



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109256205 B

(45) 授权公告日 2022. 07. 05

(21) 申请号 201810762981.1

(22) 申请日 2018.07.12

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109256205 A

(43) 申请公布日 2019.01.22

(30) 优先权数据
17464008.6 2017.07.12 EP
15/647302 2017.07.12 US

(73) 专利权人 西门子保健有限责任公司
地址 德国埃朗根市

(72) 发明人 T.帕塞里尼 L.M.伊图
D.科马尼丘 P.沙尔马

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
专利代理师 张健 刘春元

(51) Int.Cl.

G16H 50/20 (2018.01)

G16H 50/70 (2018.01)

(56) 对比文件

CN 106037710 A, 2016.10.26

CN 102762152 A, 2012.10.31

CN 105518626 A, 2016.04.20

CN 105078440 A, 2015.11.25

CN 105518626 A, 2016.04.20

WO 2016168194 A1, 2016.10.20

CN 102525443 A, 2012.07.04

CN 103270513 A, 2013.08.28

CN 103648387 A, 2014.03.19

US 2009132677 A1, 2009.05.21

US 2010179609 A1, 2010.07.15

审查员 高文达

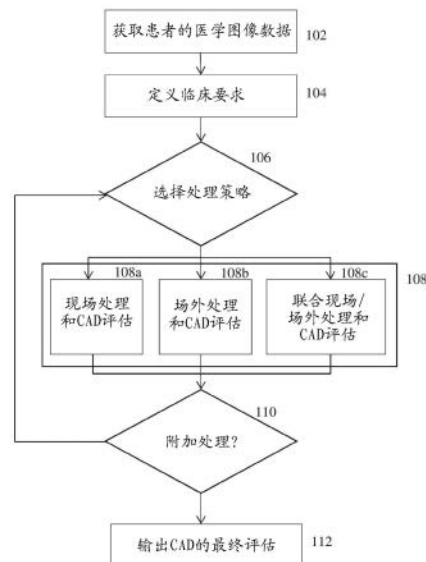
权利要求书5页 说明书14页 附图4页

(54) 发明名称

用于利用本地和远程分析学进行的临床决策支持的方法和系统

(57) 摘要

本发明涉及用于利用本地和远程分析学进行的临床决策支持的方法和系统。公开了一种用于使用现场和场外处理、针对临床决策支持对冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式的基于医学图像的评估的方法和系统。接收患者的医学图像数据。基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估患者的CAD的处理策略。根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一、基于患者的医学图像数据来执行患者的CAD的非侵入式评估。基于CAD的非侵入式评估来输出患者的CAD的最终评估。



1. 一种用于患者的冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式评估的方法,包括:
 - 接收患者的医学图像数据;
 - 基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略;
 - 根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的非侵入式评估;以及
 - 基于CAD的非侵入式评估来输出所述患者的CAD的最终评估;
 - 其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:
 - 通过使用成本函数的多目标优化评价不同可能处理策略,基于针对所述当前临床场景的所述临床要求,来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略。
2. 如权利要求1所述的方法,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:
 - 基于包括时间要求、保真度要求、现场当前可用的计算资源、所述医学图像数据的类型、或者针对所述当前临床场景的CAD评估的目的中的一个或多个的临床要求,来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略。
3. 如权利要求1所述的方法,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:
 - 使用经训练的基于机器学习的分类器来执行所述患者的所述医学图像数据中的钙评分;以及
 - 基于所述患者的所述医学图像数据中的所述钙评分,来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略。
4. 如权利要求1所述的方法,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:
 - 响应于所述当前临床场景是紧急情形的指示,自动选择用于使用现场处理评估所述患者的CAD的处理策略。
5. 如权利要求1所述的方法,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:
 - 使用经训练的基于机器学习的智能人工代理、基于针对所述当前临床场景的所述临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略。
6. 如权利要求5所述的方法,其中使用经训练的基于机器学习的智能人工代理、基于针对所述当前临床场景的所述临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:
 - 使用经训练的神经网络(DNN)、基于输入到经训练的DNN的临床指示符来自动选择所述处理策略,其中经训练的DNN是使用深度强化学习、基于针对各种患者的患者专用医学图像数据和所述各种患者的对应后果或临床历史的数据库来训练的。
7. 如权利要求6所述的方法,其中所述临床指示符是所述患者的所述医学图像数据的

钙评分。

8. 如权利要求1所述的方法,其中所述现场处理利用基于机器学习的CAD评估算法,并且所述场外处理利用基于计算建模的CAD评估算法。

9. 如权利要求1所述的方法,其中所述现场处理利用第一计算CAD评估算法,并且所述场外处理利用第二计算CAD评估算法,相比于所述第一计算CAD评估算法,所述第二计算CAD评估算法具有冠状动脉血流量的更高保真度计算模型。

10. 如权利要求1所述的方法,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括自动选择用于使用联合现场和场外处理的CAD评估的处理策略,并且

根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的非侵入式评估包括:

使用现场CAD评估算法、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的第一非侵入式评估;以及

使用场外CAD评估算法、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的第二非侵入式评估。

11. 如权利要求10所述的方法,其中基于CAD的非侵入式评估来输出所述患者的CAD的最终评估包括:

通过将使用所述现场CAD评估算法执行的CAD的第一非侵入式评估和使用所述场外CAD评估算法执行的CAD的第二非侵入式评估进行组合,来计算所述患者的CAD的最终评估。

12. 如权利要求1所述的方法,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括自动选择用于使用联合现场和场外处理的CAD评估的处理策略,并且

根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的非侵入式评估包括:

执行使用现场处理的CAD评估算法的一个或多个操作以及使用场外处理的CAD评估算法的一个或多个操作;以及

基于使用现场和场外处理的组合执行的CAD评估算法来生成所述患者的CAD的最终评估。

13. 如权利要求1所述的方法,进一步包括:

自动确定是否附加处理对于评估所述患者的CAD而言是必要的;以及

响应于确定附加处理对于评估所述患者的CAD而言是必要的,基于针对所述当前临床场景的所述临床要求和使用先前处理策略执行的CAD评估的结果,来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的经更新的处理策略。

14. 一种用于患者的冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式评估的设备,包括:

用于接收患者的医学图像数据的装置;

用于基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略的装置;

用于根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的非侵入式评估的装置;以及

用于基于CAD的非侵入式评估来输出所述患者的CAD的最终评估的装置；

其中用于基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略的装置包括：

用于通过使用成本函数的多目标优化评价不同可能处理策略，基于针对所述当前临床场景的所述临床要求，来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略的装置。

15. 如权利要求14所述的设备，其中用于基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略的装置包括：

用于基于包括时间要求、保真度要求、现场当前可用的计算资源、所述医学图像数据的类型、或者针对所述当前临床场景的CAD评估的目的中的一个或多个的临床要求，来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略的装置。

16. 如权利要求14所述的设备，其中用于基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略的装置包括：

用于使用经训练的基于机器学习的智能人工代理、基于针对所述当前临床场景的所述临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略的装置。

17. 如权利要求14所述的设备，进一步包括：

用于自动确定是否附加处理对于评估所述患者的CAD而言必要的装置；以及

用于响应于确定附加处理对于评估所述患者的CAD而言是必要的，基于针对所述当前临床场景的所述临床要求和使用先前处理策略执行的CAD评估的结果，来自动选择用于使用现场处理、场外处理、或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的经更新的处理策略的装置。

18. 一种非瞬变计算机可读介质，存储用于患者的冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式评估的计算机程序指令，所述计算机程序指令在被处理器执行时使所述处理器执行包括下述各项的操作：

接收患者的医学图像数据；

基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略；

根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的非侵入式评估；以及

基于CAD的非侵入式评估来输出所述患者的CAD的最终评估；

其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括：

通过使用成本函数的多目标优化评价不同可能处理策略，基于针对所述当前临床场景的所述临床要求，来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略。

19. 如权利要求18所述的非瞬变计算机可读介质,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:

基于包括时间要求、保真度要求、现场当前可用的计算资源、所述医学图像数据的类型、或者针对所述当前临床场景的CAD评估的目的中的一个或多个的临床要求,来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略。

20. 如权利要求18所述的非瞬变计算机可读介质,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:

使用经训练的基于机器学习的分类器来执行所述患者的所述医学图像数据中的钙评分;以及

基于所述患者的所述医学图像数据中的所述钙评分,来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略。

21. 如权利要求18所述的非瞬变计算机可读介质,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括:

使用经训练的基于机器学习的智能人工代理、基于针对所述当前临床场景的所述临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略。

22. 如权利要求18所述的非瞬变计算机可读介质,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括自动选择用于使用联合现场和场外处理的CAD评估的处理策略,并且根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的非侵入式评估包括:

使用现场CAD评估算法、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的第一非侵入式评估;以及

使用场外CAD评估算法、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的第二非侵入式评估。

23. 如权利要求18所述的非瞬变计算机可读介质,其中基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的处理策略包括自动选择用于使用联合现场和场外处理的CAD评估的处理策略,并且根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或联合现场和场外处理之一、基于所述患者的所述医学图像数据来执行所述患者的CAD的非侵入式评估包括:

执行使用现场处理的CAD评估算法的一个或多个操作以及使用场外处理的CAD评估算法的一个或多个操作;以及

基于使用现场和场外处理的组合执行的CAD评估算法来生成所述患者的CAD的最终评估。

24. 如权利要求18所述的非瞬变计算机可读介质,其中所述操作进一步包括:

自动确定是否附加处理对于评估所述患者的CAD而言是必要的;以及

响应于确定附加处理对于评估所述患者的CAD而言是必要的,基于针对所述当前临床场景的所述临床要求和使用先前处理策略执行的CAD评估的结果,来自动选择用于使用现场处理、场外处理、或联合现场和场外处理之一评估所述患者的CAD的经更新的处理策略。

用于利用本地和远程分析学进行的临床决策支持的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及冠状动脉疾病的非侵入式的基于医学图像的评估,并且更具体地,涉及用于冠状动脉疾病的非侵入式的基于本地和远程计算机的评估的临床决策支持。

背景技术

[0002] 心血管疾病(CVD)是全世界范围内死亡的主因。在各种CVD当中,冠状动脉疾病(CAD)占那些死亡的几乎百分之五十。血管的局部窄化或狭窄(stenosis)表示心血管疾病的重要原因。这种狭窄典型地随时间逐步发展,且可能在动脉循环的不同部分(诸如冠状动脉、肾动脉、外周动脉、颈动脉、大脑动脉等)中发展。这种局部窄化还可能是先天缺陷的结果。一种广泛地用于治疗动脉狭窄的疗法是支架术(stenting),即,将金属或聚合物支架放置在动脉中以打开腔,且因而促进血液的流动。当应对冠状动脉狭窄时,支架术疗法被称作经皮冠脉介入术(PCI)。

[0003] 用于诊断和管理冠脉狭窄的当前临床实践涉及可视地或通过定量冠脉血管造影术(QCA)评估患病的血管。这种评估给临床医生提供了狭窄段和患者血管的解剖概览,其包括面积减小、损伤长度和最小腔直径,但这种评估未提供损伤对经过血管的流量的影响的功能性评估。通过将压力导线插入到狭窄血管中来测量血流储备分数(FFR)已经被示作用于引导血管再通决策的更好选项,这是由于与侵入式血管造影术相比,FFR在识别导致局部缺血的损伤时更有效。然而,这种侵入式的基于压力导线的FFR测量涉及与将压力导线插入到血管中所必需的介入相关联的风险,并且对于非常窄的狭窄,压力导线可能引发附加的压降。

[0004] 在近几年中,已经开发了用于人类生理学和病理学的非侵入式的基于医学图像的评估的各种技术。例如,各种技术利用用于冠状动脉疾病的非侵入式评估的个性化生理建模。然而,这种技术在若干个方面中不同,该若干个方面包括所执行的分析的类型和质量以及执行该分析所需的处理时间。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种执行冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式评估且支持与如何在各种临床场景中非侵入式地评估CAD有关的临床决策的方法和系统。本发明实施例通过自动选择针对患者的CAD评估策略来生成优化的混合工作流程,该优化的混合工作流程将用于CAD的非侵入式评估的现场和场外处理进行组合,该CAD评估策略最佳地适合于眼前的临床问题,且然后使用优化的工作流程来执行针对患者的CAD的非侵入式评估。

[0006] 在本发明的一个实施例中,接收患者的医学图像数据。基于针对当前临床场景的临床要求来自动选择用于使用现场处理、场外处理或者联合现场和场外处理之一评估患者的CAD的处理策略。根据所选处理策略、使用现场处理、场外处理或者联合现场和场外处理之一、基于患者的医学图像数据来执行患者的CAD的非侵入式评估。基于CAD的非侵入式评

估来输出患者的CAD的最终评估。

[0007] 通过参考以下详细描述和附图,本发明的这些和其他优势对本领域技术人员来说将是显而易见的。

附图说明

[0008] 图1图示了根据本发明实施例的用于患者的冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式评估的方法;

[0009] 图2图示了根据本发明实施例的用于使用联合现场和场外处理对CAD的非侵入式评估的方法;

[0010] 图3图示了根据本发明实施例的用于使用现场和场外处理对患者的CAD的非侵入式评估的系统;

[0011] 图4图示了其中执行场外高保真处理的示例性处理策略;

[0012] 图5图示了其中使用场外处理和现场处理执行预处理步骤的示例性联合现场和场外处理策略;以及

[0013] 图6是能够实现本发明的计算机的高级框图。

具体实施方式

[0014] 本发明涉及一种执行冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式评估且支持与如何在各种临床场景中非侵入式地评估CAD有关的临床决策的方法和系统。本文描述本发明实施例,以给出用于CAD的基于医学图像的非侵入式评估的方法的视觉理解。数字图像常常由一个或多个对象(或形状)的数字表示组成。本文常常就识别和操控对象而言描述对象的数字表示。这种操控是在计算机系统的存储器或其他电路/硬件中完成的虚拟操控。相应地,应当理解,可以使用存储在计算机系统内的数据来在计算机系统内执行本发明实施例。

[0015] 已经开发了用于人类生理学和病理学的非侵入式的基于图像的评估的一系列技术。它们在若干个方面中不同,该若干个方面包括所执行的分析的类型和质量以及所需的处理时间。例如,已经开发了利用用于评估CAD的个性化生理建模的各种技术。用于个性化的基于图像的生理建模的总体工作流程典型地包括分析医学图像、从医学图像中提取几何特征、以及使用这些特征以确定感兴趣的量(例如,FFR)。一些方案利用患者的血流量的计算建模以执行CAD的非侵入式评估。典型地,在这种计算方案中,在图像分段之后基于医学图像来重构动脉树的解剖模型,对计算流体动力学模型进行个性化以描述患者专用血流动力学,并且基于使用个性化计算流体动力学模型而计算的所仿真的血流量和血压值来计算感兴趣的量(例如,FFR)。可替换方案利用机器学习技术以执行CAD的非侵入式评估。在这种基于机器学习的方案中,直接从图像中提取几何特征,并且给出该几何特征作为对经训练的预测器(例如,机器学习算法)的输入,以计算感兴趣的量。例如,可以使用机器学习算法,以根据从患者的医学图像数据中提取的患者专用冠脉树的几何特征预测FFR。

[0016] 可以在对患者专用医学图像进行获取或可视化的相同系统上交互式地执行用于CAD的非侵入式评估的感兴趣的量的计算(本地或现场处理);或者可以在不同的系统上以及在不同的时间处执行该计算(远程或场外处理)。与在特定医学设施处对于本地或现场处理而言可用的那些技术相比,用于CAD的非侵入式评估的不同技术可以使用远程或场外处

理而可用。例如,在可能的实施例中,现场处理可以使用基于机器学习的方案来计算感兴趣的量,并且场外处理可以使用计算方案来计算感兴趣的量。典型地,与场外处理相比,现场处理将更快地产生结果,但是,场外处理可以提供更详细或准确的结果。

[0017] 根据本发明实施例,涉及CAD的现场或场外评估或者两者的组合的不同方案可以是在不同临床场景中支持决策制定过程所期望的。本发明实施例在生成最优CAD评估策略时利用临床工作流程的约束。例如,本发明实施例可以在确定是利用CAD的现场非侵入式评估还是场外非侵入式评估时,考虑当前临床场景是紧急情形还是非紧急情形。在紧急情形中,诸如当针对急诊室(ER)中的患者执行CT扫描时,必须在有限的时间中制定急性疗法决策,CAD的现场非侵入式评估(仅基于CT图像)可以由于更短的处理时间而是有价值的解决方案;并且场外处理可能由于时间约束而不是有效选项。在非紧急情形中,CAD的场外评估可以提供可能使用现场处理不可用的更详细信息或附加信息。可以通过利用对处理时间的较不严格的要求来在该情形中选择包括这种场外处理的策略。这种场景的示例包括:访问场外而不是现场可用的不同的计算模型;提供与现场处理相比不同的分析或选项(例如,蚀斑(plaque)分析可以仅是场外可用的);场外运行多个计算模型并以组合的方式报告它们的结果;或者访问仅场外可用的训练数据库或计算模型的更新版本。在另一示例场景中,现场评估可能在当医学图像被获取时的时间处不可用。这可能例如由于成像工作站的限制(不兼容的硬件或软件配置)或者提供现场处理功能的工作站的不可用性。在该情况下,作为可替换方案,可以供应场外处理,以产生与现场对等物相同的结果或者在有选择不同分析或选项的可能性的情况下产生相同结果。

[0018] 图1图示了根据本发明实施例的用于患者的冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式评估的方法。图1的方法基于当前临床场景的具体临床要求,使用现场处理、场外处理或者联合现场和场外处理,来生成用于CAD的非侵入式评估的优化策略,并利用优化策略以提供针对患者的CAD的最终评估。

