



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119856200 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 18

(21) 申请号 202380064505.1

S · M · 扬

(22) 申请日 2023.08.25

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

(30) 优先权数据

72002

22194639.5 2022.09.08 EP

专利代理师 李光颖

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(51) Int. Cl.

2025.03.07

G06T 7/73 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2023/073358 2023.08.25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/052136 EN 2024.03.14

(71) 申请人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 J · 科佩尼奇 J · M · 迈 B · 伦特

H · M · 布吕克 A · 戈森

D · 贝斯特罗夫 S · 克伦克-希勒

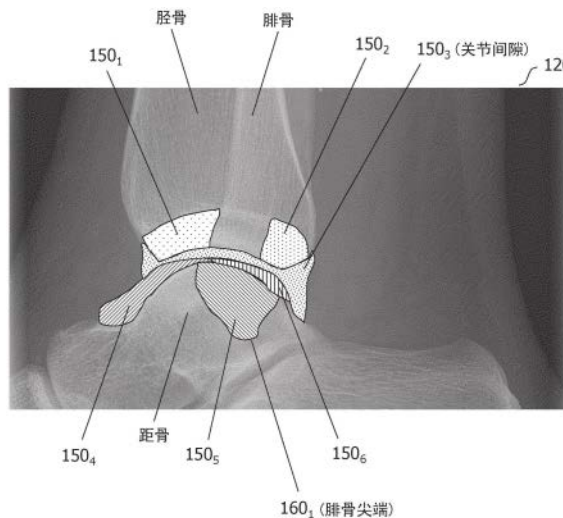
权利要求书4页 说明书22页 附图7页

(54) 发明名称

提供针对X射线投影图像的姿态信息

(57) 摘要

提供了一种提供针对X射线投影图像的姿态信息的计算机实现的方法。该方法包括分割X射线投影图像(120)以识别解剖结构的多个投影子区域(150<sub>1...m</sub>)，基于经分割的X射线投影图像(120)中的投影子区域(150<sub>1...m</sub>)中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸生成针对X射线投影图像(120)的姿态度量，以及输出姿态度量以提供针对X射线投影图像(120)的姿态信息。



1. 一种提供针对X射线投影图像的姿态信息的计算机实现的方法,所述方法包括:

接收(S110) X射线投影数据(110),所述X射线投影数据包括表示包括多个骨骼的解剖结构(130)的X射线投影图像(120),所述X射线投影数据由投影X射线成像系统(140)采集,所述投影X射线成像系统关于所述解剖结构(130)具有对应的姿态(P);

分割(S120)所述X射线投影图像(120)以识别所述解剖结构(130)的多个投影子区域(150<sub>1..m</sub>);

基于经分割的X射线投影图像(120)中的投影子区域(150<sub>1..m</sub>)中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来生成(S130)针对所述X射线投影图像(120)的姿态度量,其中,所述姿态度量表示:所述投影X射线成像系统(140)关于所述解剖结构(130)的姿态(P)和/或所述投影X射线成像系统姿态(P)对于采集所述X射线投影图像(120)的适合性和/或用于调整所述投影X射线成像系统姿态(P)以便采集表示所述解剖结构(130)的后续X射线投影图像的反馈;并且

其中,所述投影子区域(150<sub>1..m</sub>)中的至少一个投影子区域表示所述骨骼中的两个骨骼之间的间隙(150<sub>3</sub>);和/或

其中,所述投影子区域(150<sub>1..m</sub>)中的至少一个投影子区域至少部分地由以下定义:

所述X射线投影图像中的所述多个骨骼(150<sub>1</sub>, 150<sub>2</sub>)之间的交点;和/或

两个骨骼之间的间隙(150<sub>3</sub>)与所述X射线投影图像(120)中的另一骨骼之间的交点;以及

输出(S140)所述姿态度量以提供针对所述X射线投影图像(120)的所述姿态信息。

2. 根据权利要求1所述的计算机实现的方法,其中,所述投影子区域(150<sub>1..m</sub>)中的至少一个投影子区域表示骨骼的一部分(150<sub>1..2</sub>, 150<sub>4..6</sub>)。

3. 根据权利要求1或权利要求2所述的计算机实现的方法,其中,所述投影子区域中的至少一个投影子区域至少部分地由以下定义:

所述X射线投影图像中的所述骨骼中的至少一个骨骼的一部分(150<sub>1..6</sub>)的边界。

4. 根据权利要求1-3中任一项所述的计算机实现的方法,其中,所述的分割(S120)所述X射线投影图像(120)以识别所述解剖结构(130)的多个投影子区域(150<sub>1..m</sub>)包括:

对接收的X射线投影数据(110)应用分割算法;或

将接收的X射线投影数据(110)输入到第一神经网络(NN1)中;并且其中,所述第一神经网络(NN1)被训练以分割表示所述解剖结构(130)的X射线投影图像。

5. 根据任一前述权利要求所述的计算机实现的方法,其中,所述姿态度量表示所述投影X射线成像系统姿态(P)对于采集所述X射线投影图像(120)的适合性;并且

其中,所述的生成(S130)针对所述X射线投影图像(120)的姿态度量包括将两个或更多个投影子区域(150<sub>1..m</sub>)的相对尺寸与至少一个阈值进行比较。

6. 根据任一前述权利要求所述的计算机实现的方法,其中,所述方法还包括:

识别一个或多个解剖标志(160<sub>1..n</sub>)在所述X射线投影图像(120)中的位置;并且

其中,所述的生成(S130)针对所述X射线投影图像(120)的姿态度量进一步基于所识别的所述一个或多个解剖标志(160<sub>1..n</sub>)的位置。

7. 根据权利要求6所述的计算机实现的方法,其中,所述方法包括识别多个解剖标志(160<sub>1..n</sub>)在所述X射线投影图像(120)中的位置;并且其中,所述方法还包括:

测量所述多个解剖标志 ( $160_{1..n}$ ) 的位置之间的一个或多个距离 ( $170_{i..i}$ ) ;和/或  
测量由所述多个解剖标志定义的一个或多个轨迹的角度;和/或  
将所述多个解剖标志 ( $160_{1..n}$ ) 的所述位置映射到参考图像中的多个对应标志;  
并且其中,所述的生成 (S130) 针对所述X射线投影图像 (120) 的姿态度量进一步基于测量的一个或多个距离 ( $170_{i..i}$ ) 和/或测量的所述一个或多个轨迹的角度和/或所述多个解剖标志 ( $160_{1..n}$ ) 分别关于所述参考图像中所述对应标志的映射的位置。

8. 根据任一前述权利要求所述的计算机实现的方法,其中,所述的生成 (S130) 针对所述X射线投影图像 (120) 的姿态度量包括缩放所述X射线投影图像 (120);并且

其中,根据缩放的X射线投影图像确定所述投影子区域 ( $150_{1..m}$ ) 中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸。

9. 根据权利要求8所述的计算机实现的方法,其中,所述的缩放所述X射线投影图像包括:

基于所述X射线投影图像 (120) 中的区域的测量值来缩放所述X射线投影图像 (120) 的区域;或者

基于所述X射线投影图像 (120) 中的距离的测量值来缩放所述X射线投影图像 (120) 的区域;或者

将所述X射线投影图像 (120) 中的所述解剖结构 (130) 配准到表示所述解剖结构 (130) 的解剖图谱图像,以提供针对所述X射线投影图像的缩放因子,并且使用所述缩放因子缩放所述X射线投影图像 (120) 的区域。

10. 根据权利要求1所述的计算机实现的方法,其中,所述的生成 (S130) 针对所述X射线投影图像 (120) 的姿态度量包括:

将表示经分割的X射线投影图像的经分割的图像数据输入第二神经网络 (NN2);以及  
响应于所述输入,使用所述第二神经网络 (NN2) 生成所述姿态度量;并且

其中,使用X射线投影图像训练数据训练所述第二神经网络 (NN2) 以从经分割的图像数据生成所述姿态度量,所述X射线投影图像训练数据包括表示所述解剖结构 (130) 的多个经分割的X射线投影图像和针对所述姿态度量的对应基础真值,针对所述姿态度量的所述基础真值基于所述经分割的X射线投影图像中的所述投影子区域中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来估算。

11. 根据权利要求10所述的计算机实现的方法,其中,所述姿态度量表示所述投影X射线成像系统姿态 (P) 对于采集所述X射线投影图像的适合性,并且其中,通过以下方式所述第二神经网络 (NN2) 被训练以从所述经分割的X射线投影图像生成所述姿态度量:

接收所述X射线投影图像训练数据;

将所述X射线投影图像训练数据输入所述第二神经网络 (NN2);以及

对于多个所述经分割的X射线投影图像中的每一个:

使用所述第二神经网络 (NN2) 预测所述姿态度量的值;

基于所述姿态度量的预测值与所述姿态度量的所述基础真值之间的差调整所述第二神经网络 (NN2) 的参数;以及

重复所述预测和所述调整,直到满足停止标准。

12. 根据权利要求10所述的计算机实现的方法,其中,所述姿态度量表示用于调整所述

投影X射线成像系统姿态 (P) 以便采集表示所述解剖结构 (130) 的后续X射线投影图像的反馈,并且其中,所述姿态度量的所述基础真值包括用于调整所述投影X射线成像系统的所述姿态以便利用关于所述解剖结构的目标姿态采集表示所述解剖结构的X射线投影图像的一个或多个姿态调整;并且

其中,通过以下方式所述第二神经网络被训练以从所述经分割的X射线投影图像生成所述姿态度量:

接收所述X射线投影图像训练数据;

将所述X射线投影图像训练数据输入所述第二神经网络;并且对于多个所述经分割的X射线投影图像中的每一个:

使用所述第二神经网络预测所述姿态度量的值,所述姿态度量的值包括用于调整所述投影X射线成像系统的所述姿态以便利用关于所述解剖结构的目标姿态采集表示所述解剖结构的X射线投影图像的一个或多个姿态调整;

基于所述姿态度量的预测值与所述姿态度量的所述基础真值之间的差调整所述第二神经网络的参数;以及

重复所述预测和所述调整,直到满足停止标准。

13. 根据权利要求1所述的计算机实现的方法,其中,所述姿态度量表示所述X射线成像系统姿态 (P) 对于采集所述X射线投影图像 (120) 的适合性,并且其中,所述方法还包括:

基于所述X射线投影图像 (120) 中的两个骨骼之间的间隙 (150<sub>3</sub>) 的尺寸来计算针对所述X射线投影图像 (120) 的第二姿态度量的值,所述第二姿态度量的值表示所述X射线成像系统姿态 (P) 对于采集所述X射线投影图像 (120) 的适合性;

并且其中,所述的生成 (S130) 针对所述X射线投影图像 (120) 的姿态度量进一步基于所述第二姿态度量的值。

14. 根据权利要求13所述的计算机实现的方法,其中,所述的计算第二姿态度量的值包括:

将表示所述X射线投影图像 (120) 的X射线投影数据、或所述经分割的X射线投影图像输入第三神经网络 (NN3); 以及

响应于所述输入,使用所述第三神经网络 (NN3) 生成所述第二姿态度量的值;并且

其中,使用X射线投影图像训练数据训练所述第三神经网络 (NN3) 以从所述X射线投影数据生成所述第二姿态度量的值,所述X射线投影图像训练数据包括表示所述解剖结构 (130) 的多个X射线投影图像或经分割的X射线投影图像,以及针对所述第二姿态度量的对应基础真值,针对所述第二姿态度量的所述基础真值基于所述X射线投影图像或所述经分割的X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸来估算。

15. 一种提供针对X射线投影图像的姿态信息的计算机实现的方法,所述方法包括:

接收 (S110) X射线投影数据 (110), 所述X射线投影数据包括表示解剖结构 (130) 的X射线投影图像 (120), 所述X射线投影数据由投影X射线成像系统 (140) 采集,所述投影X射线成像系统关于所述解剖结构 (130) 具有对应的姿态 (P);

分割 (S120) 所述X射线投影图像 (120) 以识别所述解剖结构 (130) 的多个投影子区域 (150<sub>1..m</sub>);

生成 (S130) 针对所述X射线投影图像 (120) 的姿态度量,所述姿态度量的值表示所述X

射线成像系统姿态(P)对于采集所述X射线投影图像(120)的适合性,并且其中,所述姿态度量的值是基于所述投影子区域(150<sub>1..m</sub>)中的一个或多个投影子区域的尺寸生成的,包括:

所述X射线投影图像(120)中的两个骨骼之间的间隙(150<sub>3</sub>)的尺寸,和/或

至少部分地由所述X射线投影图像(150<sub>1</sub>,150<sub>2</sub>)中的多个骨骼之间的交点定义的投影子区域的尺寸;和/或

至少部分地由两个骨骼之间的间隙(150<sub>3</sub>)与所述X射线投影图像(120)中的另一骨骼之间的交点定义的投影子区域的尺寸;以及

输出(S140)所述姿态度量以提供针对所述X射线投影图像(120)的所述姿态信息。

16. 根据权利要求15所述的计算机实现的方法,其中,所述的生成(S130)针对所述X射线投影图像(120)的姿态度量使用所述间隙(150<sub>3</sub>)的所述尺寸的归一化值被执行,并且其中,所述间隙(150<sub>3</sub>)的所述尺寸的所述归一化值通过以下计算:

i) 基于所述X射线投影图像中的特征的尺寸缩放所述间隙(150<sub>3</sub>)的所述尺寸或所述投影子区域的尺寸,或

ii) 将所述X射线投影图像(120)中的所述解剖结构配准到表示所述解剖结构(130)的解剖图谱图像以提供针对所述X射线投影图像的缩放因子,使用所述缩放因子缩放所述X射线投影图像(120)的区域以提供经缩放的X射线投影图像,并且测量所述经缩放的X射线投影图像中的所述间隙(150<sub>3</sub>)的所述尺寸或所述投影子区域的所述尺寸。

## 提供针对X射线投影图像的姿态信息

### 技术领域

[0001] 本公开涉及提供针对X射线投影图像的姿态信息。公开了一种计算机实现的方法、计算机程序产品和系统。

### 背景技术

[0002] 投影X射线成像系统包括X射线源和X射线探测器。X射线源和X射线探测器由检查区域分开。诸如对象身体的踝部、腿部或另一部分的解剖结构可以设置在检查区域中,以便生成解剖结构的X射线投影图像。X射线投影图像由关于解剖结构具有限定姿态的投影X射线成像系统采集。使用X射线成像系统关于解剖结构的单个姿态来采集X射线投影图像,并且因此重要的是所使用的姿态在所得X射线投影图像中提供期望的信息。例如,骨折的踝骨的诊断可能需要使用其中骨折未被踝部中的其他骨骼遮挡的姿态来对骨骼进行成像。如果使用不合适的姿态,则可能需要采集重复图像。

[0003] 解剖结构关于投影X射线成像系统的定位通常是手动执行的,并且是根据针对解剖结构的协议的。放射线治疗师通过眼睛定位解剖结构,并生成初始图像。如果该初始图像不可接受,则放射治疗师基于他们的经验重新定位解剖结构,并生成另一图像。该过程可能重复多次,直到获得可接受的图像,有时在所得图像中仅有微小改进。因此,该方法增加了递送给对象的X射线剂量的量,并且还妨碍了工作流程。

[0004] 文献US2019/183438A1描述了一种确保用于放射线照相记录的正确定位的方法。该方法包括:提供身体区域的检查请求;将身体区域预先定位在放射线照相系统中用于放射线照相记录;预先定位放射线照相系统的记录单元和放射线照相系统的图像探测器中的至少一个以用于放射线照相记录;经由放射线照相系统产生身体区域的定位记录,放射线照相系统切换到荧光透视模式,并且定位记录是荧光透视记录;根据定位记录产生定位信息;以及输出定位信息。

[0005] 另一文献W02020/038917A1涉及基于2D投影图像确定成像方向。基于深度神经网络并且可能基于主动形状模型方法,可以对解剖体的完整轮廓进行确定和分类。基于某些特征,算法可以评估C形臂的视角是否足够。在另一步骤中,算法可以估计当前视角距离期望视角有多远,并且可以提供关于如何调整c形臂位置以达到期望视角的指导。

[0006] 然而,仍然需要改进解剖结构关于投影X射线成像系统的定位。

### 发明内容

[0007] 根据本公开的一个方面,提供了一种提供针对X射线投影图像的姿态信息的计算机实现的方法。该方法包括:接收X射线投影数据,所述X射线投影数据包括表示解剖结构的X射线投影图像,X射线投影数据由关于解剖结构具有对应姿态的投影X射线成像系统采集;分割X射线投影图像以识别解剖结构的多个投影子区域;基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来生成针对X射线投影图像的姿态度量;以及输出姿态度量以提供针对X射线投影图像的姿态信息。

[0008] 在上述方法中,针对X射线投影图像生成姿态度量。基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来生成姿态度量。发明人已经观察到,该相对尺寸用作投影X射线成像系统关于解剖结构的姿态的可靠度量。操作者可以将姿态度量用于各种目的,诸如例如确定投影X射线成像系统关于解剖结构的姿态,或评估姿态对于采集X射线投影图像的适合性,或确定如何调整投影X射线成像系统姿态以便采集解剖结构的改进的X射线投影图像。因此,该方法通过减少重复进行X射线图像采集的数量而有助于减少递送到对象的X射线剂量的量。该方法还有助于工作流程的改进。

[0009] 根据参考附图进行的示例的以下描述,本公开的其他方面、特征和优点将变得显而易见。

### 附图说明

[0010] 图1是根据本公开的一些方面表示解剖结构的X射线投影图像120的示例。

[0011] 图2是根据本公开的一些方面示出提供针对X射线投影图像的姿态信息的方法的示例的流程图。

[0012] 图3是根据本公开的一些方面示出用于提供针对X射线投影图像的姿态信息的系统200的示例的示意图。

[0013] 图4是根据本公开的一些方面示出具有关于解剖结构130的姿态P的投影X射线成像系统140的示例的示意图。

[0014] 图5是根据本公开的一些方面的经分割的X射线投影图像120的示例,并且包括解剖结构的投影子区域 $150_{1..m}$ 的示例。

[0015] 图6示出了根据本公开的一些方面的经分割的X射线投影图像 $120_{1..3}$ 的三个示例,其包括解剖结构的投影子区域 $150_{1..m}$ 的示例,并且已经从投影X射线成像系统关于解剖结构的不同姿态 $P_1$ (图6a)、 $P_2$ (图6b)和 $P_3$ (图6c)采集。

[0016] 图7是根据本公开的一些方面的经分割的X射线投影图像120的示例,并且包括解剖结构的投影子区域 $150_{1..m}$ 的示例以及多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置的示例。

[0017] 图8是根据本公开的一些方面的示出提供针对X射线投影图像的姿态信息的方法的示例的示意图,并且其中包括X射线投影图像的X射线投影数据110被输入到第一神经网络NN1中以便分割X射线投影图像,并且其中表示分割图像的经分割图像数据被输入到第二神经网络NN2中以便生成针对X射线投影图像的姿态度量。

### 具体实施方式

[0018] 参考以下描述和附图提供了本公开的各个示例。在本说明书中,出于解释的目的,阐述了某些示例的大量具体细节。说明书中对“示例”、“实施方式”或类似语言的引用意味着结合示例描述的特征、结构或特性被包括在至少那个示例中。还应当理解,关于一个示例描述的特征也可以用在另一示例中,并且为了简洁起见,所有特征并不必需重复在每个示例中。例如,关于计算机实现的方法描述的特征可以以相应的方式在系统和计算机程序产品中实现。

[0019] 在以下描述中,参考其中使用投影X射线成像系统来采集表示解剖结构的X射线投影图像的方法的示例。作为一些示例,投影X射线成像系统可以是DigitalDiagnost C90,或

Philips Azurion 7,或MobileDiagnost M50移动数字X射线系统,所有这些都由Philips Healthcare,Best,Netherlands销售。然而,应当理解,这些仅用作示例,并且投影X射线成像系统通常可以由任何类型的投影X射线成像系统提供。

