



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110494893 B

(45) 授权公告日 2024. 01. 23

(21) 申请号 201880023385.X

(22) 申请日 2018.03.05

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110494893 A

(43) 申请公布日 2019.11.22

(30) 优先权数据
62/479,694 2017.03.31 US
62/545,599 2017.08.15 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.09.30

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2018/055366 2018.03.05

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/177692 EN 2018.10.04

(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 M·P·弗赖曼 L·戈申
D·B·麦克奈特

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

专利代理师 刘兆君

(51) Int.Cl.
G06T 7/00 (2017.01)
A61B 6/03 (2006.01)
G06T 7/12 (2017.01)
G06T 7/149 (2017.01)

(56) 对比文件
CN 105190630 A, 2015.12.23
US 2016022371 A1, 2016.01.28
US 2016196660 A1, 2016.07.07
CN 106539622 A, 2017.03.29
US 2015282765 A1, 2015.10.08
CN 105184086 A, 2015.12.23
CN 106163388 A, 2016.11.23
US 2012072190 A1, 2012.03.22
US 2013028494 A1, 2013.01.31
US 2013246034 A1, 2013.09.19
US 2015038860 A1, 2015.02.05
US 2015112191 A1, 2015.04.23

审查员 祝亚尊

权利要求书1页 说明书8页 附图4页

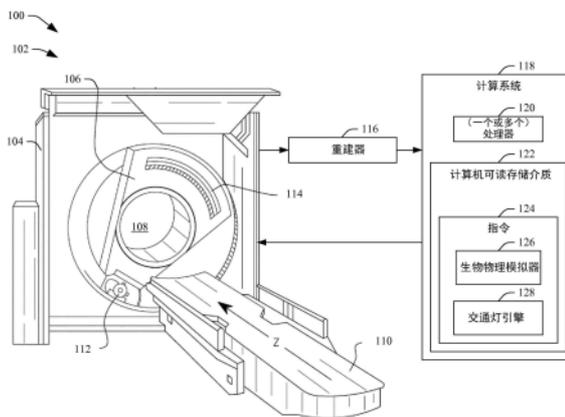
(54) 发明名称

基于FFR的对非侵入性成像的交互监测

(57) 摘要

一种系统(100)包括具有计算机可执行指令(124)的计算机可读存储介质(122),所述系统包括:生物物理模拟器部件(126),其被配置为通过模拟来确定血流储备分数值;以及交通灯引擎(128),其被配置为在所述模拟中的一个或多个点跟踪用户与计算系统的交互以确定血流储备分数值。处理器(120)被配置为执行生物物理模拟器部件以确定血流储备分数值,并且被配置为执行交通灯引擎以跟踪关于确定血流储备分数值的用户交互并响应于确定存在潜在的不正确的交互而提供警告。显示器被配置为显示警告请

求确认以从所述点继续模拟,其中,只有响应于处理器接收到所请求的确认,模拟才能恢复。



1. 一种用于血流储备分数计算机断层摄影的系统(100),包括:

具有计算机可执行指令(124)的计算机可读存储介质(122),所述计算机可执行指令包括:生物物理模拟器(126),其被配置为通过模拟来确定血流储备分数值;以及交通灯引擎(128),其被配置为在所述模拟的一个或多个点处跟踪用户与所述生物物理模拟器的交互以确定所述血流储备分数值;

处理器(120),其被配置为执行所述生物物理模拟器部件以确定所述血流储备分数值,并且被配置为执行所述交通灯引擎以跟踪关于确定所述血流储备分数值的用户交互并响应于确定存在潜在的不正确的交互而提供警告,

其中,所述生物物理模拟器部件包括冠状动脉树建模部件(202),所述冠状动脉树建模部件接收体积图像数据并从其生成冠状动脉的3D解剖模型,并且

其中,所述生物物理模拟器部件还包括个性化特征提取部件(204),所述个性化特征提取部件接收冠状动脉的3D解剖模型并从其提取个性化特征,其中,所述用户交互包括改变冠状动脉脉管的中心线和轮廓线中的至少一个,并且所述交通灯引擎提取关于经改变的所述中心线和所述轮廓线中的所述至少一个的特征的至少一个集合,并且基于所提取的特征的至少一个集合来确定质量得分;以及

显示器,其被配置为显示所述警告请求确认以从所述点继续模拟,其中,只有响应于所述处理器接收到所请求的确认,才恢复所述模拟。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,接收所述体积图像数据基于包由用户对所述体积图像数据的选择的用户交互,并且其中,所述交通灯引擎从所述体积图像数据中提取特征的集合,特征的所述集合描述所述体积图像数据,并且所述交通灯引擎基于所提取的特征的所述集合来确定所述质量得分。

3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所提取的特征的所述集合包括以下中的一个或多个:亨氏单位、信噪比、或运动。

4. 根据权利要求1所述的系统,其中,特征的所述集合包括以下中的一项或多项:沿所述中心线的强度分布,中心线强度分布的一阶导数,沿所述中心线的强度变化,沿所述中心线的几何曲率,以及中心线的空间位置和长度。

5. 根据权利要求1所述的系统,其中,特征的所述集合包括以下中的一项或多项:脉管内的强度分布,每个横截面处的中心线强度分布的一阶导数,所述脉管管内的强度变化,轮廓线的几何曲率,在轮廓线的边缘处的锐度,或者脉管半径。

6. 根据权利要求1至5中的任一项所述的系统,其中,所述交通灯引擎利用基于规则的算法或机器学习算法中的至少一种来计算所述质量得分。

7. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述基于规则的算法将所述质量得分与预定阈值进行比较,并且响应于所述质量得分不满足所述预定阈值而提供所述警告。