[0019] 在步骤102处,获取患者的医学图像数据。可以获取来自一个或多个成像模态的医学成像数据。例如,医学成像数据可以包括计算机断层摄影术(CT)、Dyna CT、磁共振(MR)、血管造影术、超声、单光子发射计算机断层摄影术(SPECT)、以及任何其他类型的非侵入式医学成像模态。医学图像数据可以是2D、3D或4D(3D+时间)医学图像数据。可以使用一个或多个图像获取设备(诸如CT扫描仪、MR扫描仪、血管造影术扫描仪、超声设备等)来获取医学图像数据,或者可以通过加载针对患者的先前存储的医学图像数据来接收医学图像数据。

[0020] 在有利实施例中,在CT扫描仪上获取3D冠脉CT血管造影术(CTA)图像。CTA图像确保使用被注射到患者中的对比剂来充分地对包括包含狭窄的(一个或多个)血管的冠状脉管系统进行成像。在该阶段处,可以给临床医生提供通过在图像上交互式地查看感兴趣的损伤(狭窄)来识别它们的选项。可替换地,可以使用用于自动检测冠状动脉狭窄的算法(诸如,在通过引用并入本文的美国公开专利申请No. 2011/0224542中描述的用于自动检测冠状动脉狭窄的方法)来在图像数据中自动检测狭窄。该步骤还可以在现场或场外处理期间从图像数据中提取的患者专用解剖模型的提取期间执行。除医学图像数据外,还可以获取其他非侵入式临床测量结果,诸如患者的心率以及收缩和舒张血压。

[0021] 在步骤104处,针对当前临床场景定义临床要求。临床要求可以包括时间要求(诸如,到其时需要CAD评估的绝限)、成本要求、保真度/质量要求、现场当前可用的资源(例如,

当前工作站的硬件和/或软件配置或者具有针对现场处理而需要的处理功能的其他工作站的可用性)、可用的成像数据和非侵入式临床测量结果的类型、针对CAD评估(例如,一般评估/诊断、疗法计划、紧急情形等)的目的/端点和/或进一步定义当前临床场景的其他要求。这种要求中的一个或多个可以由用户手动输入。在示例性实现方式中,可以在提示用户填入临床要求或可以用于定义临床要求的信息的工作站(计算机)的显示器/屏幕上显示图形用户界面。在另一实施例中,临床要求可以包括从医学图像数据和/或非侵入式临床参数中自动提取的临床指示符。例如,可以在患者的医学图像数据中自动执行钙评分,并将该钙评分用作用于确定处理策略的临床指示符。在可能的实现方式中,可以使用经训练的基于机器学习的分类器来自动执行钙评分。在示例性实现方式中,由于用于CAD的非侵入式评估的不同算法具有针对具有高钙评分的患者的不同准确性,因此可以计算实际钙分数并将其用作处理策略的选择所基于的多个临床指示符之一。

[0022] 在步骤106处,基于临床要求来针对当前临床场景自动选择处理策略。基于在步骤104中定义的临床要求,选择最优策略,该最优策略关于如何最佳地使用可用的现场和/或场外CAD评估算法以在当前临床场景中提供CAD的评估。基于临床要求,确定是执行现场CAD评估、场外CAD评估、还是联合现场/场外CAD评估。智能人工代理(即,经训练的算法)基于临床要求以及与可用的现场和场外CAD评估算法有关的信息来选择或设计处理策略。

[0023] 在一个实施例中,策略选择算法可以是在现场计算机系统上运行的基于机器学习的算法。例如,可以在用于获取患者的图像数据的医学图像扫描仪中并入的计算机系统上或者在画面存档和通信系统(PACS)上直接运行这种基于机器学习的算法。基于机器学习的智能人工代理可以通过评价患者的图像数据中的临床指示符(诸如,钙评分)来分析情况的复杂度,且然后决定是场外发送图像数据、现场处理图像数据、还是选择联合现场和场外处理策略以用于评估针对患者的CAD。基于机器学习的代理可以通过下述操作来训练的:回溯性地分析患者专用医学数据和患者的对应后果或临床历史的大型数据库,以便学习什么种类的处理策略被实现以给临床医生提供用于患者的最优护理的准确信息以及什么选择不是最优的(例如,在时间或成本效率方面)。附加地,可以使用所仿真的临床研究来生成附加训练数据,根据所仿真的临床研究,考虑到各种临床场景和患者医学图像数据,代理可以学习具有CAD评估的不同处理策略的效果。可以使用各种机器学习技术以训练基于机器学习的智能人工代理。在有利实施例中,可以使用基于深度强化学习的算法(DRL)来实现智能人工代理,该算法已经被离线训练以学习用于选择非侵入式CAD评估策略的最优方针。这种最优方针还可以被视为用户必须遵循以便达到期望结果(真正的事实)的最优轨迹。在上面呈现的我们的示例中,轨迹将由用户在所提出的决策工作流程的每一个步骤处选择的选择集合(要选择什么种类的非侵入式CAD评估)来表示。一种训练DRL算法的方式是使用由训练示例(即,轨迹)构成的训练数据库,该训练示例由考虑到临床情境而已执行CAD评估策略的选择任务的一个或多个用户生成。另一种方式将是“合成地”生成训练数据库,即,通过下述操作:通过使用一个或多个图像处理和一个或多个)计算建模算法来创建示例。

[0024] 在另一实施例中,策略选择算法可以使用基于描述每一个数据处理策略的不同方面(诸如时效性、成本、准确性等)的数学函数的多目标优化来选择处理策略。

[0025] 在步骤108处,根据针对当前临床场景的所选处理策略,基于患者的医学图像数据,来执行针对患者的CAD的非侵入式评估。在步骤106处选择的处理策略可以是执行现场

处理和CAD评估(108a)、场外处理和CAD评估(108b)、或者联合现场和场外处理和CAD评估(108c)。相应地,基于在步骤106处选择的处理策略,执行步骤108a、108b或108c。

[0026] 在步骤108a处,执行现场处理和CAD评估。特别地,使用现场计算机系统中的一个或多个本地计算机或处理器来执行现场CAD评估算法,以执行其处理操作。在有利实施例中,可以使用基于机器学习的算法来执行现场处理和CAD评估。例如,在可能的实现方式中,可以使用现场机器学习算法,以根据从患者的医学图像数据中提取的患者的冠状动脉的几何特征预测FFR、压降或其他血流动力学指数(例如冠脉血流储备(CFR)、瞬时无波比(IFR)、充血应力储备(HSR)、基部狭窄阻力(BSR)、微循环阻力指数(IMR)等)。在该情况下,可以通过下述操作来执行用于CAD评估的现场的基于机器学习的方法:从提取自医学图像数据的冠状动脉的患者专用解剖模型中或者直接从医学图像数据中提取几何特征;将所提取的几何特征输入到经训练的基于机器学习的模型;以及使用经训练的基于机器学习的模型来计算感兴趣血流动力学量。可以使用任何类型的机器学习算法来训练基于机器学习的模型。在另一可能实现方式中,可以使用深度学习架构,以直接根据医学图像数据预测FFR或其他感兴趣血流动力学量。例如,可以通过下述操作来执行CAD评估:检测与感兴趣的狭窄和患者的医学图像数据中的冠状动脉树相对应的图像片(image patch);将图像片直接输入到经训练的深度神经网络回归元;以及使用被直接应用于图像片的经训练的深度神经网络回归元来计算感兴趣血流动力学量。在其公开内容以其全文通过引用并入本文的下述各项中更详细地描述用于CAD的非侵入式评估的各种基于机器学习的算法:美国专利No. 9,538,925,2017年1月10日发布,名称为“Method and System for Machine Learning Based Assessment of Fractional Flow Reserve”;美国专利No. 9,349,178,2016年5月24日发布,名称为“Synthetic Data-Driven Hemodynamic Determination in Medical Imaging”;国际专利公开No. WO 2016/075331 A2,2015年11月16日提交,名称为“Method and System for Purely Geometric Machine Learning Based Fractional Flow Reserve”;以及美国公开No. 2015/0112182,2014年10月16日提交,名称为“Method and System for Machine Learning Based Assessment of Fractional Flow Reserve”。在另一可能实施例中,可以使用计算算法来执行现场处理和CAD评估,在该计算算法中,使用CFD模型来仿真冠状动脉中的血流量,并且基于所仿真的血流量来计算感兴趣血流动力学量。下面描述与用于CAD评估的基于CFD的算法有关的附加细节。

[0027] 在步骤108b处,执行场外处理和CAD的评估。在该情况下,将患者的医学图像数据和临床测量结果传输到场外计算机系统,诸如远程服务器或云计算系统,并且场外计算机系统执行CAD评估算法的处理操作并将所得到的感兴趣血流动力学量返回到现场系统。在可能的实现方式中,多个场外CAD评估算法可以是可用的,并且在步骤106中选择的处理策略可以包括从可用的场外CAD评估算法中选择具体场外CAD评估算法。在该情况下,现场计算机系统可以传输针对要执行的所选具体场外CAD评估算法的请求。

[0028] 在有利实施例中,可以使用计算建模(例如,基于CFD的)算法来执行场外处理和CAD评估。例如,可以通过下述操作来执行计算CAD评估:在患者的医学图像数据中对冠状动脉进行分段,以生成冠状动脉树的患者专用解剖模型;基于患者专用解剖模型和患者的临床测量结果来对冠状动脉循环的CFD模型进行个性化,以对患者专用血流动力学进行建模;使用个性化的CFD模型来仿真冠状动脉中的血流量和血压;以及基于所仿真的血流量和血