[0020] 在一些示例中,描述了X射线成像系统的布置,其中投影X射线成像系统的X射线源经由机架安装到天花板,并且对应的X射线探测器安装到支架并保持在竖直位置。这种类型的布置可以由上述DigitalDiagnost C90成像系统使用。然而,应当理解,这种布置仅用作示例,并且投影X射线成像系统的X射线源和X射线探测器可以替代地以不同的方式布置。例如,X射线源可以被安装到支架或铰接臂,并且X射线探测器可以安装到天花板或铰接臂并保持在不同位置。可以替代地使用一种布置,其中X射线源和X射线探测器安装到公共支撑结构。这种布置被用在上述Philips Azurion7投影X射线成像系统中。在该示例中,支撑结构是所谓的C形臂。可以替代地使用其他布置,其中X射线源和X射线探测器安装到与C形臂具有不同形状的公共支撑结构,包括其中支撑结构由所谓的“O形臂”提供的布置。可以替代地使用其他布置,其中X射线源和X射线探测器以不同的方式安装或支撑,包括便携式X射线成像系统,诸如上述MobileDiagnost M50移动数字X射线系统。

[0021] 在以下描述中,参考涉及采集表示解剖结构的X射线投影图像的方法的示例。在一些示例中,解剖结构是踝部。然而,应当理解,踝部仅用作示例,并且通常本文公开的方法可用于采集表示对象体内的任何解剖结构的X射线投影图像。还应当理解,虽然以下描述参考其中针对单个X射线投影图像生成姿态度量的方法的各示例,但是这些方法可以类似地用于针对多幅图像中的每幅图像生成姿态度量。该方法可以例如用于提供针对图像的时间序列的姿态度量,并且其中姿态度量响应于在该序列期间投影X射线成像系统的姿态的变化而变化。

[0022] 在以下描述中,参考由计算机(即由处理器)实现的各种方法。注意,本文公开的计算机实现的方法可以被提供为包括存储在其上的计算机可读指令的非暂时性计算机可读存储介质,所述计算机可读指令在由至少一个处理器执行时使所述至少一个处理器执行所述方法。换句话说,计算机实现的方法可能以计算机程序产品实现。计算机程序产品能够由专用硬件或能够运行与适当软件相关联的软件的硬件来提供。当由处理器提供时,方法特征的功能能够由单个专用处理器提供,或者由单个共享处理器提供,或者由多个单独的处理器提供,其中一些能够共享。术语“处理器”或“控制器”的明确使用不应被解释为排他地指代能够运行软件的硬件,并且能够隐含地包括但不限于数字信号处理器“DSP”硬件、用于存储软件的只读存储器“ROM”、随机存取存储器“RAM”、非易失性存储设备等。此外,本公开的示例能够采取可从计算机可用存储介质或计算机可读存储介质访问的计算机程序产品的形式,该计算机程序产品提供由计算机或任何指令执行系统使用或与其结合使用的程序代码。出于本说明书的目的,计算机可用存储介质或计算机可读存储介质能够是可以包括、存储、通信、传播或传送程序以供指令执行系统、装置或设备使用或与其结合使用的任何装置。介质能够是电子、磁性、光学、电磁、红外或半导体系统或器件或传播介质。计算机可读介质的各示例包括半导体或固态存储器、磁带、可移动计算机盘、随机存取存储器“RAM”、只读存储器“ROM”、刚性磁盘和光盘。光盘的当前各示例包括光盘只读存储器“CD-ROM”、光盘读/写“CD-R/W”、Blu-Ray™和DVD。

[0023] 如上所述,仍然需要改进解剖结构关于投影X射线成像系统的定位。

[0024] 图1是根据本公开的一些方面的表示解剖结构的X射线投影图像120的示例。例如,在针对踝部中存在骨折的骨骼的临床调查期间,放射线治疗师可以采集诸如图1所示的图像的图像。然而,如上所述,这种投影X射线图像的缺点是需要使用关于解剖结构具有合适姿态的投影X射线成像系统来采集它们。这是通过将由三维物体引起的衰减投影到二维X射线探测器的表面上来生成投影X射线图像的结果。如果用于采集图1所示的图像的投影X射线成像系统关于踝部具有不合适的姿态,则骨折可能被踝部中的其他骨骼遮挡。这可能导致需要采集另一图像,这增加了递送到对象的X射线剂量的量,并且还妨碍了工作流程。

[0025] 图2是示出根据本公开的一些方面的提供针对X射线投影图像的姿态信息的方法的示例的流程图。图3是示出根据本公开的一些方面的用于提供针对X射线投影图像的姿态信息的系统200的示例的示意图。系统200包括一个或多个处理器210。关于图2所示的方法描述的各项操作也可以由图3所示的系统200的一个或多个处理器210执行。同样,关于系统200的一个或多个处理器210描述的各项操作也可以在参考图2描述的方法中被执行。参照图2,提供针对X射线投影图像的姿态信息的计算机实现的方法包括:

[0026] 接收S110 X射线投影数据110,X射线投影数据包括表示解剖结构130的X射线投影图像120,X射线投影数据由具有关于解剖结构130的对应姿态P的投影X射线成像系统140采集;

[0027] 分割S120 X射线投影图像120以识别解剖结构130的多个投影子区域 $150_{1..m}$ ;

[0028] 基于经分割的X射线投影图像120中的两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸来生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量;以及

[0029] 输出S140该姿态度量以提供针对X射线投影图像120的姿态信息

[0030] 在上述方法中,针对X射线投影图像生成姿态度量。基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来生成姿态度量。发明人已经观察到,该相对尺寸用作作用于投影X射线成像系统关于解剖结构的姿态的可靠度量。操作者可以将姿态度量用于各种目的,诸如例如确定投影X射线成像系统关于解剖结构的姿态,或评估姿态对于采集X射线投影图像的适合性,或确定如何调整投影X射线成像系统姿态以便采集解剖结构的改进的X射线投影图像。因此,该方法通过减少X射线图像采集被重复的次数来促进递送到对象的X射线剂量的量的减少。该方法还有助于工作流程的改进。

[0031] 参考图2所示的方法,在操作S110中,接收X射线投影数据110。X射线投影数据包括表示解剖结构130的X射线投影图像120。X射线投影数据由具有关于解剖结构130的对应姿态P的投影X射线成像系统140采集。

[0032] 投影X射线成像系统包括X射线源和X射线探测器。在采集X射线投影数据期间,X射线源和X射线探测器关于解剖结构保持在静态位置。在采集X射线投影数据期间,可以说投影X射线成像系统具有关于解剖结构的姿态。使用投影X射线成像系统关于解剖结构的单个姿态来采集X射线投影数据。X射线投影数据可以用于生成表示解剖结构的X射线投影图像,即二维图像。由投影X射线成像系统采集的X射线投影数据与由计算机断层摄影“CT”成像系统生成的体积X射线数据形成对比。在CT成像系统中,X射线源和X射线探测器围绕解剖结构旋转,以便从CT成像系统关于解剖结构的多个姿态中的每一个姿态采集体积X射线数据。体积X射线数据随后被重建为解剖结构的三维或体积图像。

[0033] 在操作S110中接收的X射线投影数据110可以从各种源接收。例如,X射线投影数据

110可以从投影X射线成像系统(诸如图3所示的投影X射线成像系统140)接收。在该示例中,X射线投影数据110可以由图3所示的系统200的一个或多个处理器210接收。代替从投影X射线成像系统接收X射线投影数据110,X射线投影数据110可以从另一源接收,例如计算机可读存储介质或因特网或云。因此,X射线投影数据110可能已经由投影X射线成像系统在较早的时间点采集,并且随后在操作S110中从计算机可读存储介质或互联网或云接收。通常,在操作S110中接收的X射线投影数据110可以经由任何形式的数据通信接收,包括有线、光学和无线通信。作为一些示例,当使用有线或光通信时,可以经由在电缆或光缆上传输的信号进行通信,并且当使用无线通信时,可以经由RF或光信号进行通信。

[0034] 如上所述,X射线投影数据110由具有关于解剖结构130的对应姿态P的投影X射线成像系统140采集。图4是根据本公开的一些方面示出具有关于解剖结构130的姿态P的投影X射线成像系统140的示例的示意图。图4所示的投影X射线成像系统140对应于图3所示的投影X射线成像系统140,并且包括X射线源 $140_s$ 和X射线探测器 $140_d$ 。解剖结构的示例也在图3和图4中以踝部的形式示出。在图3和图4两者中,通过用X射线探测器 $140_d$ 探测由X射线源 $140_s$ 发射并且已经穿过踝部的X射线辐射来采集踝部的X射线投影数据。X射线投影数据表示沿着X射线源 $140_s$ 和X射线探测器 $140_d$ 之间的路径的踝部X射线衰减的线积分。

[0035] X射线成像系统140关于踝部的姿态P经由图4中的粗黑箭头关于踝部的取向示出。在所示示例中,姿态P由投影X射线成像系统140的中心射线关于解剖结构的取向定义。图4的右上侧的虚线轮廓框内的图示出了投影X射线成像系统140关于解剖结构130的广义姿态P。在该插图中,姿态P由关于解剖结构130的坐标系的角度 $\alpha$ 和 $\beta$ 定义。作为示例,该角度 $\alpha$ 可以被定义为投影X射线成像系统140的中心射线围绕对象的纵轴的旋转角度,并且该角度 $\beta$ 可以被定义为投影X射线成像系统140的中心射线关于对象的颅尾轴的倾斜角。

[0036] 返回到图2所示的方法;在操作S120中,分割X射线投影图像120,以便识别解剖结构130的多个投影子区域 $150_{1..m}$ 。图5是根据本公开的一些方面的经分割的X射线投影图像120的示例并且包括解剖结构的投影子区域 $150_{1..m}$ 的示例。在所示的示例中,该分割已经导致对踝部的投影子区域 $150_{1..m}$ 的描绘。这些包括:胫骨(Tibia)的第一投影区域 $150_1$ 、胫骨(Tibia)的第二投影区域 $150_2$ 、胫骨和距骨(Talus)之间的投影关节间隙 $150_3$ 、距骨的第一关节表面 $150_4$ 、腓骨(Fibula)和距骨之间的重叠 $150_5$ 以及距骨的第二关节表面 $150_6$ 。