8. 根据权利要求1至5中的任一项所述的系统,其中,所述处理器响应于所述质量得分指示所述用户交互不足而提供推荐。

基于FFR的对非侵入性成像的交互监测

技术领域

[0001] 以下总体涉及成像,并且更具体地涉及用于血流储备分数计算机断层摄影(FFR-CT)的“交通灯”引擎。

背景技术

[0002] 血流储备分数(FFR)是导管实验室(Cath Lab)中的一项侵入性测量,通过FFR指数来量化由于钙化或软斑块引起的冠状动脉病变的血流动力学显著性。该指标指示冠状支架的功能严重性,其根据在冠状血管造影术期间进行的压力测量被计算并且被定义为在充血条件下远端血压(狭窄后面)相比于近端血压(靠近心门)。也就是,FFR指标表达在存在支架时沿血管向下的最大流量相比于假设没有狭窄时的最大流量。FFR值是介于0与1之间的绝对值,其中,值0.50指示给定的狭窄会导致血压下降50%。

[0003] FFR侵入性流程需要将导管插入股动脉或桡动脉,并使导管前进至狭窄处,在影响脉管的几何形状、顺应性和阻力和/或其他特征的各种药剂促成的状况期间,导管尖端的传感器感测跨狭窄的压力、温度和流量。FFR-CT是一种非侵入性成像方法,其用于通过计算流体动力学(CFD)模拟根据心脏的CT图像数据(例如,根据冠状计算机断层扫描血管造影术,CCTA)来估算FFR指数,其中,模拟通过冠状动脉的血流和压力。这包括使用CCTA图像数据来导出冠状动脉树的几何模型,从其提取特征,并且根据所述特征来确定边界条件以进行模拟。

[0004] 存在两种用于CT-FFR分析的方法,即非现场和现场。非现场方法需要CCTA数据以及额外患者信息通过计算机网络发送到核心实验室,技术人员在该实验室中在受控环境中执行分析。遗憾的是,非现场方法不具有立即执行分析和更新患者管理计划的能力,而不得等待直到非现场完成分析。因此,它不能提供有关患者状态的即时输入。现场方法允许医师或技术人员在不受控的环境中在办公室中执行分析。遗憾的是,所述技术容易受到用户可变性和错误的影响,并且由于与操作者有关的错误而不能保证相似水平的再现性和鲁棒性。

发明内容

[0005] 本文中描述的各方面解决以上提及的问题和其他问题。

[0006] 以下总体描述了一种方法,其在一个非限制性实施例中,可以借助于减少用户可变性和对错误的操作者与分析应用的交互的鲁棒性来提高现场CT-FFR估计的质量,例如,通过现场CT-FFR分析,可以“监督”用户交互,并在潜在错误交互的情况下提供通知。该方法可以使用基于规则的算法、机器学习算法等来识别潜在的不正确的用户交互。在一个实例中,例如通过利用算法能力来确定潜在的不正确的用户交互以在CT-FFR分析的一个或多个阶段期间校正这种交互,从而能够改善对冠状动脉病变的血液动力学显著性的非侵入性评估。

[0007] 在一个方面中,一种系统包括具有计算机可执行指令的计算机可读存储介质,所

述计算机可执行指令包括:生物物理模拟器部件,其被配置为通过模拟来确定血流储备分数值;交通灯引擎,其被配置为在所述模拟中的一个或多个点跟踪用户与计算系统的交互以确定血流储备分数值。处理器被配置为执行生物物理模拟器部件以确定血流储备分数值,并且被配置为执行交通灯引擎以跟踪关于确定血流储备分数值的用户交互并响应于确定存在潜在的不正确的交互而提供警告。显示器被配置为显示警告请求确认以从所述点继续模拟,其中,仅响应于处理器接收到所请求的确认,模拟才能恢复。

[0008] 在另一方面中,一种计算机可读存储介质被编码有计算机可读指令,所述计算机可读指令在由计算系统的计算机处理器运行时,令所述计算机处理器:执行生物物理模拟器,所述生物物理模拟器被配置为执行模拟以模拟生物物理度量,其中,所述模拟包括多个顺序处理步骤,其子集需要用户交互,并且每个后续处理步骤接收并利用(一个或多个)先前处理步骤的输出,在模拟的一个或多个处理步骤中执行被配置为跟踪用户与生物物理模拟器的交互的交通灯引擎,并且确定每个用户交互的质量得分,相对于预定接受准则评估特定处理步骤的质量得分,并确定质量得分是否满足相应的接受准则以及下一个处理步骤是否可以继续进行,响应于所述质量得分指示用户交互不足而基于交通质量得分提供建议,基于实施建议的结果而重新执行失败的生物物理模拟器处理步骤,并且显示模拟的生物物理指标。

[0009] 在另一方面中,一种方法包括执行生物物理模拟器部件,所述生物物理模拟器部件被配置为根据模拟来确定血流储备分数值,以利用边界条件来确定血流储备分数指数,所述边界条件是根据患者数据、3D解剖模型以及从3D解剖模型提取的特征来确定的。所述方法还包括执行交通灯引擎,所述交通灯引擎被配置为在模拟的一个或多个点处跟踪用户与生物物理模拟器的交互并且提供警告。响应于确定模拟中的点存在潜在的不正确的用户交互,所述交通信号灯引擎提供警告。所述方法还包括从该点显示请求验证的警告以从所述点继续模拟,其中,响应于处理器接收到所请求的验证,模拟得以恢复。