压值来计算感兴趣血流动力学量(例如FFR、压降、冠脉血流储备(CFR)、瞬时无波比(IFR)、充血应力储备(HSR)、基部狭窄阻力(BSR)、微循环阻力指数(IMR)等)。可以使用各种CFD模型(例如全尺度3D CFD模型、多尺度CFD模型、降阶1D模型等)以执行CFD血流量和血压仿真,并且可以使用各种技术以计算患者专用边界条件以便对CFD模型进行个性化。在其公开内容以其全文通过引用并入本文的下述各项中更详细地描述用于CAD评估的各种计算(例如,基于CFD的)技术:美国公开No. 2014/0058715,2013年11月4日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Functional Assessment of Coronary Artery Stenosis”;美国公开No. 2013/0246034,2013年3月11日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Functional Assessment of Coronary Artery Stenosis”;美国公开No. 2013/0032097,2012年11月9日提交,名称为“Method and System for Multi-Scale Anatomical and Functional Modeling of Coronary Circulation”;美国公开No. 2012/0792190,2011年9月7日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Assessment of Coronary Artery Disease”;以及美国专利No. 9,595,089,2017年3月14日发布,名称为“Method and System for Non-Invasive Computation of Hemodynamic Indices for Coronary Artery Stenosis”。在另一可能实施例中,可以使用基于机器学习的算法来执行场外处理和CAD评估。

[0029] 在有利实施例中,使用基于机器学习的算法来执行现场处理和CAD评估(108a),并且使用计算(例如,基于CFD的)算法来执行场外处理和CAD评估,但本发明不限于此,并且现场和场外CAD评估算法均可以使用计算算法或基于机器学习的算法而实现。在可能的实施例中,可以使用第一基于机器学习的算法来执行现场处理和CAD评估(108a),并且可以使用第二基于机器学习的算法来执行场外处理和CAD评估(108b),相比于第一基于机器学习的算法,第二基于机器学习的算法使用更加计算密集型的机器学习模型。例如,现场算法可以使用输入从医学图像数据中提取的几何特征的机器学习模型,并且场外算法可以使用直接输入医学图像数据的深度学习架构。在另一可能实施例中,可以使用具有降阶CFD模型的计算方案来执行现场处理和CAD评估(108a),并且可以使用具有多尺度或全尺度3D CFD模型的计算方案来执行场外处理和CAD评估(108b)。

[0030] 在步骤108c处,根据在步骤106处选择的处理策略来执行联合现场和场外处理以及CAD评估。图2图示了根据本发明实施例的用于使用联合现场和场外处理对CAD的非侵入式评估的方法。参考图2,在步骤202处,获取患者的医学图像数据。除医学图像数据外,还可以获取其他非侵入式临床测量结果,诸如患者的心率以及收缩和舒张血压。该步骤类似于图1的步骤102。在步骤204处,执行现场处理。在步骤206处,执行场外处理。可以基于所选处理策略来并行地(例如,同时)或按任何次序顺序地执行步骤204和206。在步骤208处,基于现场和场外处理结果的联合分析来执行CAD评估。步骤208可以由现场计算机系统执行或由场外计算机系统执行。

[0031] 在一个实施例中,针对联合现场和场外处理的所选处理策略可以是:执行现场CAD评估算法和分离的场外CAD评估算法两者。在该情况下,在步骤204处,现场计算机系统执行现场CAD评估算法并生成第一感兴趣血流动力学量。现场CAD评估算法可以是基于机器学习的算法或计算算法,如上面所描述。在步骤204处,场外计算机系统执行场外CAD评估算法并生成第二感兴趣血流动力学量。例如,可以将患者的医学图像数据和患者的临床测量结果

连同针对要执行的场外CAD评估算法的请求一起传输到场外计算机系统,场外计算机系统执行所请求的场外CAD评估算法,并且,将所得到的第二感兴趣血流动力学量返回到现场计算机系统。在步骤208处,基于第一和第二感兴趣血流动力学量的联合分析来执行CAD评估。在可能的实现方式中,可以确定第一和第二感兴趣血流动力学量是导致CAD的一致评估还是不一致评估。特别地,第一和第二血流动力学量(例如,FFR)均可以与用于确定CAD的严重性的预定阈值相比较。如果第一和第二感兴趣血流动力学量两者均高于阈值,或者第一和第二感兴趣血流动力学量两者均低于阈值,则现场CAD评估和场外CAD评估是一致的且可以用于患者的CAD的最终评估。如果第一和第二感兴趣血流动力学量中的一个高于阈值并且另一个低于阈值,则现场CAD评估和场外CAD评估是不一致的,并且可能需要更多信息或处理以确定患者的CAD的最终评估。在另一可能实现方式中,例如通过计算第一和第二感兴趣血流动力学量的平均值或加权平均值(例如,利用在处理策略中预定或定义的第一和第二感兴趣血流动力学量的相对加权),将第一和第二感兴趣血流动力学量进行组合。可以将组合值与阈值进行比较,以评估患者的CAD的严重性。还可以输出组合值,以在不需要进一步处理的情况下提供CAD的最终评估。

[0032] 在另一实施例中,针对联合现场和场外处理的所选处理策略可以是:使用联合现场和场外处理以执行CAD评估算法的不同操作。在该情况下,步骤204的现场处理用于执行CAD评估算法的一个或多个操作,并且步骤206的场外处理用于执行CAD评估算法的一个或多个操作。例如,在基于机器学习的CAD评估算法的情况下,如所选处理策略所确定的那样,可以以任何组合通过现场处理或场外处理来执行各种操作,诸如对医学图像数据进行预处理、从医学图像数据中提取解剖模型和/或几何特征、以及使用训练机器学习模型来计算感兴趣血流动力学量。类似地,在计算CAD评估算法的情况下,如所选处理策略所确定的那样,可以以任何组合通过现场处理或场外处理来执行各种操作,诸如对医学图像数据进行预处理、提取解剖模型、对CFD模型进行个性化、执行血流量和血压仿真、以及计算感兴趣血流动力学量。在步骤208处,将使用现场处理执行的操作和使用场外处理执行的操作进行组合,以生成CAD评估(例如,计算感兴趣血流动力学量)。该步骤可以是作为现场或场外处理的一部分而执行的。

[0033] 返回到图1,在步骤110处,确定是否针对患者的CAD的非侵入式评估而要求附加处理。可以将感兴趣血流动力学量与一个或多个阈值进行比较,以确定是否已经使用利用当前处理策略而执行的(一个或多个)CAD评估算法对患者的CAD的决定性评估进行存档。例如,可以将感兴趣血流动力学量(例如,FFR)与用于评估CAD的严重性的预定阈值进行比较。如果感兴趣血流动力学量处于与高于和低于阈值的值的某种范围相对应的灰色地带中,则当前CAD评估可以被视为非决定性的,并且,可以确定需要更多处理。如果感兴趣血流动力学量不处于灰色地带内,则可以确定当前CAD评估是决定性的并且不需要进一步处理。在另一示例性实现方式中,可以将使用CAD评估算法计算的多个不同感兴趣的量或使用多个不同CAD评估算法(例如,现场和场外或多个场外)计算的感兴趣的量与阈值进行比较,以便确定基于各种感兴趣的量的评估是一致的还是不一致的。如果评估是不一致的,则可以确定需要附加处理,而如果评估是一致的,则可以确定不需要进一步处理。

[0034] 当在步骤110处确定需要附加处理,则该方法返回到步骤106并且选择更新的处理策略。特别地,然后确定需要什么附加处理(现场、场外或者联合现场和场外)。例如,可以在

该点处选择先前未选择的现场或场外CAD评估算法,或者可以选择新联合现场/场外处理策略以改进先前CAD评估结果。在可能的实施例中,可以确定需要患者的附加生理测量结果(诸如,侵入式生理测量结果)以便改进CAD评估结果。在该情况下,可以利用基于新接收到的生理测量结果增强先前CAD评估结果的CAD评估算法(现场、场外或联合),如2016年7月27日提交的、名称为“Method and System for Enhancing Medical Image-Based Blood Flow Computations Using Physiological Measurements”的美国公开No. 2017/0032097中所描述的那样,该美国公开No. 2017/0032097的公开内容以其全文通过引用并入本文。当确定附加处理不必要时,该方法继续到步骤112。

[0035] 在步骤112处,输出针对患者的CAD的最终评估。针对患者的CAD的最终评估可以包括狭窄的位置和其他类型的CAD以及针对位置中的每一个而计算的对应感兴趣血流动力学量。CAD的最终评定还可以包括CAD的严重性的定性描述,其可以基于感兴趣血流动力学量而自动指派。可以通过在显示设备上显示CAD的最终评估以及存储CAD的最终评估(例如,存储在PACS中)来输出CAD的最终评估。在示例性实现方式中,可以通过显示从医学图像中提取的冠状动脉树的患者专用解剖模型的可视化来输出CAD的最终评估,该可视化被覆盖有狭窄或其他CAD位置以及对应感兴趣血流动力学量的值的可视化。可以对患者的冠状动脉的可视化进行彩色编码以将CAD的严重性指示为各种位置。

