶体积。控制点序列可以使用图3的基于知识的规划系统300来选择。

[0045] 控制点序列可以包括例如在辐射处理期间控制MLC的移动的设置(叶序列设置)。控制点序列可以被转换为二维(2D)注量图,其表示每单位时间穿过MLC孔径的波束的强度。

[0046] 在图4的框404中,注量优化被执行,以优化注量图的个体部件来产生用于处理患者的最好的辐射处理计划。ROI可以被分为称为体素的较小的3D元素。每个体素将接收可以使用2D注量图预测的辐射的剂量。每个体素将从一个或多个细光束接收辐射,细光束从不同的方向被递送。体素的总剂量是通过由体素接收到的每个细光束所递送的剂量之和。

[0047] 3D剂量(每体素的剂量)是注量图的线性函数,这意味着如果剂量被呈现为注量函数D(F),那么D(F)将满足以下关系:D(aF)=aD(F);并且D(F1+F2)=D(F1)+D(F2),其中“a”是标量并且F1和F2是注量图。

[0048] 如上文所提到的,在IMRT中,计划者的目标是找到相对于多个临床目标的最佳方案,多个临床目标可以是互相矛盾的,因为对于一个目标的改进可以对实现另一目标产生不利影响。这些类型的折中导致一个迭代的过程,其中计划者创建不同的计划,这些计划然后使用MCO方法来评价。通过使用MCO,计划者可以选择看起来最好的最终(优化的)辐射处理计划。

[0049] 计划集如上文所限定地被生成,并且那些计划的精选样本集被用于限定针对MCO的Pareto表面。参考图5A和图5B,处理计划的生成被进一步描述。

[0050] 在框502中,如上文所描述的,初始控制点序列被转换为2D注量图F序列。

[0051] 在框504中,基于注量图F的剂量(例如,每体素)使用第一剂量预测模型151(图1)来计算。如上文所提到的,第一剂量预测模型151被表征为比第二剂量预测模型152更快但是更不准确的模型。第一剂量预测模型151在本文中被指定为D1,并且使用该模型和注量图F计算的剂量在本文中以D1(F)的形式指定。

[0052] 由框504所描述的操作迭代地重复,直到最终(最佳)注量图Fo,1使用D1(第一剂量预测模型151)生成。那些操作然后针对n个不同的成本函数重复以获得注量图集Fo。因此,Fo包含n个注量图:Fo,1、Fo,2、…、Fo,n,其中n是所考虑的成本函数的数目。

[0053] 在框506中,通过使用第二(更准确的)剂量预测模型152,基于注量图Fo(Fo,1、Fo,2、…、Fo,n)的剂量被计算。第二剂量预测模型152在本文中被指定为D2,并且使用该模型和注量图F计算的剂量在本文中以D2(F)的形式指定。

[0054] 在框508中,(在框504中)使用剂量预测模型151计算的剂量与(在框506中)使用剂量预测模型152计算的剂量之间的差被计算。差在本文中被表示为De:De=D2(F)-D1(F)。在图5A和图5B的示例中,De=D2(Fo)-D1(Fo)。

[0055] 这时候,已经确定注量图Fo(Fo,1、Fo,2、…、Fo,n),已经计算剂量D2(Fo)(D2(Fo,1),D2(Fo,2),…,D2(Fo,n)),并且已经计算差De(De(Fo,1),De(Fo,2),…,De(Fo,n))。

[0056] 以这种方式,生成辐射处理计划(该计划在本文中可以被称为第一辐射处理计划;术语“第一”不必意味着其是初始计划并且相反简单地被用作区分者)。刚才所描述的操作可以被重复,以生成任何数目的辐射处理计划来提供精选计划样本集,其可以用于限定Pareto表面。

[0057] 在框510中,为了扩大处理计划集,生成或者访问另一注量图Fp。在实施例中,通过使用新控制点序列,注量图Fp被生成。

[0058] 在框512中,注量图Fp被投影到注量图集Fo:Fp=(a1*Fo,1+a2*Fo,2+…+an*Fo,n)+Fr,其中a1,a2,…,an是标量并且Fr是残注量值图。确定标量的操作被称为投影,并且(例如)a1*Fo,1是Fo,1中的Fp的投影。