[0010] 本领域技术人员通过阅读和理解所附的说明,将认识到本申请的其他方面。

附图说明

[0011] 本发明可以采取各种部件和各部件的布置以及各种步骤和各步骤的安排的形式。附图仅出于图示优选的实施例的目的并且不应被解释为对本发明的限制。

[0012] 图1示意性地图示了系统,其包括具有生物物理模拟器和交通信号灯引擎的计算系统以及成像系统。

[0013] 图2示意性地图示了生物物理模拟器和交通灯引擎的示例。

[0014] 图3图示根据本文中的实施例的范例方法。

[0015] 图4图示根据本文中的实施例的另一方法。

具体实施方式

[0016] 图1示意性地示出了系统100,其包括成像系统102,例如CT扫描器,其包括非谱和/或谱(多能量)CT扫描器。成像系统102包括体固定机架104和旋转机架106,旋转机架104由固定机架104可旋转地支撑并且围绕检查区域108关于z轴旋转。对象支撑件110,例如卧榻,在检查区域108中支撑目标或对象。

[0017] 辐射源112,例如X-射线管,由旋转机架106可旋转地支撑,随旋转机架106旋转,并且发出穿过检查区域108的辐射。辐射敏感探测器阵列114对向一角度弧,跨检查区域108与辐射源112相对。辐射敏感探测器阵列114探测穿过检查区域108的辐射并生成指示其的(一个或多个)电信号(投影数据)。

[0018] 重建器116重建投影数据,生成指示位于检查区域108中的对象或物体的扫描部分的体积图像数据,例如CCTA图像数据和/或谱CCTA图像数据。计算系统118充当操作者控制台。控制台118包括人类可读输出设备例如监视器和输入设备例如鼠标、键盘等。驻留于控制台118上的软件允许操作者经由图形用户界面(GUI)或以其他方式与扫描器102交互和/或操作扫描器100。

[0019] 系统100的谱配置在2017年3月31日提交的题为“Spectral FFR-CT”的美国专利申请US 62/479670和2017年8月2日提交的题为“Spectral FFR”的美国专利申请US 62/540089中描述,在此通过引用将其整体并入。

[0020] 控制台118还包括处理器120(例如,微处理器、控制器、中央处理单元等)和计算机可读存储介质122,其排除非瞬态介质,并且包括诸如物理存储设备之类的瞬态介质,等等计算机可读存储介质122包括至少用于生物物理模拟器126和交通信号引擎128的指令124。处理器120被配置为执行指令124。处理器120可以额外地被配置为执行由载波、信号和/或其他暂态介质承载的一条或多条计算机可读指令。在一个变体中,处理器120和计算机可读存储介质122是与计算系统118分开的另一计算系统的一部分。

[0021] 生物物理模拟器126被配置为至少处理体积图像数据以执行生物物理模拟。关于FFR,生物物理模拟器为其确定FFR指数。FFR指示可以通过显示监视器显示、存储、传送到其他设备等。在一种情况下,FFR在现场执行。这样,在一个实例中,系统100可以执行分析并立即更新患者管理计划,而不必等到非现场地完成分析。因此,系统100可以提供关于患者状态的立即输入。在另一个实例中,FFR是在非现场执行的。

[0022] 合适的FFR方法至少包括在以下专利中所描述的:2013年5月10日提交的公开号US 2015/0092999A1并且题为“Determination of a fractional flow reserve (FFR) value for a stenosis of a vessel”的美国专利申请s/n US14/39640,2013年10月24日提交的公开号为2015/0282765A1并且题为“Fractional flow reserve (FFR) index”的美国专利申请s/n US 14/437990;2015年10月22日提交的公开号为US 62/425181A1并且题为“Fractional flow reserve (FFR) index with adaptive boundary condition parameters”的美国专利申请s/n US 14/059517;2016年11月22日提交并且题为“Vascular tree standardization for biophysical simulation and/or an extension simulation for pruned portion”的美国专利申请s/n US2015/0112191,所有这些均通过引用整体并入本文。

[0023] 交通灯引擎128被配置为跟踪与部件202、204、206和208中的任何一个相关的用户交互,并在存在潜在的不正确交互的情况下提供警告(例如,音频、图形等)。在一个实例中,这允许系统100执行现场和/或异地FFR,同时减轻来自用户可变性和/或用户错误的错误,并且提供对类似于非现场FFR的由于操作者相关的错误的一定程度的可再现性和鲁棒性。在一个实例中,这是对技术的一种改进,例如,它通过FFR改善了对冠状病变血流动力学意义的无创、准确、客观的现场评估。这种在现场和/或非现场准确评估冠状动脉病变的血流

动力学显著性的能力可能对改善冠状动脉疾病患者的诊断和管理产生重大影响。

[0024] 图2示意性地示出了由计算系统118针对CT-FFR分析的不同阶段实现的各个部件的示例。

[0025] 3D冠状动脉树建模部件202接收并处理至少非谱和/或谱体积图像数据(例如,来自成像系统102和/或其他成像系统)以生成冠状动脉的3D解剖模型。所选择的图像数据包括某种水平的噪声,可以包括运动伪像,包括特定解剖结构等,其可以影响(例如,向其中引入误差)对从其确定的FFR值的确定。在一种情况下,患者人口统计和/或其他信息也被用作输入。图像数据、患者人口统计数据和其他数据一起在本文中称为患者数据。3D冠状动脉树建模部件202采用自动和/或交互式分割工具,以根据患者数据生成冠状动脉的3D解剖模型。

[0026] 这种工具的一个示例在Freiman等人的“Automatic coronary lumen segmentation with partial volume modeling improves lesions' hemodynamic significance assessment”, *Progress in Biomedical Optics and Imaging- Proceedings of SPIE*, 2016, vol. 9784中进行了描述。3D冠状树建模部件202利用频谱体积图像数据来增强分割。交互式工具可以包括利用优化算法基于操作者交互来确定最佳3D模型的“智能”工具和/或允许与模型的2-D轮廓交互或直接在3D上交互的简单工具。交互可用于冠状动脉树生成的任何阶段,包括但不限于:用于分析、房室分割、冠状动脉中心线提取和冠状动脉腔分割的阶段选择。

