



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117580617 A

(43) 申请公布日 2024.02.20

(21) 申请号 202280045736.3

谢尔·埃里克松

(22) 申请日 2022.05.24

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

(30) 优先权数据

21183524.4 2021.07.02 EP

专利代理师 穆森 戚传江

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.12.27

(51) Int.Cl.

A61N 5/10 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2022/064032 2022.05.24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/274637 EN 2023.01.05

(71) 申请人 光线搜索实验室公司

地址 瑞典斯德哥尔摩

(72) 发明人 埃里克·特拉内乌斯

雅各布·奥登

阿尔宾·弗雷德里克松

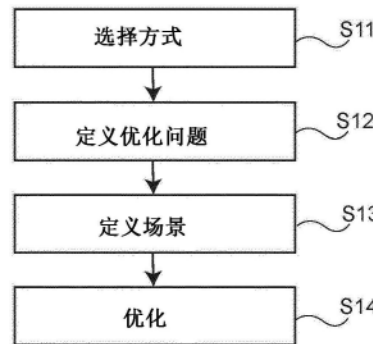
权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

多方式疗法的计划和优化

(57) 摘要

包括例如外科手术、放射疗法和诸如化学疗法的系统性治疗中的一个或多个的多方式治疗计划可以通过考虑影响每个治疗方式的不确定性以及由方式的组合产生的不确定性的两个或多个计划的鲁棒协同优化来获得。可以针对要在优化中使用的不同不确定性来定义场景。可以同时优化多个计划,或者可以考虑另一方式的另一计划的预测效果来优化一个计划。



1. 一种计划多方式治疗的基于计算机的方法,所述多方式治疗包括第一治疗方式的第一治疗计划和第二治疗方式的第二治疗计划,所述方法包括以下步骤:

- 获得包括与所述多方式治疗相关的目标函数的优化问题,
- 至少定义与至少一个参数中的第一不确定性相关的第一场景和第二场景,所述至少一个参数与所述多方式治疗关联,
- 在场景的集合上执行鲁棒优化。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述多方式治疗包括针对以下治疗方式中的两个或多个的治疗计划:

- 放射疗法,
- 化学疗法,
- 外科手术,
- 热疗,
- 免疫疗法,
- 冷冻疗法,
- 激素疗法。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述至少一个参数包括与所述第一治疗计划和所述第二治疗计划的预测组合效果相关的参数。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,参数包括以下各项中的一个或多个:

- 所述治疗期间治疗体积的空间位置,
- 所述治疗方式之间的治疗体积的空间位置的变化,
- 在所述治疗的过程中递送的量,
- 影响所述治疗的任一参数(例如,由于血液灌注、组织热和介电性质、递送的比吸收率(SAR)分布引起的热疗治疗的热传递不确定性),
- 不同方式的组合效果,
- 经治疗的组织的密度,
- 各种方式的相互作用效果,
- 范围不确定性,
- 器官移动和/或生物模型参数值。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述第一治疗计划已经被确定,并且所述鲁棒优化涉及考虑预先存在的第一计划而针对第二治疗计划来优化优化函数值。

6. 根据权利要求1-5中任一项所述的方法,其中,所述鲁棒优化包括通过考虑所述第一计划和所述第二计划的组合效果计算所述优化函数值来协同优化所述第一计划和所述第二计划。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述第一治疗计划是化学疗法治疗计划、外科手术治疗计划或热疗治疗计划,并且所述第二治疗计划是放射疗法治疗计划。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述第一治疗计划是放射疗法治疗计划,并且所述第二治疗计划是外科手术治疗计划、化学疗法治疗计划或热疗治疗计划。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述多方式治疗计划还包括一个或多个附加治疗计划。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述优化问题包括定义在优化期间维持的参数的约束。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述优化问题包括生物或物理目标。

12. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述优化问题被定义为优化布置成递送所述治疗计划之一的至少一个递送系统的机器参数。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述优化问题包括所述递送系统的简化机器模型。