[0037] 通常,由分割操作120识别的解剖结构130的投影子区域 $150_{1..m}$ 表示以下中的一个或多个:骨骼的一部分 $150_{1..2}$ 、 $150_{4..6}$ 和两个骨骼之间的空间 $150_3$ 。通常,骨骼的一部分可以包括骨骼的骨干(diaphysis)、即骨干(shaft)、的一部分,或干骺端的一部分,或骨骺的一部分。在操作S120中可被识别为投影子区域的骨骼的部分的示例包括骨骼的边界的投影,以及骨骼的各小平面的投影,诸如骨骼的关节表面的投影。在图5所示的示例中,投影子区域 $150_{1..m}$ 表示胫骨的部分,即 $150_{1..2}$ ,腓骨的部分,即 $150_5$ ,以及距骨的部分,即 $150_4$ 和 $150_6$ 。图5中的项目 $150_4$ 和 $150_6$ 是骨骼的关节表面(即,距骨的第一关节表面 $150_4$ 和距骨的第二关节表面 $150_6$ )的投影的示例。如上所述,投影子区域可以替代地表示两个骨骼之间的空间 $150_3$ 。两个骨骼之间的空间在本文中也称为间隙,或更具体地称为关节间隙。关节间隙是与两个邻接骨骼之间的关节相关联的间隙。例如,关节可以是滑膜关节。在这种情况下,在投影子区域中表示的关节间隙的至少一部分表示滑膜腔的一部分。在投影子区域中表示的关节间隙的一部分也可以表示由于退行性关节疾病或磨损和撕裂引起的软骨减少。关节间

隙提供比骨骼相对更低的X射线衰减,并且因此在X射线投影图像中产生比间隙的任一侧骨骼相对更低的强度区域。图5中的项目 $150_3$ 是两个骨骼之间的空间的投影的示例,即,在胫骨和距骨之间的投影关节间隙 $150_3$ 。

[0038] 投影子区域 $150_{1..m}$ 可以以各种方式定义。在一个示例中,两个或更多个投影子区域中的至少一个投影子区域至少部分地由X射线投影图像 $150_{1..6}$ 中的至少一个骨骼的一部分的边界定义。例如,在图5中,投影子区域 $150_1$ 至少在其上侧、左侧和下侧末端处由骨骼的小平面(更具体地胫骨的关节表面)的边界定义。类似地,投影子区域 $150_2$ 至少在其上侧、右侧和下侧末端处由骨骼的小平面(更具体地胫骨的关节表面)的边界定义。在另一示例中,两个或更多个投影子区域中的至少一个投影子区域至少部分地由X射线投影图像中的多个骨骼之间的交点定义。例如,在图5中,投影子区域 $150_1$ 至少在其右侧末端由腓骨和胫骨之间的交点定义。类似地,投影子区域 $150_2$ 至少在其左侧末端由腓骨和胫骨之间的交点定义。在另一示例中,两个或更多个投影子区域中的至少一个投影子区域至少部分地由两个骨骼之间的空间 $150_3$ 与X射线投影图像120中的另一骨骼之间的交点定义。虽然这在图5中没有明确示出,但是根据该示例的投影子区域可以由关节间隙 $150_3$ 和腓骨之间的交点定义。投影子区域也可以由这些示例的组合来定义。

[0039] 可以使用各种技术来执行操作S120,其中X射线投影图像120被分割以便识别解剖结构130的多个投影子区域 $150_{1..m}$ 。一种示例技术涉及将分割算法应用于接收到的X射线投影数据110。诸如基于模型的分割、基于分水岭的分割、区域生长、水平集或图形切割的分割算法可以用于该目的。另一示例技术涉及将接收到的X射线投影数据110输入到神经网络中,该神经网络被训练以分割表示解剖结构130的X射线投影图像。这种神经网络的示例是稍后参考图8描述的第一神经网络NN1。可以用于在操作S120中分割X射线投影图像的神经网络的示例在Krönke, S.等人的文献“CNN-based pose estimation for assessing quality of ankle-joint X-ray image”, Proc.SPIE12032, Medical Imaging 2022: Medical Processing, 120321A (2022) 中被公开。

[0040] 返回参考图2所示的方法;在操作S130中,基于经分割的X射线投影图像120中的两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸来生成针对X射线投影图像120的姿态度量。如上所述,发明人已经观察到,该相对尺寸用作针对投影X射线成像系统关于解剖结构的姿态的可靠度量。参考图6描述该原理,其根据本公开的一些方面示出了经分割的X射线投影图像 $120_{1..3}$ 的三个示例,其包括解剖结构的投影子区域 $150_{1..m}$ 的示例,并且已经从投影X射线成像系统关于解剖结构的不同姿态 $P_1$ (图6a)、 $P_2$ (图6b)和 $P_3$ (图6c)采集。

[0041] 在图6的上部中,虚线轮廓框内的图通过粗黑箭头示出了投影X射线成像系统关于解剖结构130的姿态 $P_{1..3}$ 。姿态 $P_{1..3}$ 被用于采集在图6的下部中示出的对应X射线投影图像 $120_{1..3}$ 。投影X射线成像系统140的姿态 $P_{1..3}$ 以上面参考图4描述的方式定义。换句话说,姿态 $P_{1..3}$ 由投影X射线成像系统的中心射线关于解剖结构的取向定义。姿态 $P_{1..3}$ 可以由关于解剖结构130的坐标系的角度 $\alpha$ 和 $\beta$ 定义。该角度 $\alpha$ 可以被定义为投影X射线成像系统的中心射线围绕对象的纵轴的旋转角度,并且该角度 $\beta$ 可以被定义为投影X射线成像系统的中心射线关于对象的颅尾轴的倾斜角。

[0042] 最初参考图6b;在该位置,姿态 $P_2$ 对于生成表示踝部的X射线投影图像是最佳的。利用该最佳姿态,腓骨尖端关于胫骨居中对准,并且胫骨和距骨之间的投影关节间隙 $150_3$

沿着胫骨的关节表面的长度连续可见。以下投影子区域在图6b中以最佳姿态 $P_2$ 可见:胫骨的第一投影区域 $150_1$ 、胫骨的第二投影区域 $150_2$ 、胫骨和距骨之间的投影关节间隙 $150_3$ 、以及腓骨和距骨之间的重叠 $150_5$ 。可以针对这些投影子区域中的每一个计算尺寸。尺寸可以是每个投影子区域的面积或距离测量值。作为一些示例,面积可以被计算为投影子区域的总面积,或者被计算为拟合到投影子区域的形状的面积,并且距离测量值可以被计算为投影子区域的最大值、或最小值、或平均距离、或者拟合到投影子区域的形状的距离测量。可以以诸如(平方)毫米、(平方)厘米等的单位来计算尺寸,或者可以根据诸如图像像素的另一参考单位来计算尺寸。

[0043] 现在参考图6a;在该图示中,通过使投影X射线成像系统围绕解剖结构的y轴逆时针旋转大约5度从姿态 $P_2$ 获得姿态 $P_1$ 。姿态 $P_1$ 对于生成表示踝部的X射线投影图像是次优的。这部分是因为胫骨和距骨之间的关节突出关节间隙 $150_3$ 沿着胫骨的关节表面的长度不再是连续的。与图6b相比,在图6a中,胫骨的第一投影区域 $150_1$ 的尺寸增加,并且胫骨的第二投影区域 $150_2$ 的尺寸减小。腓骨和距骨之间的重叠 $150_5$ 的尺寸也减小。因此,投影X射线成像系统围绕解剖结构的y轴逆时针旋转以获得姿态 $P_2$ 已经导致投影子区域 $150_1$ 、 $150_2$ 、 $150_3$ 和 $150_5$ 的尺寸发生变化。

[0044] 现在参考图6c;在该图示中,通过将投影X射线成像系统围绕解剖结构的y轴顺时针旋转大约5度从姿态 $P_2$ 获得姿态 $P_3$ 。姿态 $P_3$ 对于生成表示踝部的X射线投影图像是次优的。这部分是因为胫骨和距骨之间的关节突出关节间隙 $150_3$ 沿着胫骨的关节表面的长度不再是连续的。与图6b相比,在图6a中,胫骨的第一投影区域 $150_1$ 的尺寸减小,并且胫骨的第二投影区域 $150_2$ 的尺寸增加。腓骨和距骨之间的重叠 $150_5$ 的尺寸也减小。因此,投影X射线成像系统围绕解剖结构的y轴顺时针旋转以获得姿态 $P_3$ 已经导致投影子区域 $150_1$ 、 $150_2$ 、 $150_3$ 和 $150_5$ 的尺寸发生变化。

[0045] 从以上解释可以理解,随着围绕y轴的旋转,投影子区域 $150_{1..m}$ 的尺寸变化的结果是经分割的X射线投影图像120中的两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸可以用于确定投影X射线成像系统关于解剖结构130的姿态 $P_{1..3}$ 。例如,投影子区域 $150_1$ 的与投影子区域 $150_2$ 的尺寸相比的相对尺寸提供了踝部围绕解剖结构的y轴的旋转的度量。投影子区域 $150_4$ 的与投影子区域 $150_3$ 的尺寸相比的相对尺寸还提供了踝部围绕解剖结构的y轴的旋转的度量。投影X射线成像系统关于解剖结构130的其他姿态可以以类似的方式从投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸来确定。

[0046] 下面描述操作S130的各种示例,其中两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸用于生成姿态度量。这些包括从X射线投影图像计算投影子区域的尺寸的一种方法,以及将X射线投影图像120输入到神经网络中的另一种方法,并且使用针对姿态度量的基础真值(ground truth values)来训练神经网络以生成姿态度量,该基础真值是基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸而估算的。

[0047] 在一些示例中,姿态度量表示投影X射线成像系统140关于解剖结构130的姿态P。在一些示例中,姿态度量表示投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性。在一些示例中,姿态度量表示用于调整投影X射线成像系统姿态P以便采集表示解剖结构130的后续X射线投影图像的反馈。姿态度量还可以表示这些示例的组合。后续X射线投影图像在本文中可以被称为改进的或合适的或临床上可接受的X射线投影图像。

[0048] 返回参考图2所示的方法；在操作S140中，姿态度量被输出以提供针对X射线投影图像120的姿态信息。

[0049] 姿态度量可以以各种方式输出，包括图形地和听觉地。例如，姿态度量可以以图形方式输出到监视器、平板电脑或另一设备的显示器。作为一些示例，投影X射线成像系统140的姿态可以以图形方式输出为类似于图6的上部所示的图标。用于调整投影X射线成像系统姿态的反馈可以通过显示如下箭头来以类似的方式输出，该箭头指示应当如何调整姿态以便获得解剖结构的改进图像。用于调整投影X射线成像系统姿态的反馈可以替代地经由扬声器、耳机等听觉地输出。例如，可以输出声音消息，诸如“将X射线源向左旋转十度”或“将踝部向左旋转5度”等。作为一些另外的示例，可以通过输出指示姿态是否合适的颜色或另一视觉指示来输出投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性。例如，X射线投影图像120可以设置有指示姿态不合适的红色轮廓和指示姿态确实合适的绿色轮廓。