[0036] 图3图示了根据本发明实施例的用于使用现场和场外处理对患者的冠状动脉疾病(CAD)的非侵入式评估的系统。如图3中所示,本地计算机设备300包括策略选择算法302、现场CAD评估算法304、用户界面306和场外CAD评估信息308。本地计算机设备300与一个或多个图像获取设备301以及画面存档和通信系统(PACS)303通信。本地计算机设备300可以使用任何类型的计算机设备而实现,且包括计算机处理器、存储器单元、储存器设备、计算机软件和其他计算机部件。在可能的实施例中,本地计算机设备300可以被实现为具有图像获取设备301的单个设备、被实现为PACS 303的一部分、或者被实现为与图像获取设备301和/或PACS 303无线通信的分离的设备。在可能的实施例中,本地计算机设备可以是移动设备,诸如智能电话或平板。

[0037] 图像获取设备301可以是任何类型的医学图像获取设备,诸如CT扫描仪、MR扫描仪、C臂图像获取设备、超声设备等。可以使用图像获取设备301来获取患者的医学图像,并且可以将医学图像发送到本地计算机设备300和/或存储在PACS 303中。PACS 303以数字格式存储针对各种患者的各种模态的医学图像。例如,PACS 303可以将医学数字成像和通信(DICOM)格式用于存储和传送医学图像。本地计算机300可以检索存储在PACS 303中的医学图像。

[0038] 本地计算机设备300包括至少一个现场CAD评估算法304和场外CAD评估信息308。现场CAD评估算法304包括定义用于CAD的非侵入式评估的基于计算机的方法的计算机程序指令。这种计算机程序指令可以被存储在本地计算机设备300的存储器中,且可以被加载到本地计算机设备300的存储器中并由本地计算机设备300的处理器执行,以供本地计算机设备300执行现场CAD评估算法304。例如,现场CAD算法304可以是用于CAD的非侵入式评估的基于机器学习的方法或者用于使用计算流体动力学(CFD)模型对CAD的非侵入式评估的方法。在可能的实现方式中,多个现场CAD评估算法302可以被存储在本地计算机设备300上。现场CAD评估算法304还可以包括用于执行一个或多个CAD评估算法的各个步骤的各个算

法。特别地,定义这样的各个算法的计算机程序指令可以被存储在本地计算机设备300的存储器上,且被独立地加载到存储器中,并由本地计算机设备300的处理器执行,以供本地计算机设备在其中联合现场和场外处理用于执行CAD评估的情况下使用现场处理来实现CAD评估算法的各个步骤。

[0039] 现场CAD评估算法304可以包括一个或多个基于机器学习的CAD评估算法,诸如在其公开内容以其全文通过引用并入本文的下述各项中描述的基于机器学习的方法:美国专利No. 9,538,925,2017年1月10日发布,名称为“Method and System for Machine Learning Based Assessment of Fractional Flow Reserve”;美国专利No. 9,349,178,2016年5月24日发布,名称为“Synthetic Data-Driven Hemodynamic Determination in Medical Imaging”;国际专利公开No. WO 2016/075331 A2,2015年11月16日提交,名称为“Method and System for Purely Geometric Machine Learning Based Fractional Flow Reserve”;以及美国公开No. 2015/0112182,2014年10月16日提交,名称为“Method and System for Machine Learning Based Assessment of Fractional Flow Reserve”。现场CAD评估算法304可以包括一个或多个计算CAD评估算法,诸如在其公开内容以其全文通过引用并入本文的下述各项中描述的计算方法:美国公开No. 2014/0058715,2013年11月4日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Functional Assessment of Coronary Artery Stenosis”;美国公开No. 2013/0246034,2013年3月11日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Functional Assessment of Coronary Artery Stenosis”;美国公开No. 2013/0032097,2012年11月9日提交,名称为“Method and System for Multi-Scale Anatomical and Functional Modeling of Coronary Circulation”;美国公开No. 2012/0792190,2011年9月7日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Assessment of Coronary Artery Disease”;以及美国专利No. 9,595,089,2017年3月14日发布,名称为“Method and System for Non-Invasive Computation of Hemodynamic Indices for Coronary Artery Stenosis”。

[0040] 场外CAD评估信息308包括描述可用的各种场外CAD评估算法312的信息。例如,针对可用场外CAD评估算法312中的每一个,场外CAD评估信息308可以包括诸如下述各项之类的信息:处理时间、成本、所计算的一个/多个感兴趣的量(例如压降、血液速度、血流储备分数(FFR)等)、感兴趣的量的保真度/质量、所要求的成像数据和/或非侵入式临床测量结果的类型、以及可被用于通过策略选择算法302选择处理策略的基础的任何其他类型的信息(例如与网络连接有关的技术信息,诸如网络等待时间、运行时间/停机时间等)。场外CAD评估信息308还可以包括与对于一个或多个CAD评估算法的各个步骤而言可用的场外处理算法(诸如,用于对医学图像数据进行预处理的场外算法、用于从医学图像数据中提取几何特征和/或解剖模型的场外算法、可用于执行针对CAD评估的血流量仿真的场外CFD模型、以及可用于CAD评估的场外基于机器学习的模型)有关的信息。

[0041] 本地计算机设备300经由数据网络315(诸如互联网)与一个或多个远程服务器310通信。例如,远程服务器310可以是可执行CAD的场外非侵入式评估和/或与CAD的非侵入式评估相关的特定处理任务的基于云的计算系统的服务器。各种场外CAD评估算法312被存储在远程服务器310上或者被存储在基于云的计算机网络中的另一计算机或储存器设备上。例如,场外CAD评估算法312可以包括用于使用CFD建模对CAD的非侵入式评估的一个或多个方

法和/或用于CAD的非侵入式评估的一个或多个基于机器学习的方法。

[0042] 典型地,现场CAD评估算法304将与场外CAD评估算法312相比更快地产生结果,但场外CAD评估算法312可以产生更详细或准确的结果。现场CAD评估算法304典型地将与场外CAD评估算法312相比要求更少计算资源来执行。场外CAD评估算法312可以利用与现场CAD评估算法304相比不同的技术。例如,在可能的实施例中,现场CAD评估算法304可以使用基于机器学习的方案来计算感兴趣的量(例如FFR、压降等),并且场外CAD评估算法312可以使用计算(例如,基于CFD的)方案来计算感兴趣的量。可替换地,现场CAD评估算法304和场外CAD评估算法312可以利用类似类型的技术,但现场CAD评估算法304可以比场外CAD评估算法312更不计算密集型。例如,在可能的实施例中,现场CAD评估算法304可以包括基于CFD的CAD评估方法,其利用冠脉血流量的降阶CFD模型和/或被定制成计算物理量的小集合(例如,平均横截面压力、流速率、FFR),而场外CAD评估算法312可以包括基于CFD的CAD评估方法,其利用全尺度3D或多尺度CFD模型和/或被定制成提供血流量物理学的更丰富描述(例如血液速度、压力、剪切速率、壁面剪切应力等)。在另一可能实施例中,现场CAD评估算法304可以包括使用第一经训练的基于机器学习的映射的基于机器学习的CAD评估方法,并且场外CAD评估算法312可以包括使用第二经训练的基于机器学习的映射的基于机器学习的CAD评估方法,该第二经训练的基于机器学习的映射比第一经训练的基于机器学习的映射更加计算密集型。例如,第二经训练的基于机器学习的映射可以生成更大量的感兴趣的量,可以利用更大量的输入以生成感兴趣的量,或者在深度学习的情况下,第二经训练的基于机器学习的映射可以比第一经训练的基于机器学习的映射具有更大量的隐藏层。还可能的是,使用不同机器学习训练技术,以训练在现场CAD评估算法304和场外CAD评估算法312中使用的基于机器学习的映射。

[0043] 场外CAD评估算法312可以包括一个或多个计算CAD评估算法,诸如在其公开内容以其全文通过引用并入本文的下述各项中描述的计算CAD评估算法:美国公开No. 2014/0058715,2013年11月4日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Functional Assessment of Coronary Artery Stenosis”;美国公开No. 2013/0246034,2013年3月11日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Functional Assessment of Coronary Artery Stenosis”;美国公开No. 2013/0032097,2012年11月9日提交,名称为“Method and System for Multi-Scale Anatomical and Functional Modeling of Coronary Circulation”;美国公开No. 2012/0792190,2011年9月7日提交,名称为“Method and System for Non-Invasive Assessment of Coronary Artery Disease”;以及美国专利No. 9,595,089,2017年3月14日发布,名称为“Method and System for Non-Invasive Computation of Hemodynamic Indices for Coronary Artery Stenosis”。场外CAD评估算法312还可以包括一个或多个基于机器学习的CAD评估算法,诸如在其公开内容以其全文通过引用并入本文的下述各项中描述的基于机器学习的CAD评估算法:美国专利No. 9,538,925,2017年1月10日发布,名称为“Method and System for Machine Learning Based Assessment of Fractional Flow Reserve”;美国专利No. 9,349,178,2016年5月24日发布,名称为“Synthetic Data-Driven Hemodynamic Determination in Medical Imaging”;国际专利公开No. WO 2016/075331 A2,2015年11月16日提交,名称为“Method and System for Purely Geometric Machine Learning