[0027] 个人特征提取部件204从输入中提取特征以表征被检查患者的特定属性。在一个实例中,这包括从频谱CCTA数据中提取特征,例如从可能与冠状动脉血流相关的患者心脏CT图像导出的量。2014年6月30日提交的题为“Enhanced Patient's Specific Modelling For FFR-CT”的专利申请s/n EP14174891.3, 2015年11月5日提交的题为“Collateral Flow Modelling For FFR-CT”的专利申请s/n US 62/251417中描述了从非谱和/或谱体积图像数据中提取特征以及如何利用这些特征来导出(一个或多个)个性化边界条件进行模拟的示例,在此通过引用将其整体并入本文,以及专利申请s/n US62/479670和US 62/540,089。

[0028] 边界条件参数模型部件206从非谱和/或谱体积图像数据的提取特征中确定可调整的边界条件参数模型,例如,对流动模拟的特征。微脉管阻力与解剖和生理特征之间存在许多关系。专利申请EP 14174891.3和US62/251417描述了与微脉管阻力有关的一些特征的实例,其中包括冠状动脉出口横截面面积。在一种情况下,边界条件参数模型部件206可以考虑不同的、相似的参数关系,包括例如不同影响的加权线性和或加权非线性和。

[0029] 流量模拟部件208利用边界条件模型来执行流量模拟。可以使用3D计算流体动力学(CFD)方法和/或降阶方法,例如Nickisch等人在“Learning Patient-Specific Lumped Models for Interactive Coronary Blood Flow Simulations”, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention- MICCAI 2015: 18th International Conference, LNCS, Vol. 9350, 2015, pp. 433-441*中描述的方法。在一个实例中,所述部件执行流动模拟以使用3D解剖模型和个性化边界条件模型来估计冠状动脉病变的血液动力学显著性。

[0030] 交通信号灯引擎128接收用户交互并结合部件202、204、206和/或208中的一个或多个来为交互提供质量得分,例如,是合理的交互还是潜在的错误交互。在一个实例中,交

通信号灯引擎128为此采用基于规则的方法。在另一实例中,交通信号灯引擎128为此采用机器学习方法。在又一实例中,交通信号灯引擎128为此采用基于规则的方法和机器学习方法的组合。在又一实例中,交通信号灯引擎128采用不同的方法。如果需要,校正可以被提供和/或超控。

[0031] 以下描述了其中交通信号灯引擎128提供交互质量得分的示例,包括但不限于阶段选择、冠状动脉中心线编辑和冠状动脉腔轮廓编辑。

[0032] 阶段(图像数据)选择。

[0033] 在该示例中,操作者选择非谱和/或谱体积图像数据(例如,患者CCTA数据)以执行分析,并且3D冠状动脉树建模部件202从其创建3D解剖模型。在一个实例中,个性化特征提取部件204采用自动算法来从描述患者数据的体图像数据提特征的集合 (x_1, \dots, x_n) 。这样的特征的示例包括但不限于:

[0034] • 亨氏单位(HU)水平(μ),例如在主动脉等处;

[0035] • 信噪比(SNR),例如,通过自动确定升主动脉的位置并计算主动脉内的HU的平均值(μ)和标准偏差(σ),并通过以下方法来从其计算SNR: $SNR = \frac{\mu}{\sigma}$,和/或

[0036] • 运动伪影的存在。运动伪影会导致图像模糊。可以通过图像边缘锐度来测量模糊的程度。低图像清晰度是潜在运动伪影的间接量度。可通过确定图像中不同部件(例如,左心室或冠状动脉)的边界来测量此功能。接下来,计算每个像素处边界轮廓的法线。然后通过将边缘处的强度差除以边缘的大小来计算边界的清晰度:

$$[0037] \quad \text{锐度}(x) = \frac{(\max(I(x)) - \min(I(x)))}{\text{size}(x)},$$

[0038] 其中,x是沿边界法线的强度分布,而size(x)是边缘的长度。

[0039] 在具有描述患者数据特征的集合 (x_1, \dots, x_n) 时,交通信号灯引擎128可以应用基于规则的方法来警告操作者,其中特征中的一个的值大于或小于预定范围,即, $\exists i, x_i \notin \text{accepted_range}(x_i)$,其可以通过将特征值与预定义范围进行比较来确定。额外地或替代地,交通信号灯引擎128可以应用机器学习方法,其中,所选择的患者数据由机器学习引擎评估,所述机器学习引擎利用专家用户选择或拒绝的不同数据集进行训练以用于类似分析。在质量不足的情况下,系统100警告操作者并要求附加验证以便继续。

[0040] 冠状动脉中心线编辑。

[0041] 在该示例中,操作者检查和调整和/或校正3D冠状动脉树模型中的冠状动脉中心线。交互的结果是经修改的冠状动脉中心线。类似于阶段选择,然后可以提取几个特征以确定经修改的中心线是否可以接受。这样的特征可以包括但不限于沿着中心线的强度分布,中心线强度分布的一阶导数,沿着中心线的强度变化,沿着中心线的几何曲率,空间位置和长度等。

[0042] 在具有描述患者数据的特征的集合 (x_1, \dots, x_n) 时,交通信号灯引擎128可以应用基于规则的方法来警告操作者,其中特征中的一个的值大于或小于预定范围,即 $\exists i, x_i \notin \text{accepted_range}(x_i)$,其可以通过将特征值与预定义范围进行比较来确定。额外地或替代地,交通信号灯引擎128可以采用机器学习引擎,所述机器学习引擎使用预训