[0059] 选择标量a1、a2……an,使得Fr尽可能小。在实践中,这意味着Fr中的所有像素的平方和尽可能小;在线性代数术语中,Fr的平方长度被最小化。

[0060] 如上文所提到的,3D剂量(每体素的剂量)是注量图的线性函数。因此,一般而言,De(a1*F1+a2*F2+…+an*Fn)=a1*De(F1)+a2*De(F2)+…+an*De(Fn)。

[0061] 在框514中,Fr的大小(幅度)被用于确定De(Fp)(D2(Fp)-D1(Fp))是否可以使用a1*De(Fo,1)+a2*De(Fo,2)+…+an*De(Fo,n)来令人满意地近似。更具体地,Fr与阈值相比较。阈值可以是固定值或者其可以被缩放(正规化)到Fp的大小。在实施例中,阈值被表达为:

[0062] $$Fr * \frac{\sum_i |De(Fp_i)|}{\sum_i |Fr|},$$

[0063] 其中"||"指示针对剂量和注量的所选择的误差测量(例如,线性代数中的长度)。

[0064] 如果Fr满足阈值(例如,如果Fr足够小),那么流程图500转到框516;否则,流程图转到框518。

[0065] 在框516中,如果Fr满足阈值,那么基于注量图Fp的剂量D(Fp)使用第一(更快的)剂量预测模型151(D1)、并且还使用标量集a1、a2,…,an来计算。

[0066] 更具体地,在实施例中,访问在框506中使用第二(更准确的)剂量预测模型152和注量图Fo(Fo,1,Fo,2,…,Fo,n)计算的剂量D2(Fo)(D2(Fo,1),D2(Fo,2),…,D2(Fo,n))。在该实施例中,基于注量图Fp的剂量D(Fp)然后通过以下来计算:a)基于注量图Fr并且使用第一剂量预测模型151来计算剂量D1(Fr);b)将标量a1,a2,…,an和剂量D2(Fo)相乘;并且c)对结果进行求和:D(Fp)=D1(Fr)+a1*D2(Fo,1)+a2*D2(Fo,2)+…+an*D2(Fo,n)。

[0067] 在另一实施例中,访问在框508中计算的差De(De(Fo,1),De(Fo,2),…,De(Fo,n))。在该实施例中,基于注量图Fp的剂量D(Fp)然后通过以下来计算:a)基于注量图Fp、并且使用第一剂量预测模型151计算剂量D1(Fp);b)将标量a1,a2,…,an和差De(De(Fo,1),De(Fo,2),…,De(Fo,n))相乘;并且c)对结果进行求和:D(Fp)=D1(Fp)+a1*De(Fo,1)+a2*De(Fo,2)+…+an*De(Fo,n)。

[0068] 在框518中,如果Fr不满足阈值,那么用于新处理计划的剂量D(Fp)使用第二剂量预测模型152(D2)来计算。

[0069] 因此,在框516中,对于新处理计划的剂量可以使用第一(更快的)剂量预测模型151、而不是第二(更准确的)剂量预测模型152来近似。其他处理计划可以类似地生成。将新注量图投影到先前的注量图上确定将先前图加权的标量,并且还确定残值,残值可以被用

于评价与近似值相关联的误差，以确定哪个剂量预测模型将被使用。因此，使用更准确的模型针对另一计划先前地计算的剂量结果被用于对接近于另一计划的新计划进行快速的一阶校正。计算资源被节省，并且样本计划集可以被更迅速地扩展。

[0070] 现在参考图6，在框602中，第一剂量(D1(Fo,1)，D1(Fo,2)，…，D1(Fo,n))使用第一剂量预测模型151(D1)和第一注量图集(Fo,1,Fo,2,…,Fo,n)来访问(例如，从存储器)或者计算。

[0071] 在框604中，第二注量图Fp被访问(例如，从存储器)或者生成。

[0072] 在框606中，第二注量图Fp被投影到第一注量图集Fo上，以确定标量集a1,a2,…,an和残值Fr:Fp＝(a1*Fo,1+a2*Fo,2+…+an*Fo,n)+Fr。