Based Fractional Flow Reserve”;以及美国公开No. 2015/0112182,2014年10月16日提交,名称为“Method and System for Machine Learning Based Assessment of Fractional Flow Reserve”。

[0044] 本地计算机设备300包括用户界面306。用户界面306可以是在本地计算机设备300的显示器/屏幕上显示的图形用户界面。在有利实施例中,图形用户界面可以提示用户填入针对当前临床场景的临床要求或可以用于定义临床要求的信息。例如,可以提示用户录入临床要求,该临床要求包括时间要求(诸如,到其时需要CAD评估的绝限)、成本要求、保真度/质量要求、现场当前可用的资源(例如,当前工作站的硬件和/或软件配置或者具有针对现场处理而需要的处理功能的其他工作站的可用性)、可用的成像数据和非侵入式临床测量结果的类型、针对CAD评估(例如,一般评估/诊断、疗法计划、紧急情形等)的目的和/或进一步定义当前临床场景的其他要求。附加地,用户界面306可以显示针对患者的最终CAD评估以及使用现场和/或场外CAD评估算法304和312计算的各种感兴趣血流动力学量。

[0045] 策略选择算法302包括定义智能人工代理的计算机程序指令,该计算机程序指令基于与当前临床场景相关联的临床要求来选择最优处理策略。策略选择算法302自动确定如何最佳地使用可用现场和/或场外CAD评估算法304和312以在当前临床场景中提供CAD的评估。基于临床要求、现场CAD算法304和场外CAD评估信息308,策略选择算法302确定是执行现场CAD评估、场外CAD评估、还是联合现场/场外CAD评估。

[0046] 在一个实施例中,策略选择算法302可以是在本地计算机系统300上运行的基于机器学习的算法。基于机器学习的智能人工代理可以通过评价患者的图像数据中的临床指示符(诸如,钙评分)来分析情况的复杂度,且然后决定是场外发送图像数据、现场处理图像数据、还是选择联合现场和场外处理策略以用于评估针对患者的CAD。基于机器学习的代理可以通过下述操作来训练的:回溯性地分析患者专用医学数据和患者的对应后果或临床历史的大型数据库,以便学习什么种类的处理策略被实现以给临床医生提供用于患者的最优护理的准确信息以及什么选择不是最优的(例如,在时间或成本效率方面)。附加地,可以使用所仿真的临床研究来生成附加训练数据,根据所仿真的临床研究,考虑到各种临床场景和患者医学图像数据,代理可以学习具有CAD评估的不同处理策略的效果。可以使用各种机器学习技术以训练基于机器学习的智能人工代理。在有利实施例中,可以使用基于深度强化学习的算法(DRL)来实现智能人工代理,该算法已经被离线训练以学习用于选择非侵入式CAD评估策略的最优方针。这种最优方针还可以被视为用户必须遵循以便达到期望结果(真正的事实)的最优轨迹。在上面呈现的我们的示例中,轨迹将由用户在所提出的决策工作流程的每一个步骤处选择的选择集合(要选择什么种类的非侵入式CAD评估)来表示。一种训练DRL算法的方式是使用由训练示例(即,轨迹)构成的训练数据库,该训练示例由考虑到临床情境而已执行CAD评估策略的选择任务的一个或多个用户生成。另一种方式将是“合成地”生成训练数据库,即,通过下述操作:通过使用一个或多个图像处理和一个或多个计算建模算法来创建示例。

[0047] 在另一实施例中,策略选择算法302可以使用基于描述每一个数据处理策略的不同方面(诸如时效性、成本、准确性等)的数学函数的多目标优化来选择处理策略。

[0048] 策略选择算法302自动选择使用现场CAD评估算法304的现场处理、使用可用场外CAD评估算法312中的一个或多个的场外处理、或者联合现场和场外处理。在一个实施例中,

由策略选择算法302选择的联合现场和场外处理策略可以是：分离地执行现场CAD评估算法304以及一个场外CAD评估算法312两者，且然后对结果进行组合。在另一实施例中，可以使用联合现场和场外处理来执行CAD评估算法，在该联合现场和场外处理中，使用现场和场外处理算法的混合物以执行CAD评估算法的各个步骤。下面描述使用这种联合现场和场外处理的策略的各种示例。

[0049] 评价要执行什么处理（现场/场外/联合）可以基于取决于临床场景或应用的不同准则。这些准则可以包括成本（系统偏爱最有成本效益的解决方案）、时间（系统偏爱最有时效性的解决方案）和资源可用性（系统排除不可用的解决方案）。作为这种准则的示例，基于眼前的临床问题，在紧急情形中，可以选择相比于较慢（场外）处理而言对临床问题的快速（现场）回答，即使在其中较低时效性的场外处理导致更准确的CAD评估的情况下亦如此。在另一示例中，为了纳入或排除临床场景，由于时效性和成本效益，可能要求高保真（场外）处理并且可以选择低保真（现场）处理。

[0050] 在另一示例性实施例中，现场、场外或联合现场和场外处理的选择可以基于现场或场外可用的计算模型。如上面所描述，可以利用不同计算建模技术或者利用相同方法技术的不同实现或参数化执行现场和场外处理。这导致潜在地产生不同分析的现场和场外处理流水线。在保真度方面，与时间-空间相关变量形成对照，不同计算模型可以表示具有不同程度的保真度（例如，在空间上或在时间上平均）的相同感兴趣的量（例如压降、血液速度等）。在所计算的量的类型的数目方面，一些计算模型可以针对物理量的小集合（例如，平均横截面压力、流速率、FFR）的计算而定制，而不同计算模型可以被采用以提供血流量物理学的更丰富描述（例如，血液速度、剪切速率、壁面剪切应力）。典型地，要求较长处理时间以便以较高保真度运行模型，这使它们适于场外执行；而针对可现场运行的较低保真度模型典型地要求较短处理时间。类似地，提供更详细的量或量的更大集合的模型典型地要求较长处理时间，且更方便被场外执行。

[0051] 图4图示了其中执行场外高保真处理的示例性处理策略。可以使用高保真计算模型、基于场外CAD评估算法的可用性来选择图4的处理策略。如图4中所示，现场获取患者医学图像402，并将其传输到远程系统，在该远程系统中执行场外高保真处理404。高保真处理404以高程度的保真度（例如，时间和空间相关）仿真血流动力学量（例如压降、血液速度等）。使用高保真处理404仿真的血流动力学量被返回到本地计算机系统，该本地计算机系统基于这些量来执行CAD 406的最终评估。

[0052] 在另一示例性实施例中，现场、场外或联合现场和场外处理的选择可以基于患者的输入医学图像数据。现场或场外实现的建模技术可以更好地适于不同类型的医学图像数据。在用于CAD的患者专用计算建模的一般框架中，对医学成像数据进行预处理，以提取几何特征和/或表示患者的解剖的解剖模型。附加地，一些基于机器学习的方法还要求对医学成像数据进行预处理以提取几何特征和/或解剖模型。该预处理步骤可以是使用取决于可用工具和所使用的医学成像数据的类型的现场处理或场外处理来执行的。图5图示了其中使用场外处理和现场处理执行预处理步骤的示例性联合现场和场外处理策略。如图5中所示，在第一示例性联合现场和场外处理策略500中，现场获取患者医学图像502，并将其传输到远程计算机系统以用于场外预处理504。执行场外预处理504以从患者医学图像502中提取几何特征和/或解剖模型506，并且将所提取的几何特征和/或解剖模型506返回到本地计

计算机系统。基于所提取的几何特征和/或解剖模型506(例如,使用用于CAD评估的计算算法或用于CAD评估的基于机器学习的算法)来执行CAD的现场评估508,并且基于CAD的现场评估508来执行CAD的最终评估510。

[0053] 在第二示例性联合现场和场外处理策略520中,现场获取患者医学图像502并且执行现场预处理504以从患者医学图像中提取几何特征和/或解剖模型506。将所提取的几何特征和/或解剖模型506传输到远程系统以用于场外处理,其中执行CAD的场外评估508。生成包括CAD的现场评估508的结果的报告510并将报告510返回到本地计算机系统,并且基于报告510来现场执行CAD的最终评估512。该方案可以也在下述情况下是方便的:其中,由于大小或有限网络带宽或者由于安全性或隐私顾虑,不能离线地发送场外CAD评估算法的完全结果或成像数据。

[0054] 在另一示例性实施例中,现场、场外或联合现场和场外处理的选择可以基于用户。不同工具/算法可以最佳地由不同用户处置。在医学成像工作站上运行的现场处理算法可以提供被优化以供医学专业人员使用的用户界面;而用于场外处理的工具/算法可以被定制以供非医学专业人员(诸如工程师、数据科学家、计算科学家等)使用。