[0050] 在一个示例中，姿态度量表示用于调整投影X射线成像系统姿态P以便采集表示解剖结构130的后续X射线投影图像的反馈，并且姿态度量用于自动调整投影X射线成像系统姿态P。在该示例中，反馈被输出到控制系统，该控制系统生成用于控制一个或多个马达或致动器的控制信号，以调整生成X射线投影图像120的投影X射线成像系统的姿态。投影X射线成像系统可以包括各种传感器（诸如旋转编码器和位置传感器），其测量投影X射线成像系统的姿态，并且其与一个或多个马达或致动器组合操作以提供经调整的姿态。在该示例中，还可以将反馈作为推荐姿态输出给用户，于是响应于用户接受推荐姿态而自动调整姿态。该示例具有以下益处：避免了手动重新定位投影X射线成像系统和/或患者以便采集后续X射线投影图像的需要，从而节省时间并改进工作流程。

[0051] 在一个示例中，姿态度量可以与X射线投影图像120一起输出和存储。X射线投影图像120可以以标准化格式存储，诸如DICOM格式。例如，姿态度量可以以所谓的“辅助捕获 (Secondary capture)”DICOM格式或以“呈现状态 (presentation state)”DICOM格式与X射线投影图像120一起存储。然后可以以辅助捕获DICOM格式或呈现状态DICOM格式将姿态度量和X射线投影图像120传输到PACS观看站以供放射科医生观看。例如，姿态度量和X射线投影图像120可以作为辅助捕获图像或作为呈现状态图像或作为结构化报告显示在PACS观看站上。

[0052] 如上所述，在操作S130中，两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸用于生成针对X射线投影图像的姿态度量。

[0053] 在一种方法中，根据X射线投影图像计算投影子区域的尺寸。在该方法中，使用图像处理技术来计算投影子区域的尺寸。作为示例，上面参考图6描述的投影子区域 $150_1$ 和 $150_2$ 的相对尺寸可以被测量并且用作投影X射线成像系统围绕解剖结构130的y轴的旋转的度量，并且因此用作投影X射线成像系统关于解剖结构的姿态的度量。随着投影X射线成像系统的旋转贯穿图6a-图6c的序列围绕y轴顺时针旋转，投影子区域 $150_1$ 的尺寸与投影子区域 $150_2$ 的尺寸的比率减小。其他投影子区域的相对尺寸可以用于增强并且因此提高从投影子区域 $150_1$ 和 $150_2$ 确定的姿态的准确性。例如，投影子区域 $150_5$ 的尺寸与胫骨和距骨之间的与投影关节间隙 $150_3$ 的比率也贯穿图6a-图6c的序列改变，并且也围绕x轴旋转，因此这也可以提高从投影子区域 $150_1$ 和 $150_2$ 确定的姿态的准确性。

[0054] 如上所述,在一个示例中,姿态度量表示投影X射线成像系统140关于解剖结构130的姿态P。该示例可以通过测量诸如图6所示的在多个姿态下的参考解剖结构的多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的尺寸,并生成相对尺寸和对应姿态之间的函数关系来实现。例如,函数关系可以由图或查找表提供。然后可以询问图或查找表,以便确定表示解剖结构的新投影X射线图像的姿态。

[0055] 如上所述,在另一示例中,姿态度量表示投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性。该示例可以以类似的方式通过如上所述确定姿态P并且通过对照已经以函数关系标记为适合于采集X射线投影图像的姿态范围检查该姿态来实现。在该示例中,姿态度量表示投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性,并且用于生成X射线投影图像120的姿态度量的操作S130包括将两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸与至少一个阈值进行比较。在该示例中,阈值可以定义适合于采集X射线投影图像120的姿态范围。放射科医生可以设置阈值,以便定义临床上可接受用于对解剖结构进行成像的图像。

[0056] 如上所述,在另一示例中,姿态度量表示用于调整投影X射线成像系统姿态P的反馈,以便采集表示解剖结构130的后续X射线投影图像。该示例可以通过如上所述计算针对新投影X射线图像的姿态,并且还将姿态调整计算为计算的姿态与用于采集表示解剖结构130的X射线投影图像的参考姿态之间的差来实现。参考图6,在该示例中,计算可以导致姿态调整,该姿态调整被计算为姿态值 $P_1$ 和 $P_2$ 之间的差,或者被计算为姿态值 $P_3$ 和 $P_2$ 之间的差; $P_2$ 是针对解剖结构的最佳姿态。

[0057] 在一个示例中,进一步基于X射线投影图像中的解剖标志来确定X射线投影图像120的姿态度量。这为基于经分割的X射线投影图像120中的两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸来确定姿态度量提供冗余。在X射线投影图像不允许操作S130中的准确分割的情况下,该示例有利于提高姿态度量的准确性。例如,骨骼轮廓在一些姿态下以及在X射线成像设置下可能难以看到。例如,解剖结构可变性和解剖体中的植入物可以导致X射线投影图像中的图像特征的阻挡,从而混淆分割操作。在该示例中,参考图1描述的方法包括:

[0058] 识别X射线投影图像120中的一个或多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置;以及

[0059] 其中为X射线投影图像120生成S130姿态度量进一步基于一个或多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的所识别的位置。

[0060] 参考图7描述该示例,图7是根据本公开的一些方面的经分割的X射线投影图像120的示例,并且包括解剖结构的投影子区域 $150_{1..m}$ 的示例以及多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置的示例。图7中所示的经分割的X射线投影图像120表示围绕腓骨尖端 $160_1$ 的图5中的放大部分,并且包括以下解剖标志的位置:腓骨尖端 $160_1$ 和胫踝的尖端 $160_2$ 。可以理解,图7所示的经分割的X射线投影图像120中的标志 $160_{1..n}$ 的位置根据图5所示的投影X射线成像系统关于踝部的姿态的变化而变化。例如,随着姿态改变,投影X射线图像120中的单个解剖标志的位置关于投影子区域 $150_{1..m}$ 的位置而改变。结果,可以基于X射线投影图像120中的一个或多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置以及经分割的X射线投影图像120中的两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸来生成针对X射线投影图像120的姿态度量。类似地,如果在投影X射线图像120中识别出多个解剖标志,则也可以关于一个或多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的位置来确

定这些标志的位置。

[0061] 如果在X射线投影图像120中识别出多个标志,则还可以从X射线投影图像120导出进一步的信息并将其用于生成姿态度量。例如,在一个示例中,可以测量多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置之间的距离。参考图7,在该示例中,已经计算了不同解剖标志之间的多个距离 $170_{1..i}$ 。例如,距离 $170_{1..3}$ 表示两个距骨和胫骨下踝的圆形近似的半径。距离 $170_4$ 表示腓骨尖端和胫骨踝的尖端之间的距离。距离 $170_5$ 表示后关节间隙,所述后关节间隙由胫骨髁和较近的距骨髁的圆形近似之间的距离表示。距离 $170_6$ 表示中心关节间隙,该中心关节间隙由胫骨髁和较近的距骨髁的圆形近似之间的距离表示。距离 $170_8$ 表示由胫骨髁与较近的距骨髁的圆形近似之间的距离表示的前关节间隙。距离 $170_7$ 表示在定义的重要位置处腓骨和胫骨之间的前部距离。如可以理解的,这些距离根据用于生成图7所示的X射线投影图像120的X射线成像系统的姿态而变化,并且因此它们可以用于表征X射线成像系统的姿态。在另一示例中,可以测量由多个解剖标志定义的各轨迹之间的角度,并且可以以类似的方式使用这些角度来表征用于生成图7所示的X射线投影图像120的X射线成像系统的姿态。

[0062] 这两个示例可以应用于不同的解剖结构,并且更正式地被陈述如下:让 $\dots$ ,其中, $\dots$ 表示图像坐标,并且 $\cdot:\dots$ 表示灰阶图像。定义映射 $\cdot:\dots$ ;其将解剖区域分配给每个像素 $\cdot$ ,其中 $\cdot$ 是解剖区域的数量。此外,计算附加几何度量 $\dots$ ;其中 $\cdot$ 是附加度量的数量。这些度量可以是如图7所示的距离或半径。在姿态度量表示用于调整投影X射线成像系统姿态的反馈的示例中,在第二步中,通过映射 $\cdot(\cdot(\cdot),\cdot)\cdot\cdot$ 来变换这些解剖段,其中 $\cdot$ 是反馈的维度以校正投影X射线成像系统关于解剖结构的姿态。该映射 $\cdot$ 是从解剖结构和附加几何度量到姿态反馈的线性或非线性映射。

[0063] 在另一示例中,将X射线投影图像120中的解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置映射到参考图像中的对应标志,并且基于多个解剖标志 $160_{1..n}$ 关于参考图像中的对应标志的映射位置来确定X射线投影图像的姿态度量。在该示例中,通过使用投影X射线成像系统关于解剖结构的不同姿态来投影表示解剖结构的3D模型以获得参考图像。使用投影X射线成像系统的模型在虚拟意义上投影3D模型,其中X射线源和X射线探测器以与用于生成X射线投影图像的成像系统中相同的方式布置。参考图像中的投影标志出现如下位置中,这些位置是用于生成参考图像的投影X射线成像系统的模型的姿态的特征。因此,通过将X射线投影图像120中的解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置与参考图像中的对应标志进行匹配,也可以确定姿态度量。

[0064] 因此,在这些示例中,参考图2描述的方法包括识别X射线投影图像120中的多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置,并且:

[0065] 测量多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置之间的一个或多个距离 $170_{1..i}$ ;和/或

[0066] 测量由多个解剖标志定义的一个或多个轨迹的角度;和/或

[0067] 将多个解剖标志 $160_{1..n}$ 的位置映射到参考图像中的多个对应标志;

[0068] 并且其中生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量分别进一步基于测量的一个或多个距离 $170_{1..i}$ 和/或一个或多个轨迹的测量的角度和/或多个解剖标志 $160_{1..n}$ 关于参考图像中的对应标志的映射的位置。

[0069] 在这些示例中,可以使用各种技术来识别解剖标志。例如,特征检测器或边缘检测器或基于模型的分割或神经网络可用于识别X射线投影图像120中的解剖标志。

[0070] 在上述示例中,可以在确定经分割的X射线投影图像120中的两个或更多个投影子

区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸之前缩放X射线投影图像120。这减少了来自诸如对象尺寸的差和投影X射线成像系统的视场的差的因对姿态度量的影响。因此,在一个示例中,生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量的操作包括缩放X射线投影图像120,并且从缩放的X射线投影图像确定两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸。