[0073] 在框608中，剂量预测模型基于残值来选择。当残值满足准则时，第二剂量D(Fp)使用第一剂量预测模型151(D1)、标量集和第二注量图Fp来计算。当残值不满足准则时，第二剂量D(Fp)使用第二剂量预测模型152(D2)和第二注量图Fp来计算。

[0074] 更具体地，在实施例中，为了计算第二剂量D(Fp)，使用第一注量图集Fo和第二剂量预测模型152计算的第三剂量D2(Fo)(D2(Fo,1)，D2(Fo,2)，…，D2(Fo,n))被访问。第四剂量D1(Fr)使用第一剂量预测模型151和残值Fr来计算，并且对第四剂量与将标量集和第三剂量集相乘的积求和来计算第二剂量:D(Fp)＝D1(Fr)+a1*D2(Fo,1)+a2*D2(Fo,2)+…+an*D2(Fo,n)。

[0075] 在另一实施例中，为了计算第二剂量D(Fp)，访问第三剂量De(De(Fo,1)，De(Fo,2)，…，De(Fo,n))，其是使用第一注量图集Fo和第一剂量预测模型151计算的剂量与使用第一注量图集Fo和第二剂量预测模型152计算的剂量之间的差。第四剂量D1(Fp)使用第二注量图Fp和第一剂量预测模型151来计算，并且对第四剂量与将标量集和第三剂量De相乘的积求和来计算第二剂量:D(Fp)＝D1(Fp)+a1*De(Fo,1)+a2*De(Fo,2)+…+an*De(Fo,n)。

[0076] 在框610中，包括最终注量图的最终辐射处理计划选自处理计划样本集，其包括至少基于第一注量图集Fo的第一辐射处理计划和基于第二注量图Fp的第二辐射处理计划。最终注量图可以被转换为在辐射处理期间控制MLC的移动的叶序列设置集。

[0077] 总之，根据本发明的实施例具体而言改进辐射处理规划的领域，并且整体而言改进辐射治疗的领域。根据本发明的实施例允许迅速地生成更有效的处理计划，这可以非常重要，考虑到当患者被诊断患有疾病(诸如癌症)时开始辐射治疗的紧急程度。而且，根据本发明的实施例帮助改进计算系统的运行，因为更少的计算资源被需要并且被消耗以形成计划，这还意味着计算机资源被释放以执行其他任务。

[0078] 因此，描述了根据本发明的实施例。这些实施例可以被用于计划除IMRT之外的不同的类型的外部波束放射治疗，包括例如外部波束辐射治疗，包括例如图像引导辐射治疗(IGRT)、RapidArc™辐射治疗、立体定向辐射治疗(SBRT)、以及立体定向消融辐射治疗(SABR)。

[0079] 虽然已经以特定于结构特征和/或方法动作的语言描述了技术方案，但是应理解，随附的权利要求中限定的主题不必限于上文所描述的特定特征或动作。相反，上文所描述的特定特征和动作被公开为实现权利要求的示例形式。