14. 一种包括计算机可读代码装置的计算机程序产品,所述计算机可读代码装置在计算机中运行时将使所述计算机执行根据前述权利要求中任一项所述的方法。

15. 一种计算机系统,包括处理器和程序存储器,所述程序存储器保存要在所述处理器中执行的根据权利要求14所述的计算机程序产品。

多方式疗法的计划和优化

技术领域

[0001] 本发明涉及用于计划和优化多方式治疗(例如,诸如癌症的恶性疾病的多方式治疗)的方法、计算机程序产品和计算机系统。

背景技术

[0002] 多方式疗法治疗涉及组合使用不同类型的疗法以更有效地治疗疾病。方式通常包括以下中的两种或更多种:放射疗法(RT)、热疗(HT)、冷冻疗法、化学疗法、免疫疗法、激素疗法和外科手术,但也可以包括其他局部或系统的方式。

[0003] 多方式疗法治疗通常用于多种恶性疾病。例如,癌症患者通常利用与化学疗法、放射疗法或两者组合的外科手术进行治疗。不同的治疗通常顺序地递送,例如在外科手术之前或之后的放射疗法,但是也可以同时递送例如与放射疗法或化学疗法组合的热疗或外科手术中放射疗法,其中放射疗法治疗在外科手术期间递送。

[0004] 当前在临床实践中,多方式治疗中的每个方式通常被单独地计划和优化,这意味着不同方式的组合效果以及它们如何彼此影响不被考虑。共同未授权申请PCT/EP2022/059879涉及同时计划热疗疗法和放射疗法治疗,考虑每个计划的组合预测效果。

发明内容

[0005] 本发明的一个目的是实现用于多方式治疗的改进的计划方法。

[0006] 本发明涉及一种计划多方式治疗的基于计算机的方法,该多方式治疗包括第一治疗方式的第一治疗计划和第二治疗方式的第二治疗计划,所述方法包括以下步骤:

[0007] -获得包括与多方式治疗相关的目标函数的优化问题,

[0008] -至少定义与至少一个参数中的第一不确定性相关的第一和第二场景,所述至少一个参数与所述多方式治疗关联,

[0009] -在场景的集合上执行优化函数值的鲁棒优化。

[0010] 本发明基于以下认识:多方式疗法治疗的总体效果中的不确定性受各个方式不确定性和它们与其他方式不确定性组合的传播影响。根据本发明,已经在计划过程中考虑与多方式治疗相关的不确定性,包括一个方式中的不确定性如何影响其他方式的计划。通过利用鲁棒优化,不确定性被并入优化问题中。这意味着它们在优化期间的效果可以使用各种数学实现方式来减轻。这样做是为了利用协同优点并避免协同不利影响,以及考虑源自各个方式治疗的不确定性。

[0011] 至少一个参数可以包括与第一治疗计划和第二治疗计划的组合效果相关的参数。该至少一个参数可以包括以下中的一个或多个:

[0012] -治疗期间治疗体积的空间位置,

[0013] -治疗方式之间的治疗体积的空间位置的变化,

[0014] -在治疗过程中递送的量,

[0015] -影响治疗的任一参数(例如,由于血液灌注、组织热和介电性质、递送的比吸收率

(SAR)分布引起的热疗治疗的热传递不确定性),

[0016] -不同方式的预测组合效果,

[0017] -经治疗的组织的密度,

[0018] -各种方式的相互作用效果,

[0019] -范围不确定性,

[0020] -器官移动和/或生物模型参数值。

[0021] 要使用的方式可以包括以下两个或多个的任一组合:

[0022] • 放射疗法,

[0023] • 热疗,

[0024] • 化学疗法,

[0025] • 外科手术,

[0026] • 免疫疗法,

[0027] • 激素疗法,

[0028] • 冷冻疗法

[0029] • 用于治疗恶性疾病的任一其它疗法。

[0030] 频繁用于治疗恶性状况的特别合适的组合包括:

[0031] -化学疗法和放射疗法,

[0032] -化学疗法和外科手术,

[0033] -化学疗法和热疗,

[0034] -放射疗法和外科手术,

[0035] -放射疗法和热疗。

[0036] 应当注意,在上述治疗方式的每个组合中,在计划的场境中,每个方式可以是第一治疗方式或第二治疗方式。还可以存在与第一方式或第二方式中的一个或与第三方式相关的第三治疗计划。例如,众所周知的是在一起使用外科手术、化学疗法和放射疗法。最近的组合包括外科手术、热疗和放射疗法或化学疗法。还可以包括其他治疗计划。