[0071] 在该示例中,可以基于X射线投影图像120中的区域的测量值来缩放X射线投影图像120的区域。替代地,可以基于X射线投影图像120中的距离的测量值来缩放X射线投影图像120的区域。X射线投影图像的区域可以基于X射线投影图像120中的区域关于参考区域的测量值来缩放。例如,参考区域可以被定义为具有已知姿态的骨骼的一部分的投影区域。类似地,可以基于X射线投影图像120中的距离关于参考距离的测量值来缩放X射线投影图像120的区域。例如,参考距离可以被定义为骨骼的长度,或者沿其长度在预定位置的骨骼的宽度。

[0072] 在另一示例中,X射线投影图像120中的解剖结构130被配准到表示解剖结构130的解剖图谱图像,以提供X射线投影图像的缩放因子,并且使用缩放因子缩放X射线投影图像120的区域。

[0073] 在另一种方法中,将X射线投影图像输入到神经网络中,并且使用针对姿态度量的基础真值来训练神经网络以生成姿态度量,基础真值是基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸而估算的。在该方法中,姿态度量同样可以表示:投影X射线成像系统140关于解剖结构130的姿态P,和/或投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性,和/或用于调整投影X射线成像系统姿态P以采集表示解剖结构130的后续X射线投影图像的反馈。

[0074] 在该方法中,生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量的操作包括:

[0075] 将表示经分割的X射线投影图像的经分割的图像数据输入第二神经网络NN2;以及

[0076] 响应于所述输入,使用所述第二神经网络NN2生成所述姿态度量;以及

[0077] 其中使用X射线投影图像训练数据来训练第二神经网络NN2以从经分割的图像数据生成姿态度量,X射线投影图像训练数据包括表示解剖结构130的多个经分割的X射线投影图像以及针对姿态度量的对应基础真值,针对姿态度量的基础真值是基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸而估算的。

[0078] 参考图8描述该方法,图8是示出根据本公开的一些方面的提供X射线投影图像的姿态度量的方法的示例的示意图,并且其中包括X射线投影图像的X射线投影数据110被输入到第一神经网络NN1中以便分割X射线投影图像,并且其中表示经分割的图像的经分割的图像数据被输入到第二神经网络NN2中以便生成针对X射线投影图像的姿态度量。

[0079] 参考图8,在该方法中,将表示经分割的X射线投影图像的经分割的图像数据输入到第二神经网络NN2中。在图8所示的示例中,通过将X射线投影数据110输入到第一神经网络NN1中来获得经分割的图像数据。训练第一神经网络NN1以分割表示解剖结构130的X射线投影图像。如上所述,可用于在操作S120中对X射线投影图像进行分割的神经网络的示例在Kronke, S.等人的文献“CNN-based pose estimation for assessing quality of ankle-joint X-ray image”Proc.SPIE 12032,Medical imaging 2022:Image processing, 120321A(2022)中公开。神经网络NN1可以由各种架构提供,包括例如卷积神经网络“CNN”、基于编码器-解码器的模型、基于递归神经网络“RNN”的模型和具有对抗训练“GAN”的生成

模型。应注意,例如如上文所描述的,代替使用神经网络(即,NN1)来获得经分割的图像数据,可使用分割算法来获得经分割的图像数据,基于模型的分割、基于分水岭的分割、区域生长、水平集或图形切割。

[0080] 然后将经分割的图像数据输入到第二神经网络NN2中。第二神经网络NN2可以由各种不同的架构提供,包括例如CNN、ResNet、U-Net和编码器-解码器架构。

[0081] 使用X射线投影图像训练数据训练第二神经网络NN2以从经分割的图像数据生成姿态度量。X射线投影图像训练数据包括表示解剖结构130的多个经分割的X射线投影图像以及姿态度量的对应基础真值。X射线投影图像训练数据可以包括表示解剖结构130的几十个、几百个或几千个甚至更多个经分割的X射线投影图像。X射线投影图像训练数据可以包括来自具有各种年龄、身体质量指数“BMI”值、不同性别和不同病理的对象的数据。训练数据中使用的经分割的X射线投影图像可以通过分割X射线投影图像获得。分割可以由专家手动执行,或者使用诸如上述的各种分割算法来执行。基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来估算姿态度量的基础真值。就这一点而言,可使用上述图像处理技术来计算相对尺寸,并且该相对尺寸可用于确定以下中的一者或多者的值:投影X射线成像系统140关于解剖结构130的姿态P、投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性、以及用于调整投影X射线成像系统姿态P以便采集表示解剖结构130的后续X射线投影图像的反馈。可以使用上述技术来计算姿态度量。在训练期间,将姿态度量的基础真值以及可选地还有用于导出姿态度量的经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸输入到神经网络中。

[0082] 神经网络的训练涉及将训练数据集输入到神经网络中,并且迭代地调整神经网络的参数,直到经训练的神经网络提供准确的输出。通常使用图形处理单元“GPU”或专用神经处理器(诸如神经处理单元“NPU”或张量处理单元“TPU”)来执行训练。训练通常采用集中式方法,其中基于云或基于大型机的神经处理器用于训练神经网络。在利用训练数据集进行训练之后,可以将经训练的神经网络部署到用于在推理期间分析新输入数据的设备。推理期间的处理需求显著小于训练期间所需的处理需求,从而允许神经网络被部署到各种系统,诸如膝上型计算机、平板电脑、移动电话等。推断可以例如由中央处理单元“CPU”、GPU、NPU、TPU在服务器上或在云中执行。

[0083] 因此,上述训练神经网络NN2的过程包括调整其参数。参数、或更具体地权重和偏差、控制神经网络中的激活函数的操作。在监督学习中,训练过程自动调整权重和偏差,使得当呈现输入数据时,神经网络准确地提供对应的预期输出数据。为此,基于预测输出数据与预期输出数据之间的差来计算损失函数或误差的值。可以使用诸如负对数似然损失、平均绝对误差(或L1范数)、均方误差、均方根误差(或L2范数)、Huber损失或(二进制)交叉熵损失的函数来计算损失函数的值。在训练期间,损失函数的值通常被最小化,并且当损失函数的值满足停止标准时终止训练。有时,当损失函数的值满足多个标准中的一个或多个时,终止训练。

[0084] 已知用于解决损失最小化问题的各种方法,诸如梯度下降、准牛顿方法等。已经开发了各种算法来实现这些方法及其变体,包括但不限于随机梯度下降“SGD”、批量梯度下降、小批量梯度下降、高斯-牛顿、Levenberg Marquardt、Momentum、Adam、Nadam、Adagrad、Adadelat、RMSProp和Adamex“优化器”。这些算法使用链式法则计算损失韩漱关于模型参数

的导数。该过程被称为反向传播,因为导数从最后一层或输出层开始计算,朝向第一层或输入层移动。这些导数通知算法必须如何调整模型参数以便最小化误差函数。也就是说,从输出层开始并且在网络中反向地工作直到到达输入层为止,对模型参数进行调整。在第一训练迭代中,初始权重和偏差通常是随机的。神经网络然后预测输出数据,其同样是随机的。然后使用反向传播来调整权重和偏差。通过在每次迭代中对权重和偏差进行调整来迭代地执行训练过程。当预测输出数据与预期输出数据之间的误差或差异在针对训练数据或一些验证数据的可接受范围内时,终止训练。随后,可以部署神经网络,并且经训练的神经网络使用其参数的经训练的值来对新输入数据进行预测。如果训练过程成功,则经训练的神经网络从新输入数据准确地预测预期输出数据。

[0085] 如上所述,在一个示例中,姿态度量表示投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像的适合性。在该示例中,通过以下方式训练第二神经网络NN2以从经分割的X射线投影图像生成姿态度量:

[0086] 接收X射线投影图像训练数据;

[0087] 将所述X射线投影图像训练数据输入所述第二神经网络NN2;

[0088] 对于多个经分割的X射线投影图像中的每一个:

[0089] 使用第二神经网络NN2预测姿态度量的值;

[0090] 基于姿态度量的预测值与姿态度量的真值之间的差,调整第二神经网络NN2的参数;以及

[0091] 重复所述预测和所述调整,直到满足停止标准。

[0092] 这些操作可以根据上述反向传播技术来执行。在该示例中,可以基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来自动地或由专家审查者手动地评估姿态度量的基础真值,即适合性。还可以基于一个或多个附加标准来确定姿态度量的基础真值。

[0093] 如上所述,在另一示例中,姿态度量表示用于调整投影X射线成像系统姿态P的反馈,以便采集表示解剖结构130的后续X射线投影图像。在该示例中,姿态度量的基础真值包括用于调整投影X射线成像系统的姿态的一个或多个姿态调整,以便采集表示具有关于解剖结构的目标姿态的解剖结构的X射线投影图像。通过以下方式训练第二神经网络以从经分割的X射线投影图像生成姿态度量:

[0094] 接收X射线投影图像训练数据;

[0095] 将所述X射线投影图像训练数据输入所述第二神经网络;以及

[0096] 对于多个经分割的X射线投影图像中的每一个:

[0097] 使用第二神经网络预测姿态度量的值,姿态度量的值包括用于调整投影X射线成像系统的姿态的一个或多个姿态调整,以便采集表示具有关于解剖结构的目标姿态的解剖结构的X射线投影图像;

[0098] 基于姿态度量的预测值与姿态度量的真值之间的差,调整第二神经网络的参数;以及

[0099] 重复所述预测和所述调整,直到满足停止标准。

[0100] 这些操作可以根据上述反向传播技术来执行。在该示例中,可以基于经分割的X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸自动地或由专家审查者手动地确定

姿态度量的基础真值,即反馈。还可以基于一个或多个附加标准来确定姿态度量的基础真值。因此,给定投影子区域的实际尺寸,计算如何调整当前姿态以采集表示解剖结构130的后续X射线投影图像,其中投影子区域的相对尺寸在针对解剖区域的预定范围内。可以为后续X射线投影图像设置预定范围,使得所得X射线投影图像提供优选的或临床上可接受的图像。