练的分类器将特征分类为是否具有足够的质量。额外地或替代地,机器学习引擎通过专家用户执行的交互来训练,然后,经训练的引擎用于对当前站点用户的交互进行分类。在质量不足的情况下,系统100警告操作者并要求附加验证以便继续。

[0043] 冠状动脉腔轮廓编辑。

[0044] 在该场景中,操作者可以根据需要检查和校正3D冠状动脉树模型中冠状动脉的管腔轮廓。交互的结果是经修改的冠状动脉腔轮廓。与冠状动脉中心线编辑类似,提取一些特征以确定经修改的中心线是否可接受。这样的特征可以包括但不限于冠状动脉内腔的强度分布,每个横截面的中心线强度分布的一阶导数,冠状动脉内腔的强度变化,冠状动脉轮廓的几何曲率,如上所述地测量的冠状动脉轮廓边缘的边缘的锐度,管腔半径等。

[0045] 在具有描述患者数据的特征的集合 (x_1, \dots, x_n) 时,交通信号灯引擎128可以应用基于规则的方法来警告操作者,其中特征中的一个的值大于或小于预定范围,即 $\exists i, x_i \notin \text{accepted_range}(x_i)$,其可以通过将特征值与预定义范围进行比较来确定。与中心线编辑类似,交通信号灯引擎128可以使用机器学习引擎,所述机器学习引擎使用预训练的分类器将特征分类为是否具有足够的质量,和/或通过专家用户执行的交互来训练机器学习引擎,然后使用经训练的引擎对当前站点用户的交互进行分类。在质量不足的情况下,系统100警告操作者并要求附加验证以便继续。

[0046] 在一个实施例中,处理器120被配置为基于交通灯引擎指示来额外地或替代地提供推荐。在一种情况下,建议对用户交互进行更改以校正当前失败的处理步骤。在另一个实例中,建议是对先前可接受的处理步骤的用户交互进行更改,其中,对先前可接受的处理步骤的改变增加了改进当前失败的处理步骤的可能性,例如,以达到可接受的状态。在又一实例中,推荐是这两个推荐的组合,例如,校正当前失败的处理步骤的用户交互和/或改变先前可接受的处理步骤的用户交互。在又一实例中,额外于或者代替这些推荐中的一个或两个之外,推荐可以包括另一推荐。

[0047] 在一个实例中,建议的步骤基于一种优化功能,所述功能考虑了一个或多个先前的质量得分,并指出了应该重复哪个步骤以提供更大的改进机会,并考虑了任何时间可以复制先前的一个或多个步骤。例如,如果分割失败,则可以再次执行分割。替代地,可以首先再次执行运动校正以减少残留的模糊(例如,已经确定了运动校正步骤满足接受准则的地方),然后可以再次执行分割,其中模糊的进一步减少可以改善图像的结果。通常,可以改善满足接收准则的任何先前执行的步骤,以改善当前步骤或后续步骤。在这种情况下,优化功能考虑了时间(和剂量,如果需要重新成像)。

[0048] 图3图示根据本文中描述的实施例的范例方法。

[0049] 要理解,以上动作的顺序不是限制性的。这样,本文中预期其他顺序。另外,可以省略一个或多个动作和/或可以包括一个或多个额外的动作。

[0050] 在302处,通过用户交互来接收患者数据。如本文所述,这包括非谱和/或谱的体积图像数据,以及任选地,诸如人口统计的其他数据。

[0051] 在304处,交通信号灯引擎128为用户交互提供质量得分,指示用户交互是否足以确定FFR值。在一种变型中,所述动作被省略和/或在没有用户交互的情况下选择数据。

[0052] 在306处,如本文和/或其他所述,通过用户交互来生成3D冠状动脉模型。

[0053] 在308处,交通信号灯引擎128为用户交互提供质量得分,指示用户交互是否足以

确定FFR值。在一种变型中,所述动作被省略和/或在没有用户交互的情况下生成3D冠状动脉模型。

[0054] 在310,个性化的特征与用户交互提取,如本文和/或以其他方式描述。

[0055] 在312处,交通信号灯引擎128为用户交互提供质量得分,指示用户交互是否足以确定FFR值。在一种变型中,所述动作被省略和/或在没有用户交互的情况下提取了个性化特征。

[0056] 在314处,如本文和/或其他所述,通过用户交互来确定边界条件模型。

[0057] 在316处,交通信号灯引擎128为用户交互提供质量得分,指示用户交互是否足以确定FFR值。在一种变型中,所述动作被省略和/或在没有用户交互的情况下确定边界条件模型。

[0058] 在318处,流动模拟与用户交互进行,如本文中和/或以其他方式描述。

[0059] 在320处,交通信号灯引擎128为用户交互提供质量得分,指示用户交互是否足以确定FFR值。在一种变型中,所述动作被省略和/或在没有用户交互的情况下确定执行流动模拟。

[0060] 在322,输出计算出的FFR值。

[0061] 图4图示根据本文中描述的实施例的范例方法。

[0062] 要理解,以上动作的顺序不是限制性的。这样,本文中预期其他顺序。另外,可以省略一个或多个动作和/或可以包括一个或多个额外的动作。

[0063] 在402处,接收患者数据。如本文所述,这包括如本文所述的非谱的,体积谱图像数据等。

[0064] 在404,生物物理模拟器126开始基于用户交互来处理患者数据,其中,如本文所述,所述处理包括多个步骤,其子集需要用户交互,并且每个后续步骤接收并利用(一个或多个)先前步骤的输出。