[0037] 选择一个或多个不确定性的步骤可以涉及选择特定于作为方式的组合的结果的两个或多个方式和/或不确定性中的一个或两个的不确定性。

[0038] 在优选的实施例中,已经确定第一治疗计划,并且计算优化函数值的步骤包括考虑预先存在的第一计划而针对第二治疗计划来优化优化函数值。替代地,计算优化函数值的步骤可以包括通过考虑第一计划和第二计划的组合效果计算优化函数值来协同优化第一计划和第二计划。能够以类似的方式添加一个或多个进一步的计划。

[0039] 优化可以包括方式的至少一个计划和另一方式的至少一个计划的鲁棒协同优化。替代地,优化可以包括考虑多方式治疗的总体预测效果和另一方式的至少一个预先存在的计划的治疗不确定性的至少一个计划的鲁棒优化。

[0040] 与不同方式有关的治疗计划可以被优化用于同时或同一天或在不同天递送。如果开发了三个或更多个计划,则一些计划可以被优化用于同一天的递送并且一些计划用于在其他天递送。例如,热疗治疗计划可以被优化用于与第一放射疗法治疗计划一起递送,而第二放射疗法治疗计划可以被优化以用于在没有热疗治疗时的天递送。

[0041] 至少一个优化函数可以包括定义在目标函数的鲁棒优化期间维持的参数的约束。

附加地或替代地,至少一个优化函数包括生物或物理目标。目标函数和约束以及它们在治疗优化中的使用都是本身已知的。

[0042] 鲁棒优化可以包括用于构成多方式疗法治疗的方式中的一个或多个的任意递送系统的机器参数优化。优化问题可以包括以本身已知的方式作为约束和/或目标函数的机器限制。

[0043] 在一些实施例中,鲁棒优化包括以下之一:

[0044] • 随机编程方法,其中目标函数的期望值被最小化;

[0045] • minimax方法,其中误差场景上的目标函数的最大值被最小化;

[0046] • 通常被称为minimax随机编程的这两者的任一组合;

[0047] • 逐体素最坏情况方法,其中对被单独考虑的每个体素的最坏情况值进行优化;

或者

[0048] • 其他类型的鲁棒优化方法,包括风险值或风险条件值。

[0049] 能够使用包括等效辐射剂量 (EQD)、等效均匀分布 (EUD)、生物等效辐射剂量 (BED)、热增强比 (TER)、肿瘤控制概率 (TCP)、正常组织并发症概率 (NTCP)、无并发症治愈 (CFC)、次生癌症 (SC)、细胞存活分数和/或总体存活 (OS) 的生物模型来量化治疗效果。

[0050] 根据一些实施例,优化问题包括定义在优化期间维持的参数的约束。约束的使用是本领域公知的。优化问题还可以包括生物或物理目标。

[0051] 在一些实施例中,优化问题被定义为优化要用于将计划之一作为变量递送的至少一个递送系统的机器参数。直接优化机器参数消除了优化之后对机器参数的转换的需要。这可以例如通过优化问题来实现,该优化问题包括至少一个约束和/或与至少一个递送机器的机器限制相关的至少一个目标,该至少一个递送机器将被用于递送热疗治疗和/或放射疗法治疗作为约束或目标。

[0052] 优化问题适当地包括用于优化参数的递送系统或系统的简化机器模型,诸如用于加热系统的辐射通量优化和功率优化。

[0053] 本公开还涉及一种包括计算机可读代码装置的计算机程序产品,该计算机可读代码装置在计算机中运行时将使计算机执行根据上述实施例中任一项的方法。计算机程序产品优选地被存储在非暂时性存储介质上。

[0054] 本公开还涉及一种计算机系统,该计算机系统包括处理器和程序存储器,该程序存储器保存根据上述的要在处理器中执行的计算机程序产品。

[0055] 缩写

[0056] 在本文档中使用以下缩写:

[0057] BED-生物等效辐射剂量

[0058] DVB-剂量-体积直方图

[0059] EQD-等效辐射剂量

[0060] EQD2-以2-Gy分数的等效辐射剂量

[0061] EUD-等效均匀剂量

[0062] HT-热疗

[0063] LQ-线性二次

[0064] NTCP-正常组织并发症概率

- [0065] RT-放射疗法
- [0066] RHT-热放射疗法
- [0067] TCP-肿瘤控制概率
- [0068] TER-热增强比

附图说明

- [0069] 下面将通过示例并参考附图更详细地描述本发明。
- [0070] 图1是根据本发明实施例的总体方法的流程图。
- [0071] 图2是根据本发明实施例的更具体的方法的流程图。
- [0072] 图3是其中可以执行本发明的计算机系统的概览。

具体实施方式

[0073] 如上所述,许多疾病利用两种或多种不同类型的治疗或治疗方式的组合进行治疗。例如,取决于癌症类型和其它因素,癌症患者可以利用外科手术、化学疗法、放射疗法、热疗、冷冻疗法、激素疗法和免疫疗法中的一种或多种的组合进行治疗。这些方式中的每一个与由不能精确得知或控制的因素引起的不确定性,诸如患者的确切位置或移动或对某种治疗的响应性相关联。

[0074] 根据本公开,鲁棒优化方法以这样的方式应用于多方式治疗计划,以便单独考虑两个或所有方式的不确定性以及关于它们如何在患者的治疗中彼此影响的不确定性。多方式疗法治疗的鲁棒优化考虑了至少两种不同治疗方式的组合效果和不确定性。

[0075] 图1示出了根据本发明的实施例的用于为患者计划多方式治疗的方法的总体流程图。在第一步骤S11中,选择要使用的两种或更多种治疗方式。在第二步骤S12中,定义优化问题,包括基于生物模型的至少一个优化函数,该生物模型考虑至少两种治疗方式的组合效果。模型可以包括以下中的一个或多个:等效辐射剂量-EQD、等效均匀分布-EUD、生物有效剂量-BED、热增强比-TER、肿瘤控制概率-TCP、正常组织并发症概率-NTCP、无并发症治愈概率、次生癌症和/或总体存活。

[0076] 在第三步骤S13中,确定在多方式治疗中可能影响治疗的结果的至少一个不确定性,并且定义覆盖至少一个不确定性的不同可能实现的场景的集合,并且最后,在步骤S14中,在场景的集合上执行和评估鲁棒优化。

[0077] 选择一个或多个不确定性的步骤可以涉及选择特定于两种或更多种方式中的每一种的不确定性以及作为方式的组合的结果的不确定性。与计划多方式疗法治疗相关的典型不确定性包括以下各项:

- [0078] • 治疗期间治疗体积的空间位置,
- [0079] • 治疗方式之间的治疗体积的空间位置的变化,
- [0080] • 在治疗过程中递送的量,
- [0081] • 影响治疗的任一参数(例如,由于血液灌注、组织热和介电性质、递送的比吸收率(SAR)分布导致的热疗治疗的热传递不确定性),
- [0082] • 不同方式的组合效果,
- [0083] • 经治疗的组织的密度,

- [0084] • 各种方式的相互作用效果,
- [0085] • 器官运动
- [0086] • 对于放射疗法,关于粒子停止的位置的范围不确定性,
- [0087] • 生物模型参数值。

[0088] 在步骤S14中的优化可以包括对不同方式的两个或多个治疗计划的协同优化,或考虑一个或多个不同方式的一个或多个预先存在的计划的一个治疗计划的优化。在前一种情况下,该步骤包括通过考虑至少两个计划的组合效果的优化函数值的鲁棒协同优化来生成多方式计划。

[0089] 优化问题包括优化函数,其通常包括与生物或物理目标相关的至少一个目标函数。另外,优化函数可以包括定义在优化期间维持的参数中的一个或多个物理和/或生物约束。

[0090] 根据本公开,使用鲁棒优化函数,其基于多方式疗法治疗的(生物)效果,该多方式疗法治疗考虑所包括的方式的不确定性,使用与多方式治疗相关的不确定性的特定实现的场景。多方式治疗的效果可以通过等效感兴趣数量的数学表达式(例如,等效辐射剂量(EQD))和/或使用包括等效均匀分布(EUD)、生物等效辐射剂量(BED)、热增强比(TER)、肿瘤控制概率(TCP)、正常组织并发症概率(NTCP)、无并发症治愈(CFC)、次生癌症(SC)、细胞存活分数和/或总体存活(OS)的生物模型量化的任何治疗效果来量化。