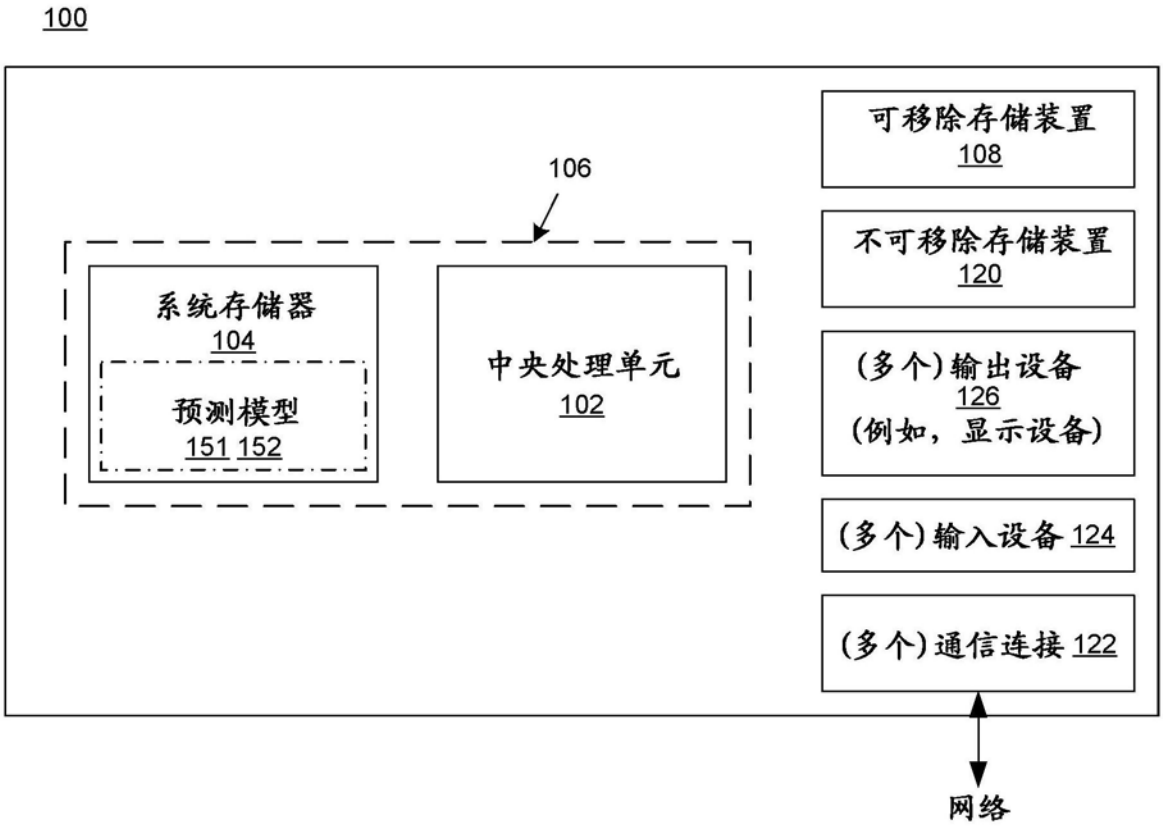

100
106
系统存储器
104
预测模型
151 152
中央处理单元
102
可移除存储装置
108
不可移除存储装置
120
(多个)输出设备
126
(例如，显示设备)
(多个)输入设备 124
(多个)通信连接 122
网络