[0065] 在406,交通信号灯引擎128结合处理步骤计算用户交互的质量得分,其中,所述得分指示用户交互是否足以继续进行下一步,如此处所述。

[0066] 在408处,处理器120响应于指示用户交互不足的质量得分而基于交通引擎质量得分提供推荐。如本文所述,在一种情况下,推荐是改变当前失败步骤的用户交互和/或改变先前可接受步骤的用户交互。

[0067] 在410处,生物物理模拟器126再次执行当前步骤,但是基于所实施推荐的结果。

[0068] 在412处,如本文所述,生物物理模拟器126响应于满足接受准则和/或被临床医师确认的所有步骤而输出生物物理度量(例如,FFR值)。

[0069] 可以通过计算机可读指令实现以上内容,所述计算机可读指令嵌入或编码到计算机可读存储介质上,当被(一个或多个)计算机处理器执行时,所述计算机可读指令使所述(一个或多个)处理器执行所述动作。额外地或替代地,计算机可读指令中的至少一个由不是计算机可读存储介质的信号、载波或其他瞬时介质来承载。

[0070] 尽管已经在附图和前面的描述中详细图示和描述了本发明,但是这样的图示和描述应当被认为是图示性或示范性的,而非限制性的。本发明不限于公开的实施例。本领域技术人员通过研究附图、公开内容以及权利要求书,在实践请求保护的本发明时能够理解并且实现对所公开的实施的其他变型。

[0071] 在权利要求中,“包括”一词不排除其他元件或步骤,并且词语“一”或“一个”不排除多个。单个处理器或者其它单元可以实现权利要求书中记载的若干项的功能。尽管特定措施是在互不相同的从属权利要求中记载的,但是这并不指示不能有利地使用这些措施的组合。

[0072] 可以将计算机程序存储/分布在与其它硬件一起提供或者作为其它硬件的一部分提供的诸如光存储介质或者固态介质的合适介质上,但是还可以以诸如经因特网或者其它有线或无线电信系统的其它形式分布。权利要求书中的任何附图标记不应被解释为对范围的限制。