[0091] 要考虑的不确定性对于不同方式是不同的。此外,方式的不同组合导致它们如何彼此影响的不同不确定性。对于化学疗法、免疫疗法和激素疗法,治疗的生物效果的不确定性可能由药物的摄取、药物的分布、组织的氧合等的不确定性引起。对于外科手术,由于肿瘤范围的不确定性,以及恶性细胞潜在的微观扩散超出需要大的切除余量的实体瘤,是否已成功去除感兴趣体积中的所有恶性细胞存在不确定性。随着切除余量的增加,NTCP随着损坏周围结构的可能性的增加而增加。

[0092] 作为示例,在计划组合的热疗和放射疗法治疗时可以考虑的典型不确定性将在以下列出:

[0093] HT治疗中的不确定性通常包括例如

- [0094] • 治疗期间患者位置或解剖结构的不确定性
- [0095] • 影响热传递的某物的不确定性(例如,血液灌注、组织热和介电性质、递送的比吸收率(SAR)分布)

[0096] • HT治疗(即,热剂量)中的温度递送的不确定性

[0097] • 直接细胞杀伤的量的不确定性

[0098] RT治疗中的不确定性可以包括例如:

- [0099] • 治疗期间患者位置或解剖结构的不确定性
- [0100] • 组织成分和密度的不确定性
- [0101] • 由于例如呼吸、各种器官内容等导致的器官运动引起的不确定性
- [0102] • 关于粒子停止的位置的范围不确定性

[0103] 在RTHT治疗中由两种方式的组合引起的不确定性可以包括

- [0104] • 由于抑制DNA修复、再氧合等引起的辐射敏化的温度依赖性的不确定性。
- [0105] • 热疗治疗与放射疗法治疗之间的患者位置或解剖结构的变化不确定性

[0106] • RTHT治疗的组合生物效果的计算中的不确定性

[0107] 然后能够在治疗计划优化过程中使用不同的方法来考虑这些不确定性,例如以下中的一个或多个:

[0108] • 使用由HT治疗的不确定性的不同实现产生的多个温度分布的基于场景的方法

[0109] • 对场景的最坏情况优化

[0110] • 对场景的预期值优化

[0111] • 其他类型的鲁棒优化,诸如CVaR、minimax随机等。

[0112] • 使用由场景产生的至少一个聚合温度分布的优化,例如,在场景上的逐体素最大和最小温度

[0113] • 使用聚集不确定性的效果的单个温度分布,例如,温度分布的拖尾以扩展高温或低温

[0114] • 使用单个温度分布但RT治疗期间的不确定性的多个实现的基于场景的方法。

[0115] 因此,当优化其他计划(即,RT或HT计划)时,可以通过分别考虑预先存在的HR或RT计划的预测效果来执行HTRT计划的优化。这可以例如根据以下内容来完成,如图2所示,假设HT计划是预先存在的:输入数据S21包括由该预先存在的热疗计划产生的预测温度分布。还获得优化问题S22,包括鲁棒优化函数,其中针对每个感兴趣的体素包括具有不确定性的生物参数的温度依赖性。使用考虑组合的RTHT治疗中的不确定性(包括源自HT和/或RT治疗的不确定性)的优化问题S22,输入数据S21被用作针对放射疗法计划的鲁棒优化S23的输入。结果,获得包括热疗计划和新优化的放射疗法计划的优化的多方式治疗,S24。该过程可以容易地适应于方式的其他组合。

[0116] 优化问题S22可以根据本领域技术人员已知的原理来定义。例如,可以使用用于细胞存活的线性二次(LQ)模型来优化组合治疗的以2-Gy分数(EQD2)的EQD。已知LQ参数 α 和 β 随温度变化,因为升高的温度引起辐射敏感性增加。通过结合用于LQ参数的温度依赖性的模型,可能针对辐射剂量和温度的组合效果直接在EQD2上优化。此外,EQD2可以被并入例如用于优化的TCP和/或NTCP模型中。以这种方式,依赖于温度的EQD2、TCP和/或NTCP可以被优化以满足所述临床目标。