[0055] 在另一示例性实施例中,现场、场外或联合现场和场外处理的选择可以基于可用的计算资源。不同处理工具/算法具有不同硬件要求。在示例性实现方式中,可以在医学成像扫描仪或后处理工作站上执行现场处理。在全部两种情况下,处理单元不必然被设计用于高性能计算。当处理时间也是要最小化的关键资源时,这可能潜在地限制可现场完成的处理的范围。场外处理可以在选择处理硬件时利用潜在地不受限的自由度。例如,可以在根据基于服务的模型(例如,按使用付费)而访问的基于云的计算资源上执行场外处理。这具有弹性(处理任务可以按需分配所要求的资源,从而潜在地针对眼前的任务选择最优资源)和可用性(在始终可访问计算资源方面以及在可访问高性能硬件而不必维持/升级本地计算机系统方面两者)的优势。

[0056] 在另一示例性实施例中,现场、场外或联合现场和场外处理的选择可以基于结果中的置信度。例如,在可能的场景中,FFR的现场评估可能由于基于机器学习的预测器的限制而是非决定性的或不确定的(例如,正在处理的数据集具有在训练集中考虑的范围外的特征)。在该情况下,场外处理可以包括:重新训练机器学习算法,使得新情况的特征值处于训练数据集中的那些特征值内。可替换地,可以在场外处理步骤中使用不同的方法,诸如,不具有相同限制的计算建模。

[0057] FFR的现场评估可能由于感兴趣的量的固有不确定性而非决定性的或不确定的(例如,灰色地带中的所计算的FFR)。在该情况下,场外处理可以包括:咨询医学专家(人类或数据库)以找到最佳行动过程,例如基于具有类似特性的先前临床情况。

[0058] 在另一可能场景中,FFR的现场评估提供感兴趣的量的第一近似(例如,不是所有图像特征都可以被自信地提取)。在该情况下,场外处理可以包括用于提取更多图像特征或具有更高置信度/更低不确定性的进一步图像处理。场外处理还可以包括:评价可在基于机器学习的预测器中并入的特征的更大集合(例如蚀斑负担,还有非图像特征,诸如患者的临床历史、心血管事件的风险因素等)以改进CAD评估。

[0059] 在另一示例性实施例中,现场、场外或联合现场和场外处理的选择可以基于涉及疗法计划的临床场景。例如,在可能的场景中,患者是稳定的,过程不是紧急过程,并且要求

附加信息以更好地计划介入。在该情况下,场外服务可以允许设备制造商访问患者的成像信息,以推荐用于冠脉血管成形术的最优设备。场外处理还可以包括最优疗法选择(医学的和外科手术的/血管内的两者)。

[0060] 在另一示例性实施例中,现场、场外或联合现场和场外处理的选择可以基于现有医学成像数据的使用。例如,在可能的场景中,患者或医院具有来自先前检查(例如,冠脉计算机断层血管造影术(CCTA))的医学成像数据,并且现在针对另一医学成像过程(例如,血管造影术)调度患者。可以针对初步分析而场外发送已经可用的成像数据,这可能然后对于所计划的过程而言有用。如果相同类型的数据在不同时间点处可用(例如,CCTA),则可以现场分析在当前时间点处获取的数据且然后场外发送该数据以用于具有先前获取的比较分析。这可以用于确定病理学/患者的演进以便提出最优治疗策略。

[0061] 可以针对患者的医学成像数据执行现场分析,且然后场外发送该现场分析以用于运行可预测病理学的未来演进(例如,通过采用流体-固体-生长模型而进行的蚀斑演进)的不同算法。为了使预测更可靠,可以执行并场外发送周期性测量结果。这些周期性测量结果可以仅包括像心脏和血压(例如,患者可能发展成过度紧张)之类的基本临床测量结果或者相同或不同类型的医学成像检查。

[0062] 可以使用公知的计算机处理器、存储器单元、储存器设备、计算机软件和其他部件来在一个或多个计算机上实现上面描述的方法。在图6中图示了这种计算机的高级框图。计算机602包含处理器604,处理器604通过执行定义计算机602的总体操作的计算机程序指令来控制这种操作。计算机程序指令可以被存储在储存器设备612(例如,磁盘)中,且在计算机程序指令的执行是期望的时被加载到存储器610中。因此,图1、2、4和5的方法的步骤可以由存储在存储器610和/或储存器612中的计算机程序指令定义,且由执行计算机程序指令的处理器604控制。图像获取设备620(诸如CT扫描设备、MR扫描设备、超声设备等)可以连接到计算机602以将图像数据输入到计算机602。将图像获取设备620和计算机602实现为一个设备是可能的。还可能的是,图像获取设备620和计算机602通过网络来进行无线通信。在可能的实施例中,计算机602可以是相对于图像获取设备620而言远程定位的,并且方法步骤作为服务器或基于云的服务的一部分而执行。计算机602还包括用于经由网络与其他设备通信的一个或多个网络接口606。计算机602还包括实现与计算机602的用户交互的其他输入/输出设备608(例如显示器、键盘、鼠标、扬声器、按钮等)。这种输入/输出设备608可以结合计算机程序的集合而用作注释工具以对从图像获取设备620接收到的医学图像数据加注释。本领域技术人员将认识到,实际计算机的实现方式也可以包含其他部件,并且图6是用于图示目的的这种计算机的部件中的一些的高级表示。

[0063] 前述具体实施方式应被理解为在每个方面中都是说明性和示例性的,而非限制性的,并且本文公开的本发明范围不应从具体实施方式确定,而是从如根据由专利法允许的完全宽度而解释的权利要求确定。应当理解,本文示出和描述的实施例仅说明了本发明的原理,并且在不脱离本发明的范围和精神的情况下,各种修改可以由本领域技术人员实现。在不脱离本发明的范围和精神的情况下,本领域技术人员可以实现各种其他特征组合。