图1

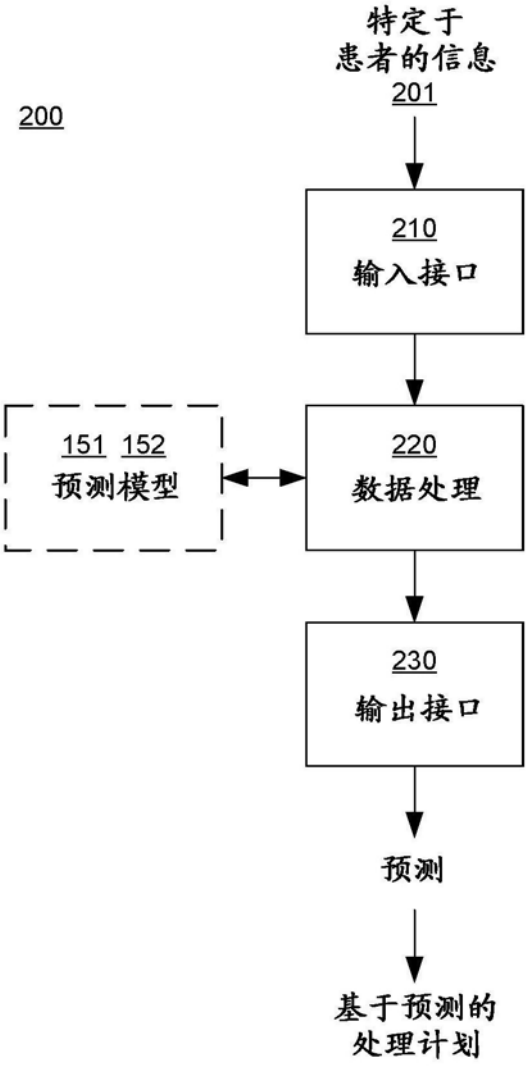

特定于
患者的信息
201
200
210
输入接口
151 152
预测模型
220
数据处理
230
输出接口
预测
基于预测的
处理计划

图2

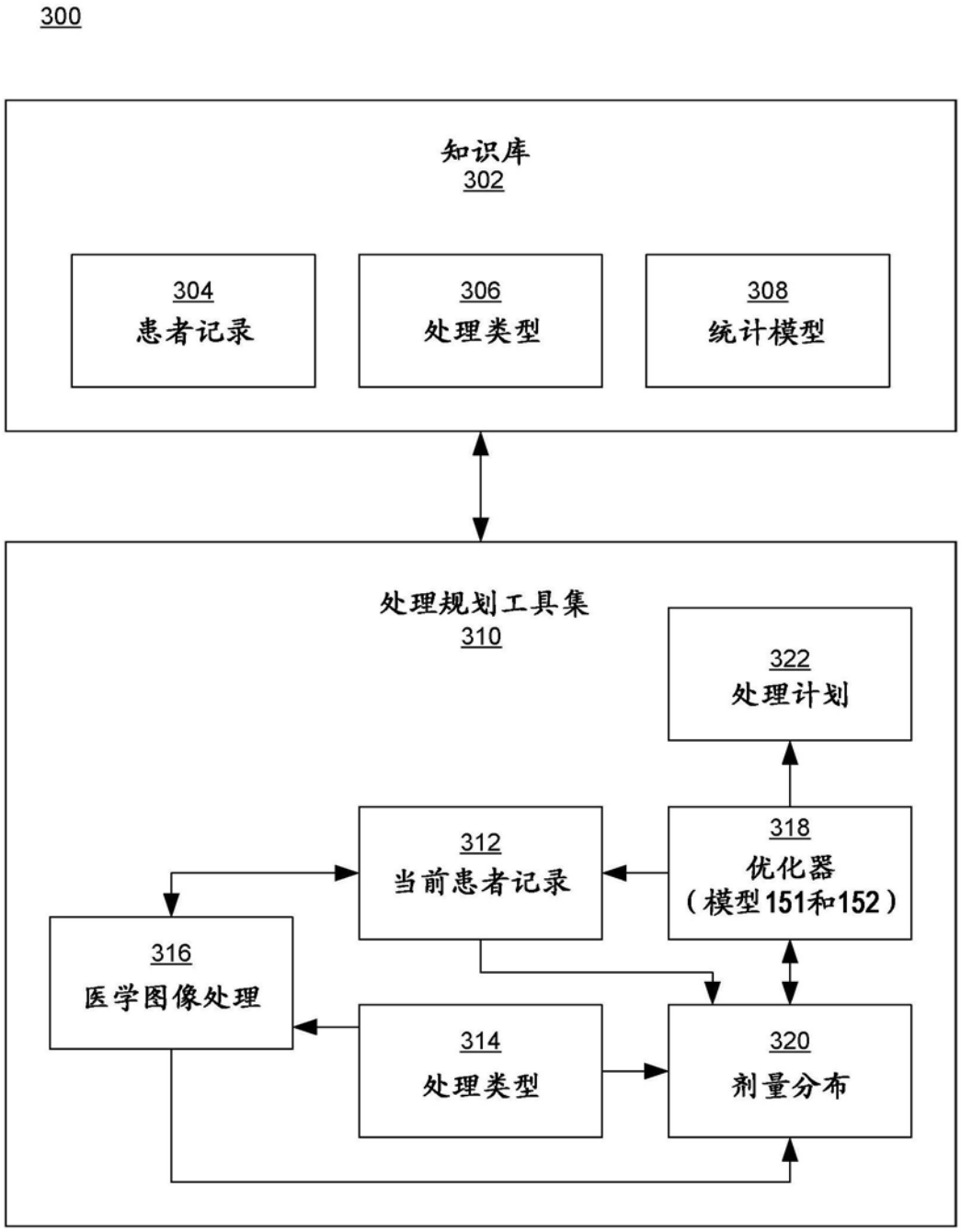

300
知识库
302
304
患者记录
306
处理类型
308
统计模型
处理规划工具集
310
322
处理计划
312
当前患者记录
318
优化器
（模型151和152）
316
医学图像处理
314
处理类型
320
剂量分布