[0117] 作为图2中所示的过程的替代,例如,放射疗法计划的预先存在的剂量分布可以被用作针对考虑组合的RTHT治疗中的不确定性(包括源自HT和/或RT治疗的不确定性)的热疗计划的鲁棒优化的输入。目标函数包括鲁棒优化函数,其中对于每个感兴趣的体素包括了辐射剂量的效果。如上所述,使用例如EQD2、TCP和NTCP模型的优化策略可以被用于热疗计划的优化。

[0118] 治疗方式的另一常见组合是外科手术和放射疗法。在一些情况下,在外科手术之前使用放射疗法,以使肿瘤收缩,使得其能够被更容易地移除。在其他情况下,在外科手术后使用放射疗法,以在任何剩余的癌细胞的情况下治疗肿瘤周围的区域。以下示例讨论了由RT计划和外科手术计划组成的多方式疗法治的鲁棒优化。

[0119] 在预先存在的RT计划的情况下,可以考虑上述外科手术特定不确定性,以及由于上述RT特定不确定性而导致RT治疗的效果的不确定性,优化外科手术以确保去除在辐射之后剩余的任何恶性细胞。

[0120] 在预先存在的外科手术计划的情况下,RT计划能够考虑RT特定不确定性(诸如设

置和颗粒范围)以及取决于外科手术去除余量的在例如肿瘤边界处的恶性细胞的外科手术去除和器官的NTCP的不确定性而被鲁棒地优化以根除所有恶性细胞。对于如肝脏的平行结构器官,NTCP强烈地取决于去除的器官体积,而其他功能直接连接到例如神经路径的备用。外科手术的预先存在的计划被用作针对考虑组合RT+外科手术治疗中的不确定性(包括源自外科手术和/或RT治疗的不确定性)的放射疗法计划的鲁棒优化的输入。

[0121] 在这种情况下,目标函数包括鲁棒优化函数,其中针对每个感兴趣的体素包括具有不确定性的生物参数的外科手术依赖性。例如,可以使用用于细胞存活的LQ模型来优化组合治疗的EQD2。通过结合恶性细胞的外科手术去除的模型,可以直接在EQD2上优化辐射剂量和外科手术的组合作效果,以确保恶性细胞的根除。此外,EQD2可以被并入例如用于优化的TCP和/或NTCP模型中。以这种方式,优化EQD2、TCP和/或NTCP以满足用于RT+外科手术的临床目标。

[0122] 在下文中,将给出协同优化的两个示例,即,同时优化不同方式的两个治疗计划。

[0123] 为了协同优化RTHT治疗计划,分别对组合RTHT治疗中的不确定性(包括源自HT和/或RT治疗的不确定性)鲁棒地协同优化热疗和放射疗法计划的温度和剂量分布。优化问题包括鲁棒优化函数,其中针对每个感兴趣的体素包括温度和剂量的组合作效果。如在上面的示例中,使用例如EQD2、TCP和NTCP模型的优化策略可以被使用,然而,在该示例中,温度和剂量分布在用于优化治疗的搜索中鲁棒地协同优化。

[0124] 替代地,多方式治疗可以包括外科手术和RT治疗,其中考虑两种方式的不确定性同时优化外科手术计划和RT计划。放射疗法计划的预先存在的剂量分布可以在这种情况下用作针对考虑(包括源自外科手术和/或RT治疗的不确定性)组合RT+外科手术治疗中的不确定性的外科手术计划的鲁棒优化的输入。优化问题包括鲁棒优化函数,其中针对每个感兴趣的体素包括外科手术和辐射剂量的组合作效果。外科手术计划和放射疗法计划的剂量分布考虑在组合RT+外科手术治疗中的不确定性(包括源自外科手术和/或RT治疗的不确定性)被鲁棒地协同优化。如在上面的示例中,使用例如EQD2、TCP和NTCP模型的优化策略可以被使用,然而,在该示例中,外科手术和剂量分布在用于优化治疗的搜索中鲁棒地协同优化。