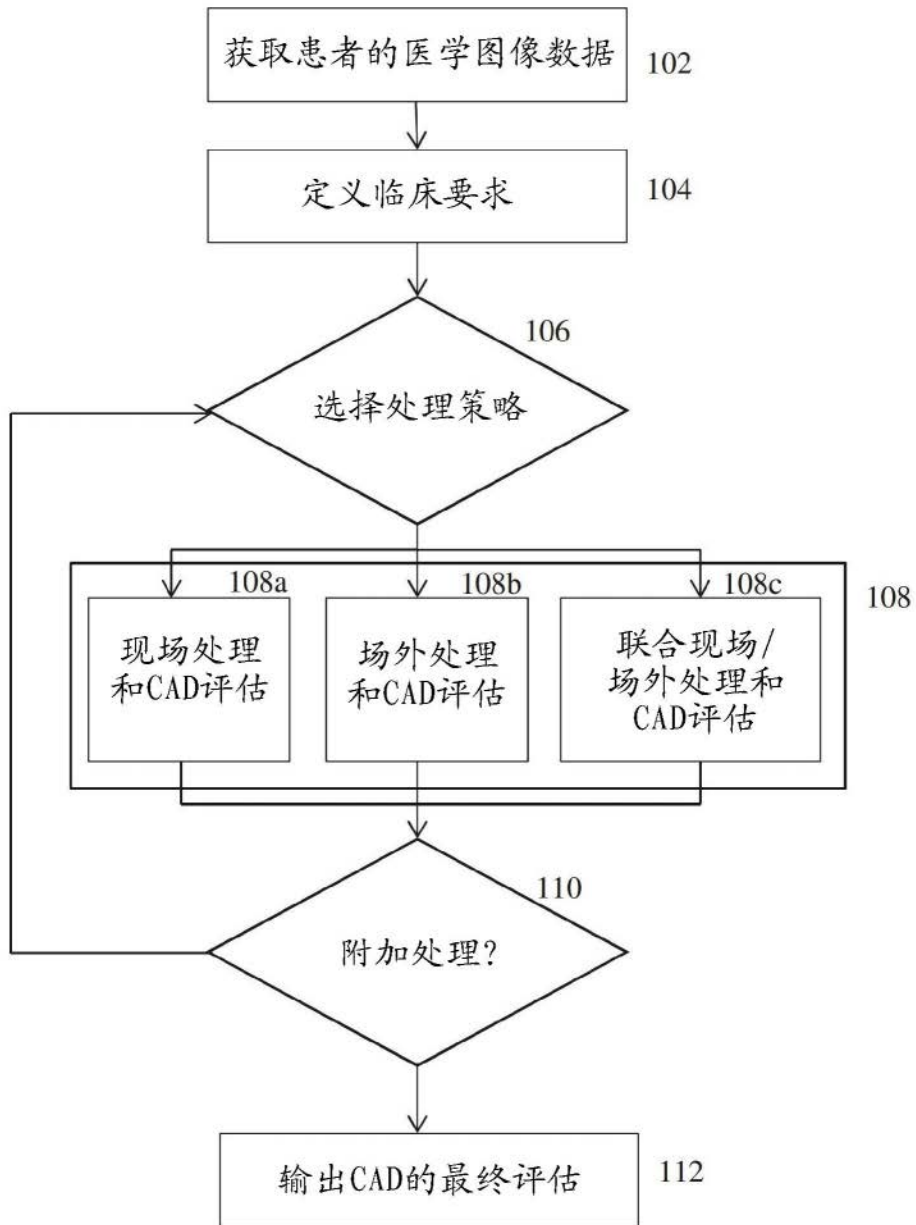


图 1

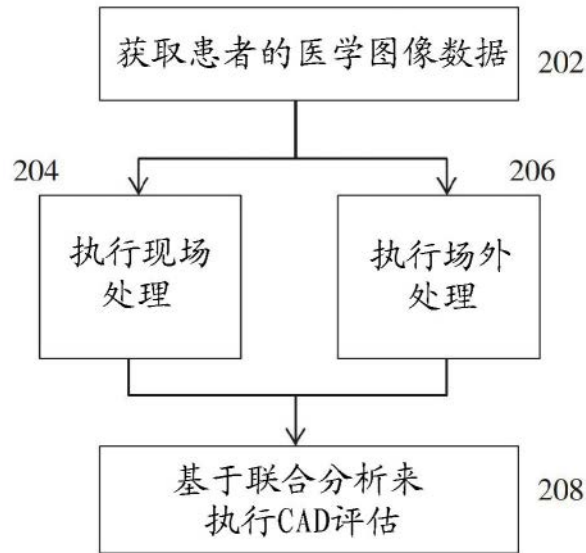


图 2

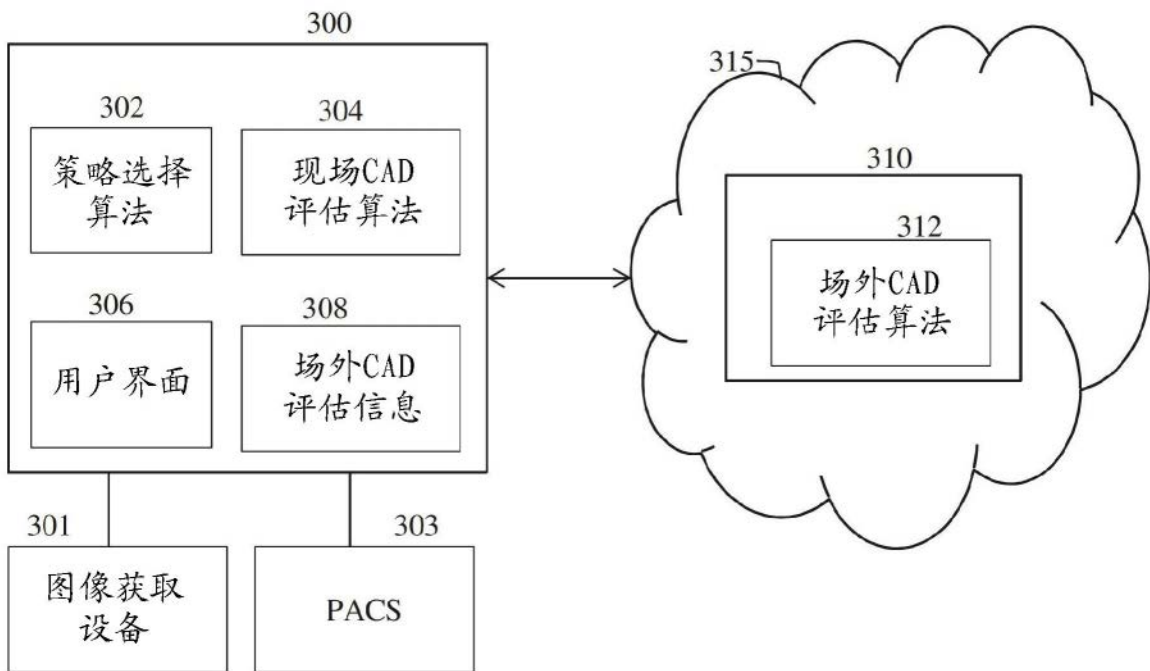


图 3

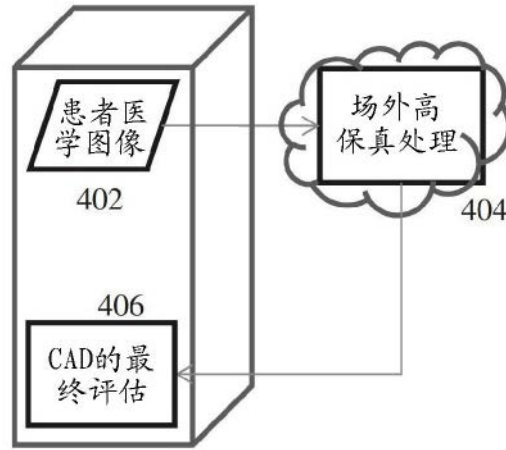


图 4

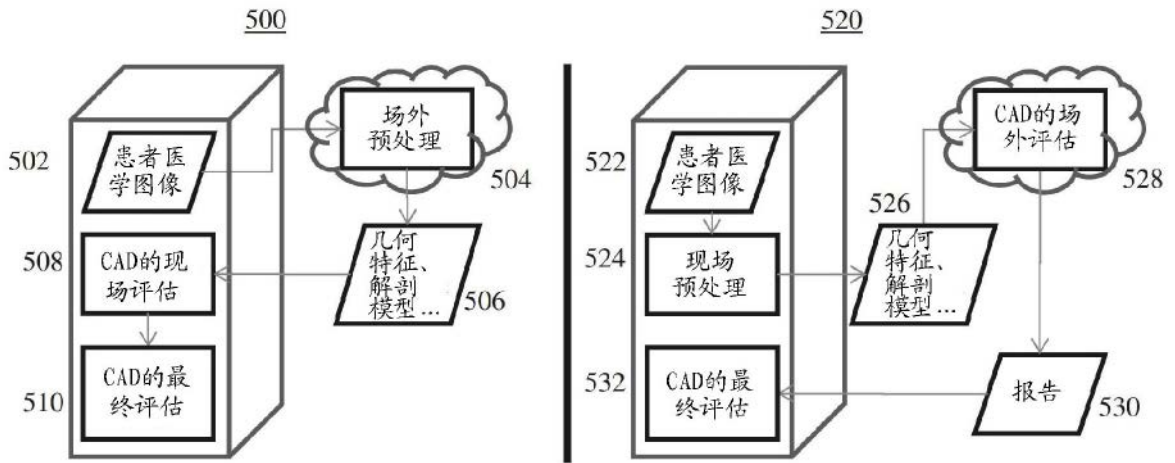


图 5

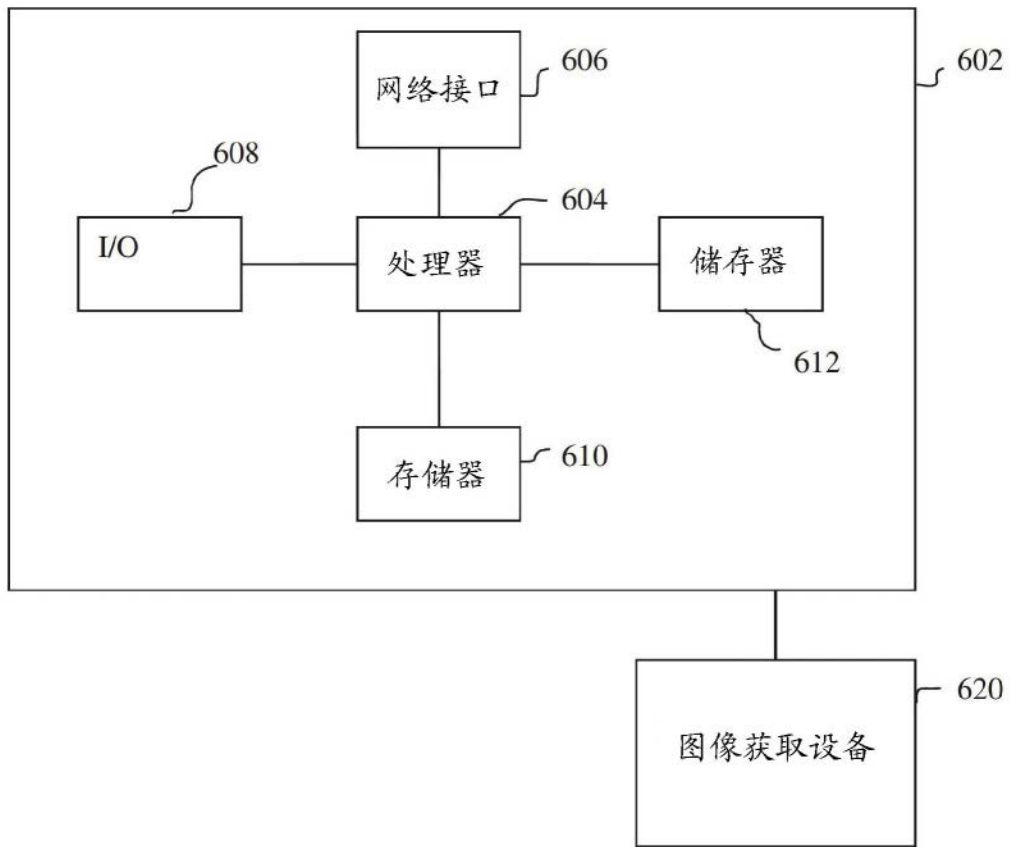


图 6