[0101] 在另一示例中,上面参考图2描述的方法还包括生成第二姿态度量的值。第二姿态度量的值用于调节姿态度量的值。在该示例中,上面参考图2描述的姿态度和第二姿态度量两者表示投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性。然而,基于X射线投影图像或经分割的X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸来评估第二姿态度量。第二姿态度量基于与上面关于图1描述的姿态度量不同的标准来评估,并且能够用于超驰由姿态度量提供的评估。

[0102] 在该示例中,姿态度量表示X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性,并且参考图1描述的方法包括:

[0103] 基于X射线投影图像120中的两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 的尺寸来计算针对X射线投影图像120的第二姿态度量的值,第二姿态度量的值表示X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性;

[0104] 并且其中生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量是进一步基于第二姿态度量的值的。

[0105] 在该示例中,第二姿态度量的值用于调节第一姿态度量的值。就这一点而言,如果第二姿态度量的值指示X射线成像系统姿态P确实适合于基于X射线投影图像120中的两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 的尺寸来采集X射线投影图像120,则在操作S140中输出的姿态度量从“不适合”调节为“适合”。因此,如果第二姿态度量的值指示姿态适合于X射线投影图像,则其超驰对姿态度量的原始评估。

[0106] X射线投影图像120中的两个骨骼之间的间隙的示例是图5所示的X射线投影图像120中的胫骨和距骨之间的间隙 $150_3$ 。间隙 $150_3$ 的尺寸可以被计算为该间隙的面积或距离测量值。如上所述,可以以与投影子区域 $150_{1..m}$ 的尺寸类似的方式计算该间隙的尺寸。

[0107] 可以使用与上面针对姿态度量描述的方法类似的方法来计算第二姿态度量的值。因此,在一种方法中,使用图像处理技术来计算X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸。替代地,在下面更详细描述的另一方法中,训练神经网络以从X射线投影数据生成第二姿态度量的值。

[0108] 在图像处理方法中,图像处理技术可用于计算X射线投影图像120中的两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 的尺寸。可以以各种方式基于该尺寸来计算第二姿态度量的值。通常,较大的尺寸值对应于X射线投影图像的较高水平的姿态适合性。因此,在一个示例中,尺寸可以直接用作第二姿态度量的模拟值。在另一示例中,尺寸可以基于一个或多个阈值被数字化,并且用于生成针对第二姿态度量的值的离散类别。在该示例中,离散类别对应于不同的适合性水平。

[0109] 如上所述,在另一种方法中,训练神经网络以从X射线投影数据生成第二姿态度量的值。在该方法中,计算第二姿态度量的值的操作包括:

[0110] 将表示X射线投影图像120的X射线投影数据或经分割的X射线投影图像输入到第

三神经网络NN3中;以及

[0111] 响应于所述输入,使用第三神经网络NN3生成第二姿态度量的值;以及

[0112] 其中使用X射线投影图像训练数据以及针对第二姿态度量的对应基础真值来训练第三神经网络NN3以从X射线投影数据生成第二姿态度量的值,X射线投影图像训练数据包括表示解剖结构130的多个X射线投影图像或经分割的X射线投影图像,第二姿态度量的基础真值是基于X射线投影图像或经分割的X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸来估算的。

[0113] 参考图8的下部,在该示例中,表示X射线投影图像120或经分割的X射线投影图像的X射线投影数据被输入到第三神经网络NN3中,如图8中的虚线所示。如上所述,可以使用神经网络NN1或替代地使用各种分割算法来生成经分割的X射线投影图像。

[0114] 第三神经网络NN3可以由各种架构提供,包括例如卷积神经网络“CNN”、ResNet、U-Net和编码器-解码器架构。可出于此目的训练的神经网络的实例揭示于Mairhofer,D.等人的文献“An AI-based Framework for Diagnostic Quality Assessment of Ankle Radiographs”,Proceedings of Machine Learning Research 143:484-496,2021中。

[0115] 使用X射线投影图像训练数据训练第三神经网络NN3以从X射线投影数据生成第二姿态度量。X射线投影图像训练数据包括表示解剖结构130的多个X射线投影图像或经分割的X射线投影图像,以及针对第二姿态度量的对应基础真值。X射线投影图像训练数据可以包括表示解剖结构130的几十个、几百个或几千个或更多个经分割的X射线投影图像。X射线投影图像训练数据可以包括来自具有各种年龄、身体质量指数“BMI”值、不同性别和不同病理的对象的数据。基于X射线投影图像或经分割的X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸来估算针对第二姿态度量的基础真值。通过使用上述图像处理确定X射线投影图像中或经分割的X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸来估算针对第二姿态度量的基础真值。就这一点而言,计算间隙的尺寸并将其用于确定X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性的值。可以使用上述技术为(经分割的)X射线投影图像计算第二姿态度量。因此,尺寸可以直接用作第二姿态度量的模拟值,或者尺寸可以基于一个或多个阈值被数字化并且用于生成第二姿态度量的值的离散类别。在训练期间,将姿态度量的基础真值以及可选地还将用于导出姿态度量的经分割X射线投影图像中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸输入到第三神经网络NN3中。

[0116] 在该示例中,通过以下方式训练第三神经网络NN3以从X射线投影数据生成第二姿态度量的值:

[0117] 接收X射线投影图像训练数据;

[0118] 将所述X射线投影图像训练数据输入所述第三网络NN3;

[0119] 对于多个X射线投影图像或经分割的X射线投影图像中的每一个:

[0120] 使用第三神经网络NN3预测第二姿态度量的值;

[0121] 基于所述第二姿态度量的预测值与所述第二姿态度量的真值之间的差,调整所述第三神经网络NN3的参数;

[0122] 重复所述预测和所述调整,直到满足停止标准。

[0123] 这些操作可以根据上述反向传播技术来执行。

[0124] 在另一示例中,提供了一种计算机程序产品。所述计算机程序产品包括指令,所述

指令在由一个或多个处理器执行时使所述一个或多个处理器执行提供针对X射线投影图像的姿态信息的方法。该方法包括：

[0125] 接收S110 X射线投影数据110, X射线投影数据包括表示解剖结构130的X射线投影图像120, X射线投影数据由具有关于解剖结构130的对应姿态P的投影X射线成像系统140采集;

[0126] 分割S120 X射线投影图像120以识别解剖结构130的多个投影子区域 $150_{1..m}$ ;

[0127] 基于经分割的X射线投影图像120中的两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸来生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量;以及

[0128] 输出S140姿态度量以提供针对X射线投影图像120的姿态信息

[0129] 在另一示例中, 提供了用于提供针对X射线投影图像的姿态信息的系统200。该系统包括一个或多个处理器210, 其被配置为:

[0130] 接收S110 X射线投影数据110, X射线投影数据包括表示解剖结构130的X射线投影图像120, X射线投影数据由具有关于解剖结构130的对应姿态P的投影X射线成像系统140采集;

[0131] 分割S120 X射线投影图像120以识别解剖结构130的多个投影子区域 $150_{1..m}$ ;

[0132] 基于经分割的X射线投影图像120中的两个或更多个投影子区域 $150_{1..m}$ 的相对尺寸来生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量;以及

[0133] 输出S140姿态度量以提供针对X射线投影图像120的姿态信息

[0134] 图3中示出了系统200的示例。注意, 系统200还可以包括以下中的一个或多个: 用于生成X射线投影数据110的投影X射线成像系统140; 用户接口设备(图3中未示出), 其用于接收与由一个或多个处理器210执行的操作相关的用户输入, 诸如键盘、鼠标、触摸屏等; 病床(图3中未示出); 以及监视器(图3中未示出), 其用于显示X射线投影图像120、输出的姿态度量以及与由一个或多个处理器210执行的操作相关的其他数据。

[0135] 在上述示例中, 生成第二姿态度量的值, 并且使用第二姿态度量的值来调节姿态度量的值。在该示例中, 第二姿态度量表示投影X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性, 并且基于X射线投影图像或经分割的X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸来估算第二姿态度量。第二姿态度量被描述为用于超驰由姿态度量提供的评估。在又一示例中, 第二姿态度量可以简单地被输出, 而不是用于调节姿态度量的值。在下文描述的该示例中, 第二姿态度量被简单地引用为姿态度量。在该示例中, 提供针对X射线投影图像的姿态信息的计算机实现的方法包括:

[0136] 接收S110 X射线投影数据110, X射线投影数据包括表示解剖结构130的X射线投影图像120, X射线投影数据由具有关于解剖结构130的对应姿态P的投影X射线成像系统140采集;

[0137] 分割S120 X射线投影图像120以识别解剖结构130的多个投影子区域 $150_{1..m}$ ;

[0138] 生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量, 姿态度量的值表示X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性, 并且其中姿态度量的值基于投影子区域 $150_{1..m}$ 中的一个或多个投影子区域的尺寸来生成, 包括:

[0139] X射线投影图像120中两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 的尺寸, 和/或

[0140] 至少部分地由X射线投影图像 $150_1$ 、 $150_2$ 中的多个骨骼之间的交点定义的投影子区

域的尺寸;和/或

[0141] 至少部分地由两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 与X射线投影图像120中的另一骨骼之间的交点定义的投影子区域的尺寸;以及

[0142] 输出S140姿态度量以提供针对X射线投影图像120的姿态信息。

[0143] 此实例可以与上文针对第二姿态度量所描述的不同方式实施。因此,根据该示例的X射线投影图像120中的两个骨骼之间的间隙的示例是图5所示的X射线投影图像120中的胫骨和距骨之间的间隙 $150_3$ 。间隙 $150_3$ 的尺寸可以被计算为间隙的面积或距离测量值。可以与如上所述的投影子区域 $150_{1..m}$ 的尺寸类似的方式计算间隙的尺寸。在一个示例中,通过测量沿着间隙的一部分的多个位置处的骨骼之间的间隔来估算X射线投影图像120中的两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 的尺寸,并且基于沿着间隙的一部分的骨骼之间的间隔的变化来生成针对X射线投影图像120的姿态度量。可以使用各种度量来测量沿着间隙的骨骼之间的间隔的变化,包括例如通过评估沿着间隙的一部分的骨骼之间的间隔的方差或标准偏差。可以以这种方式测量的这种间隙的示例是图5所示的X射线投影图像120中的胫骨和距骨之间的间隙 $150_3$ 。指示沿间隙的一部分的骨骼之间的测量的间隔中的相对较高程度的均匀性(例如,相对较低的方差)的变化值可以与用于采集X射线投影图像120的合适的X射线成像系统姿态P相关联,而指示沿间隙的一部分的骨骼之间的测量的间隔中的相对较低程度的均匀性(例如,相对较高的方差)的变化值可以与用于采集X射线投影图像120的不合适的X射线成像系统姿态P相关联。例如,该示例可以用于确定踝部的前-后“AP”图像的姿态度量。