[0125] 通常,在本发明的上下文中,优化函数可以包括用于优化参数的方式的系统的简化机器模型,诸如用于辐射系统的辐射通量优化和用于加热系统的功率优化。物理目标或目标取决于治疗方式被选择,并且通常包括辐射剂量、热剂量、对治疗体积中的靶标和风险器官(OAR)的药物摄取限制、体积直方图限制、用于放射疗法的线性能量传递(LET)限制、粒子停止的位置和/或均匀性和一致性指数。对于外科手术,物理目标可以包括外科手术切除体积、肿瘤与风险器官之间的重叠程度、以及切割表面和/或平面。

[0126] 图3示意性地图示了其中可以执行根据本发明的方法的计算机31。计算机31包括处理器33,处理器33连接到程序存储器35,程序存储器35布置成保存要在处理器中运行的一个或多个计算机程序。计算机还包括数据存储器36,数据存储器36被布置为保存要用于执行程序的数据和由执行产生的数据。如本领域中常见的,多个输入单元38和输出单元39通常连接到计算机31,计算机31包括屏幕、键盘和其他合适的单元。如将理解的,程序存储器和/或数据存储器可以被实现为计算机31中或外部的一个或几个存储器单元,例如在云中。在本发明中,数据存储器可以被布置以保存输入数据,诸如患者数据,其通常包括关于

不同组织的组织学数据。数据存储器36还可以保存关于不同场景的信息、关于计划集合的信息和用作优化的输入的先前获得的计划的信息。数据存储器36还可以保存形成来自方法的输出的所得的计划集合。

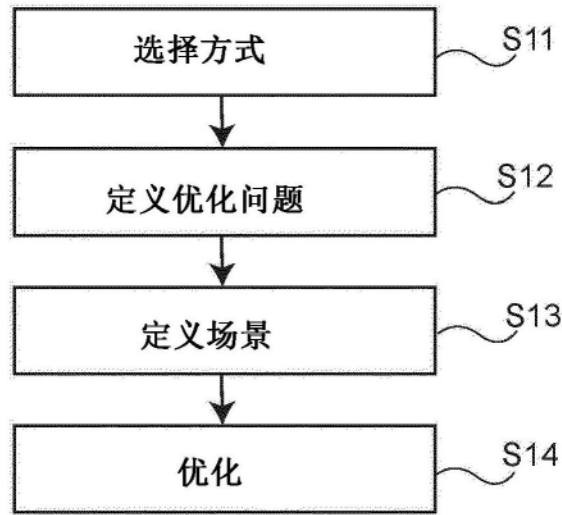


图1

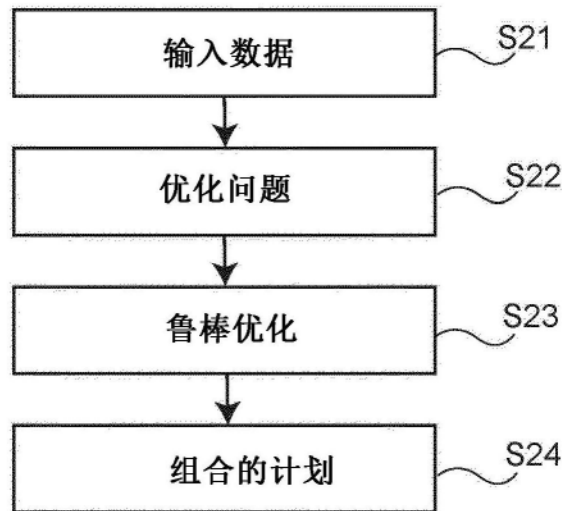


图2

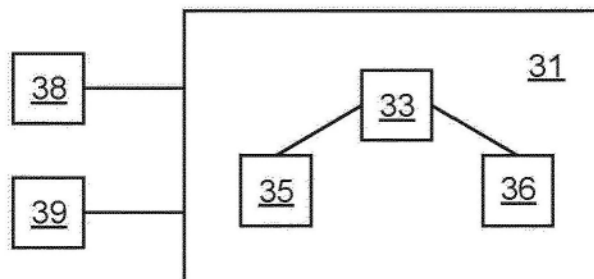


图3