图3

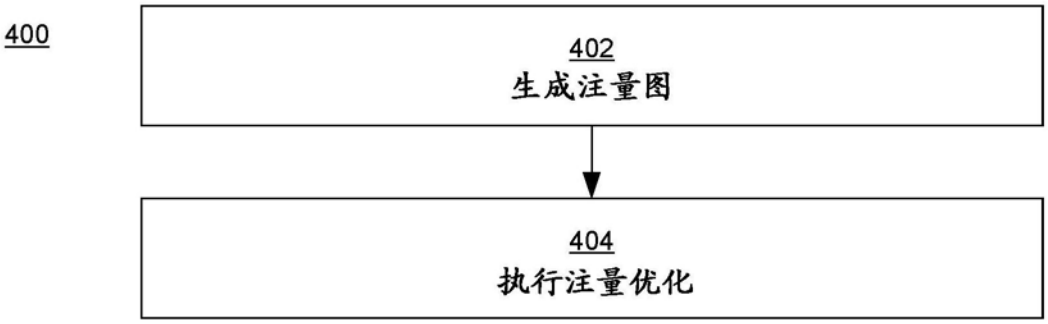

400
402
生成注量图
404
执行注量优化

图4

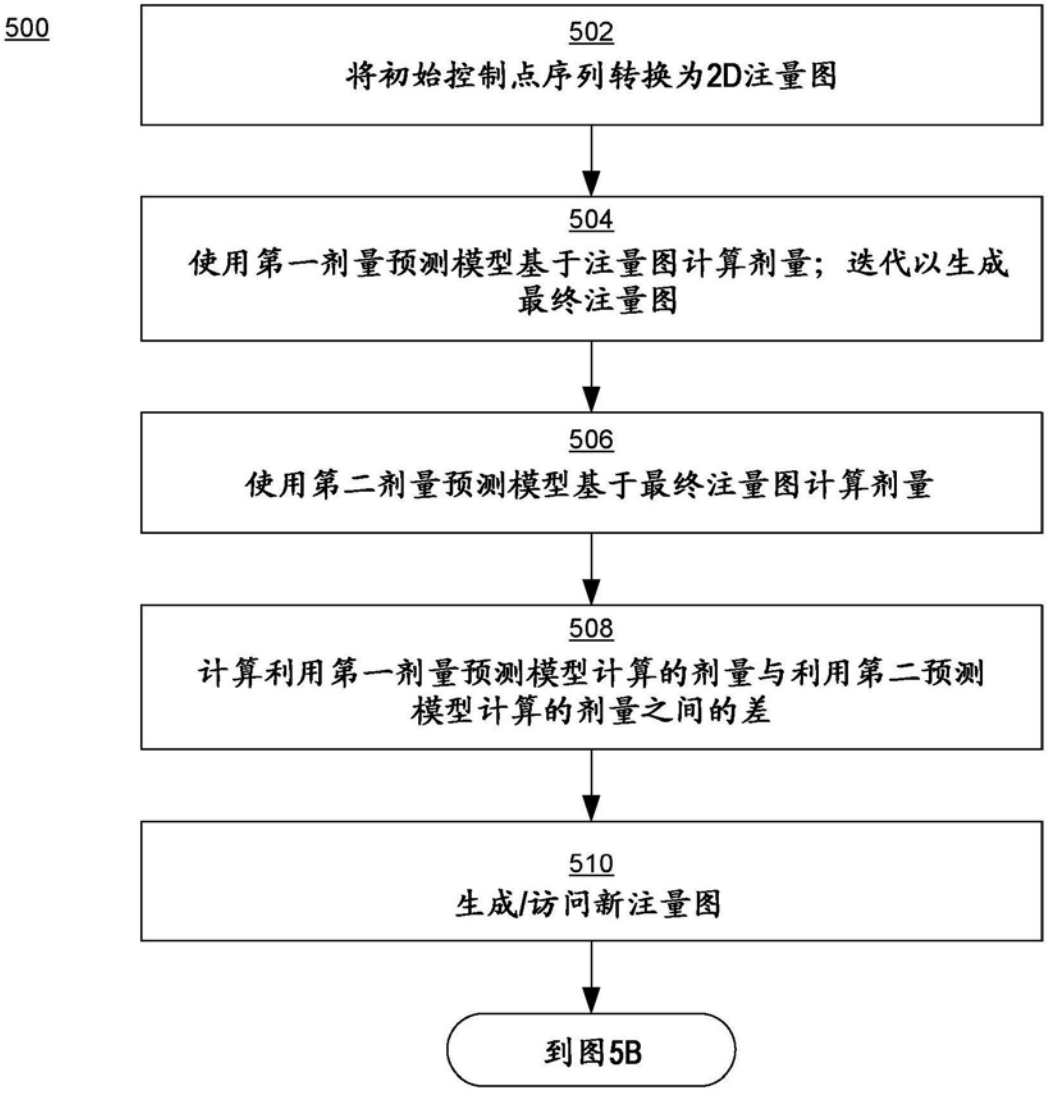

500
502
将初始控制点序列转换为2D注量图
504
使用第一剂量预测模型基于注量图计算剂量；迭代以生成最终注量图
506
使用第二剂量预测模型基于最终注量图计算剂量
508
计算利用第一剂量预测模型计算的剂量与利用第二预测模型计算的剂量之间的差
510
生成/访问新注量图
到图5B