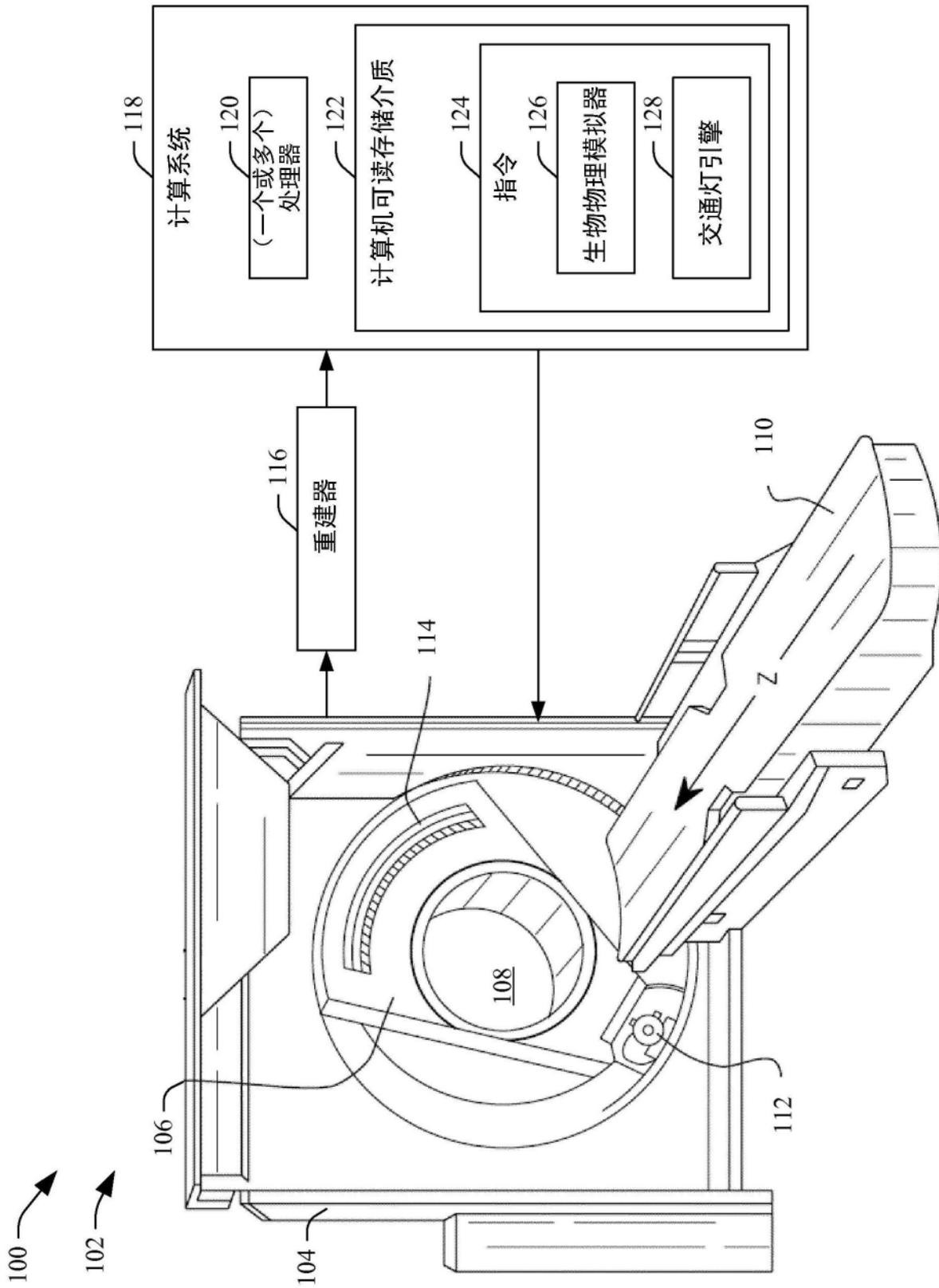


图1

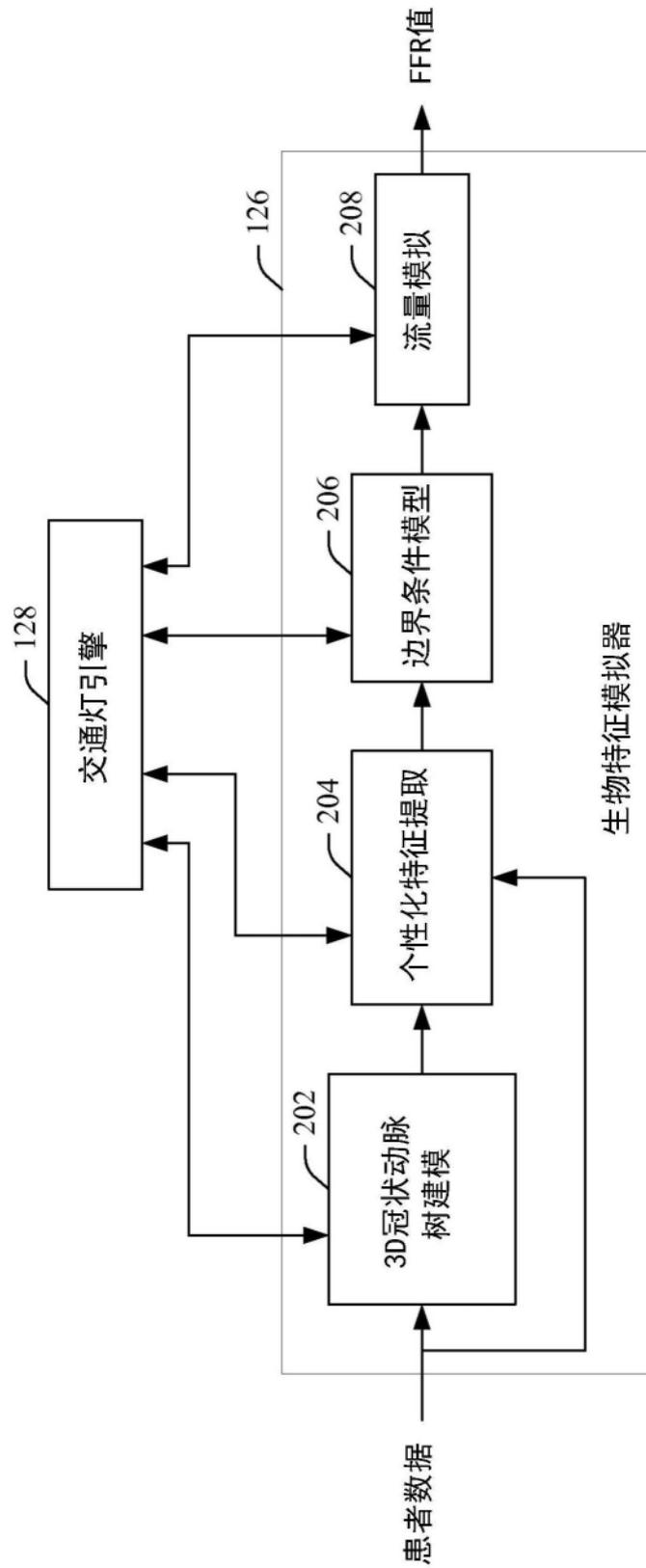


图2