图5A

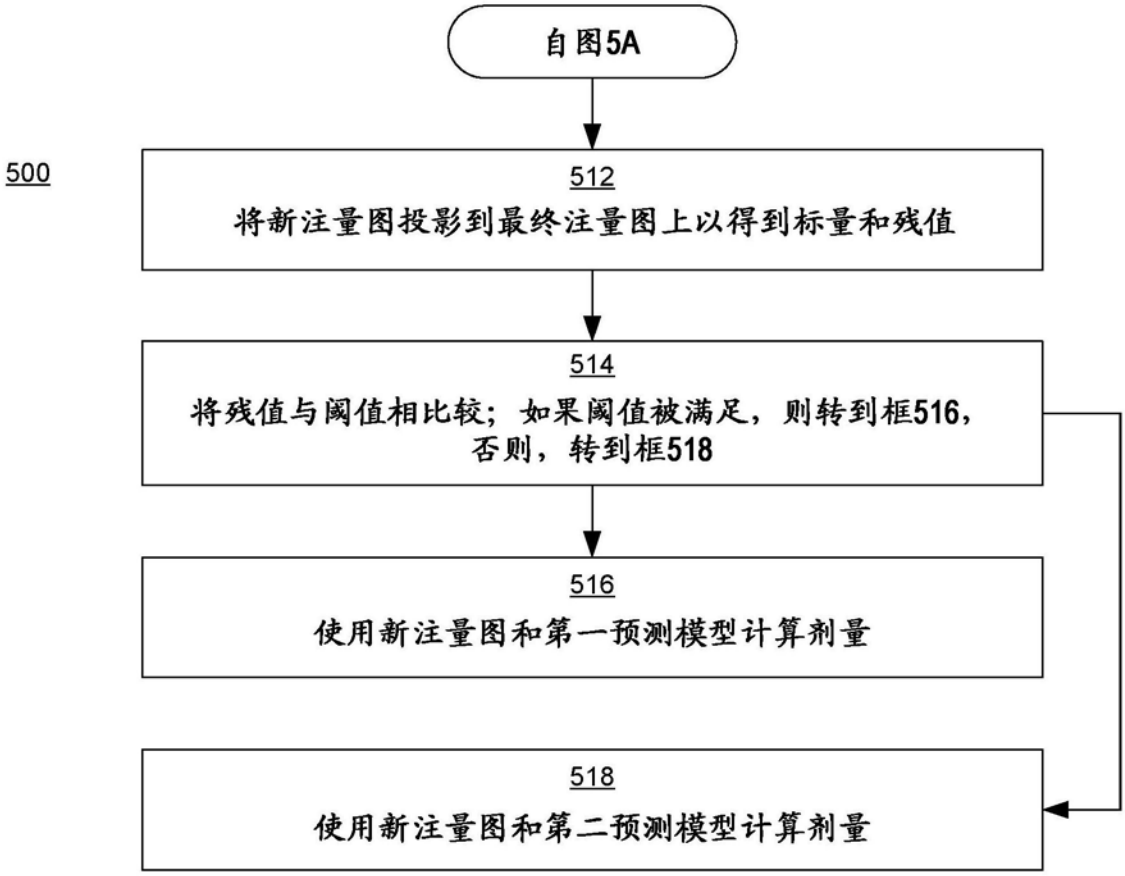

自图5A
500
512
将新注量图投影到最终注量图上以得到标量和残值
514
将残值与阈值相比较；如果阈值被满足，则转到框516，
否则，转到框518
516
使用新注量图和第一预测模型计算剂量
518
使用新注量图和第二预测模型计算剂量