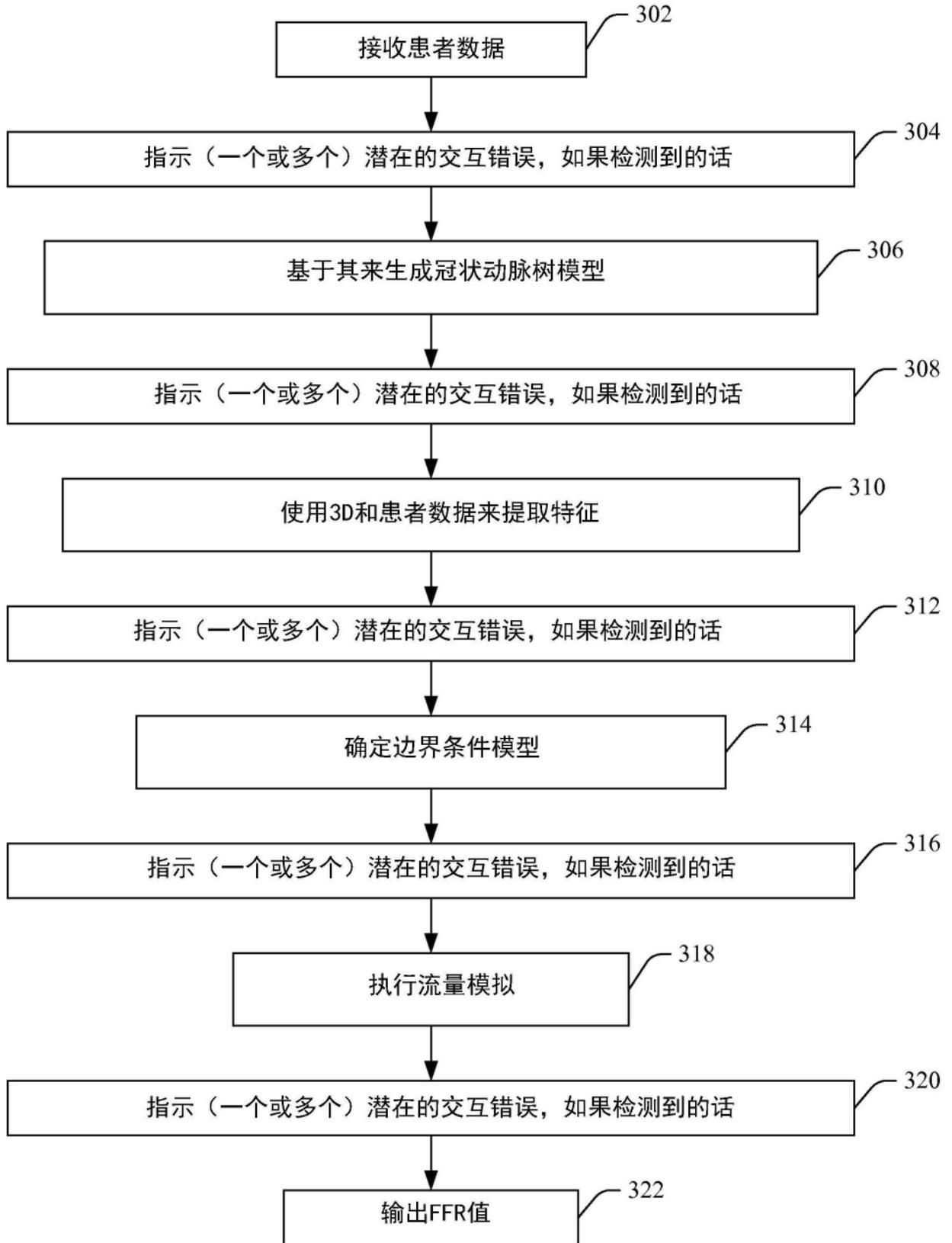


图3

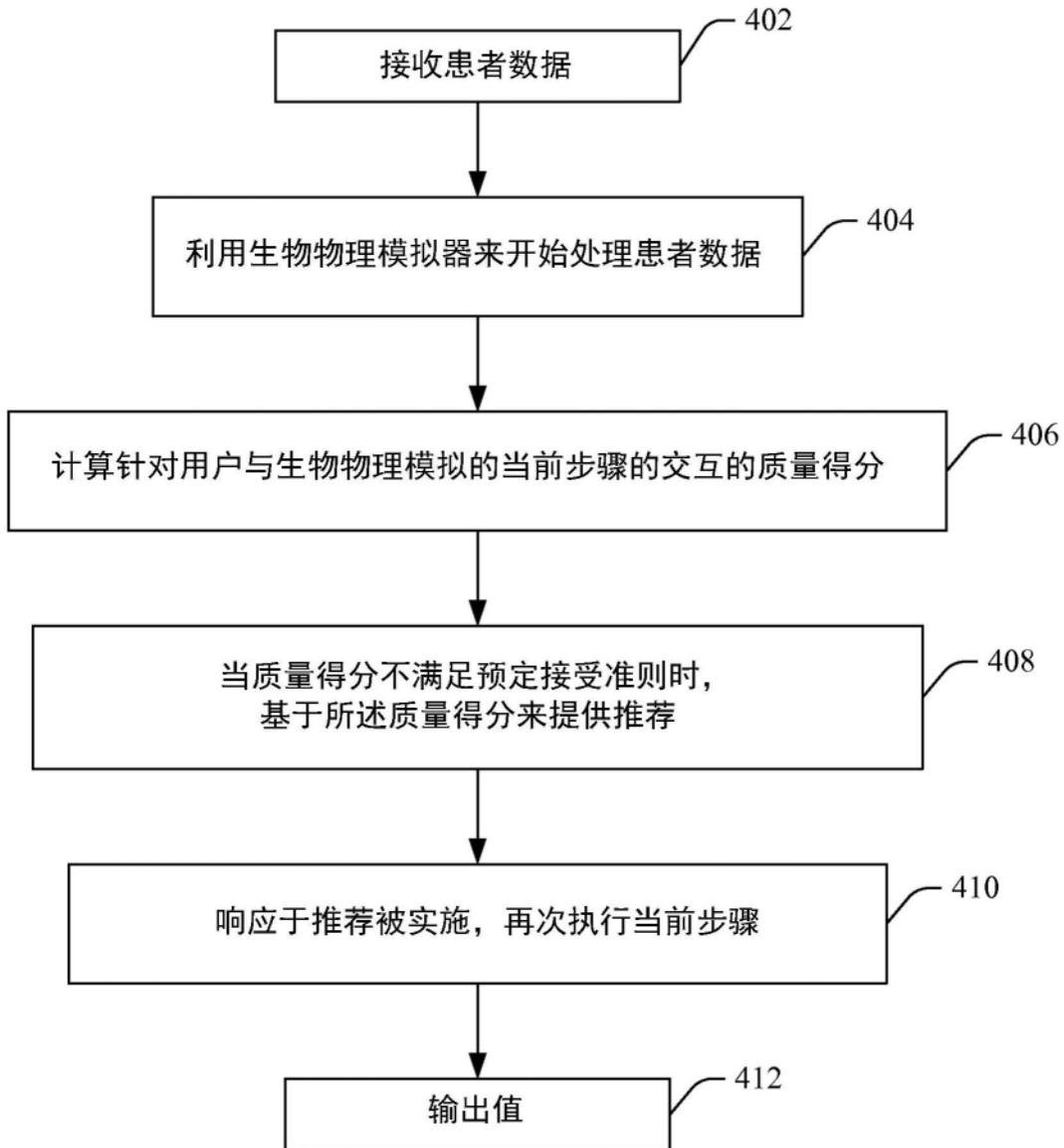


图4