图5B

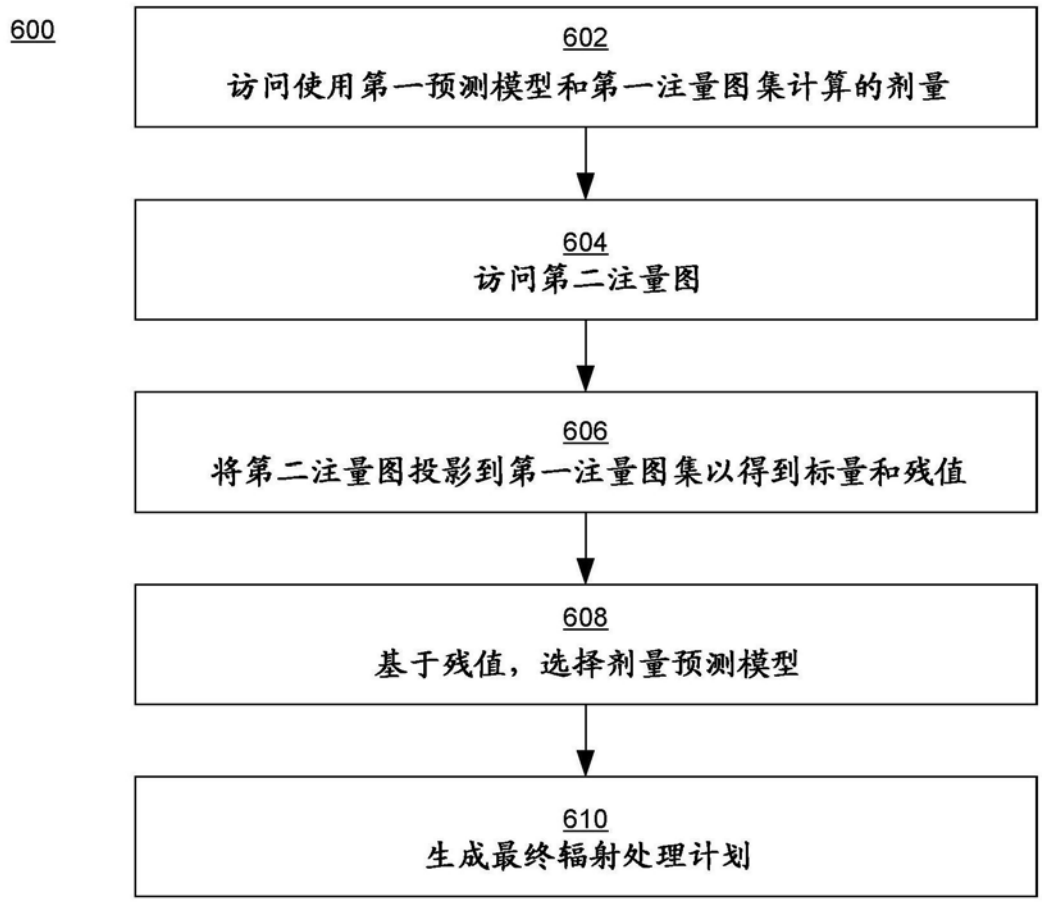

600
602
访问使用第一预测模型和第一注量图集计算的剂量
604
访问第二注量图
606
将第二注量图投影到第一注量图集以得到标量和残值
608
基于残值，选择剂量预测模型
610
生成最终辐射处理计划

图6