[0144] 类似地,可以基于经分割的X射线投影图像120中的投影子区域的尺寸来生成姿态度量的值,投影子区域 $150_{1..m}$ 至少部分地由X射线投影图像 $150_1$ 、 $150_2$ 中的多个骨骼之间的交点或由两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 与X射线投影图像120中的另一骨骼之间的交点与上述相同的方式定义。

[0145] 可以使用与上述方法类似的方法来计算姿态度量的值。因此,在一种方法中,使用图像处理技术来计算X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸。替代地,在另一种方法中,训练神经网络以从X射线投影数据生成姿态度量的值。在图像处理方法中,图像处理技术可用于计算X射线投影图像120中的两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 的尺寸。可以以各种方式基于该尺寸来计算姿态度量的值。通常,较大的尺寸值对应于姿态对于X射线投影图像的较高水平的适合性。因此,在一个示例中,尺寸可以直接用作姿态度量的模拟值。在另一示例中,尺寸可以基于一个或多个阈值被数字化,并且用于生成姿态度量的值的离散类别。在该示例中,离散类别对应于不同水平的适合性。如上所述,在另一种方法中,训练神经网络以从X射线投影数据生成姿态度量的值。在该方法中,计算姿态度量的值的操作包括:

[0146] 将表示X射线投影图像120的X射线投影数据或经分割的X射线投影图像输入到第三神经网络NN3中;以及

[0147] 响应于所述输入,使用第三神经网络NN3生成姿态度量的值;以及

[0148] 其中使用X射线投影图像训练数据训练第三神经网络NN3以从X射线投影数据生成姿态度量的值,X射线投影图像训练数据包括表示解剖结构130的多个X射线投影图像或经分割的X射线投影图像,以及姿态度量的对应基础真值,姿态度量的基础真值基于X射线投影图像或经分割的X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸来估算。

[0149] 在该示例中,通过以下方式训练第三神经网络NN3以从X射线投影数据生成姿态度

量的值:

[0150] 接收X射线投影图像训练数据;

[0151] 将所述X射线投影图像训练数据输入所述第三网络NN3;

[0152] 对于多个X射线投影图像或经分割的X射线投影图像中的每一个:

[0153] 使用第三神经网络NN3预测姿态度量的值;

[0154] 基于姿态度量的预测值与姿态度量的真值之间的差,调整第三神经网络NN3的参数;以及

[0155] 重复所述预测和所述调整,直到满足停止标准。

[0156] 这些操作可以根据上述反向传播技术来执行。

[0157] 根据该示例还提供了对应的计算机程序产品和对应的系统。

[0158] 所述计算机程序产品包括指令,所述指令在由一个或多个处理器执行时使所述一个或多个处理器执行提供针对X射线投影图像的姿态信息的方法。该方法包括:

[0159] 接收S110 X射线投影数据110,X射线投影数据包括表示解剖结构130的X射线投影图像120,X射线投影数据由具有关于解剖结构130的对应姿态P的投影X射线成像系统140采集;

[0160] 分割S120 X射线投影图像120以识别解剖结构130的多个投影子区域 $150_{1..m}$ ;

[0161] 生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量,姿态度量的值表示X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性,并且其中姿态度量的值基于投影子区域 $150_{1..m}$ 中的一个或多个投影子区域的尺寸来生成,包括:

[0162] X射线投影图像120中两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 的尺寸,和/或

[0163] 至少部分地由X射线投影图像 $150_1$ 、 $150_2$ 中的多个骨骼之间的交点定义的投影子区域的尺寸;和/或

[0164] 至少部分地由两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 与X射线投影图像120中的另一骨骼之间的交点定义的投影子区域的尺寸;以及

[0165] 输出S140姿态度量以提供针对X射线投影图像120的姿态信息

[0166] 相应的系统包括一个或多个处理器,被配置为:

[0167] 接收S110 X射线投影数据110,X射线投影数据包括表示解剖结构130的X射线投影图像120,X射线投影数据由具有关于解剖结构130的对应姿态P的投影X射线成像系统140采集;

[0168] 分割S120 X射线投影图像120以识别解剖结构130的多个投影子区域 $150_{1..m}$ ;

[0169] 生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量,姿态度量的值表示X射线成像系统姿态P对于采集X射线投影图像120的适合性,并且其中姿态度量的值基于投影子区域 $150_{1..m}$ 中的一个或多个投影子区域的尺寸生成,包括:

[0170] X射线投影图像120中两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 的尺寸,和/或

[0171] 至少部分地由X射线投影图像 $150_1$ 、 $150_2$ 中的多个骨骼之间的交点定义的投影子区域的尺寸;和/或

[0172] 至少部分地由两个骨骼之间的间隙 $150_3$ 与X射线投影图像120中的另一骨骼之间的交点定义的投影子区域的尺寸;以及

[0173] 输出S140姿态度量以提供针对X射线投影图像120的姿态信息

[0174] 在相关示例中,使用间隙 $150_3$ 的尺寸的归一化值来执行生成S130针对X射线投影图像120的姿态度量的操作。间隙 $150_3$ 的尺寸的归一化值通过如下计算:

[0175] i) 基于X射线投影图像中的解剖特征的尺寸缩放间隙 $150_3$ 或投影子区域的尺寸,或

[0176] ii) 将X射线投影图像120中的解剖结构配准到表示解剖结构130的解剖图谱图像,以提供X射线投影图像的缩放因子,使用缩放因子缩放X射线投影图像120的区域以提供经缩放的X射线投影图像,并且测量经缩放的X射线投影图像中的间隙 $150_3$ 的尺寸或投影子区域的尺寸。

[0177] 在该示例中,用于生成间隙的尺寸的归一化值的解剖特征可以例如是骨的维度,诸如骨的长度或骨的宽度。备选地,可以使用解剖图谱图像。归一化为投影图像中用于确定姿态的各特征的尺寸的差提供补偿,并且因此提供更可靠的姿态度量。

[0178] 下面提供本公开的示例的枚举列表。

[0179] 示例1:一种提供针对X射线投影图像的姿态信息的计算机实现的方法,所述方法包括:

[0180] 接收(S110)X射线投影数据(110),所述X射线投影数据包括表示解剖结构(130)的X射线投影图像(120),所述X射线投影数据由关于所述解剖结构(130)具有对应姿态(P)的投影X射线成像系统(140)采集;

[0181] 分割(S120)所述X射线投影图像(120)以识别所述解剖结构(130)的多个投影子区域( $150_{1..m}$ );

[0182] 基于经分割的X射线投影图像(120)中的所述投影子区域( $150_{1..m}$ )中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来生成(S130)针对所述X射线投影图像(120)的姿态度量;以及

[0183] 输出(S140)所述姿态度量以提供针对所述X射线投影图像(120)的所述姿态信息。

[0184] 示例2:根据示例1的计算机实现的方法,其中,解剖结构(130)的投影子区域( $150_{1..m}$ )表示以下中的一个或多个:骨骼的一部分( $150_{1..2}$ 、 $150_{4..6}$ ),以及两个骨骼之间的空间( $150_3$ )。

[0185] 示例3:根据示例1或示例2的计算机实现的方法,其中,解剖结构(130)包括多个骨骼,并且其中,两个或更多个投影子区域中的至少一个投影子区域至少部分地由以下定义:

[0186] X射线投影图像( $150_{1..6}$ )中的至少一个骨骼的一部分的边界;和/或

[0187] X射线投影图像( $150_1, 150_2$ )中的多个骨骼之间的交点;和/或

[0188] 两个骨骼之间的空间( $150_3$ )与X射线投影图像(120)中的另一骨骼之间的交点。

[0189] 示例4:根据示例1-3中任一项的计算机实现的方法,其中,分割(S120)X射线投影图像(120)以识别解剖结构(130)的多个投影子区域( $150_{1..m}$ )包括:

[0190] 对接收的X射线投影数据(110)应用分割算法;或

[0191] 将接收的X射线投影数据(110)输入到第一神经网络(NN1)中;并且其中,训练第一神经网络(NN1)以分割表示解剖结构(130)的X射线投影图像。

[0192] 示例5:根据示例1的计算机实现的方法,其中,姿态度量表示投影X射线成像系统(140)关于解剖结构(130)的姿态(P),和/或其中,姿态度量表示投影X射线成像系统姿态(P)对于采集X射线投影图像(120)的适合性,和/或其中,姿态度量表示用于调整投影X射线成像系统姿态(P)以便采集表示解剖结构(130)的后续X射线投影图像的反馈。

[0193] 示例6:根据任何先前示例的计算机实现的方法,其中,姿态度量表示投影X射线成像系统姿态(P)对于采集X射线投影图像(120)的适合性;以及

[0194] 其中,生成(S130)针对X射线投影图像(120)的姿态度量包括将两个或更多个投影子区域( $150_{1..m}$ )的相对尺寸与至少一个阈值进行比较。

[0195] 示例7:根据任一前述示例的计算机实现的方法,其中,所述方法还包括:

[0196] 识别一个或多个解剖标志( $160_{1..n}$ )在X射线投影图像(120)中的位置;以及

[0197] 其中,生成(S130)针对X射线投影图像(120)的姿态度量进一步基于一个或多个解剖标志( $160_{1..n}$ )的识别的位置。

[0198] 示例8:根据示例7的计算机实现的方法,其中,所述方法包括识别多个解剖标志( $160_{1..n}$ )在所述X射线投影图像中的位置(120);并且其中,所述方法还包括:

[0199] 测量多个解剖标志( $160_{1..n}$ )的位置之间的一个或多个距离( $170_{i..j}$ );和/或

[0200] 测量由多个解剖标志定义的一个或多个轨迹的角度;和/或

[0201] 将多个解剖标志( $160_{1..n}$ )的位置映射到参考图像中的多个对应标志;

[0202] 并且其中,生成(S130)针对X射线投影图像(120)的姿态度量进一步基于测量的一个或多个距离( $170_{i..j}$ )和/或一个或多个轨迹的测量的角度和/或多个解剖标志( $160_{1..n}$ )关于参考图像中的对应标志的映射的位置。

[0203] 示例9:根据任何先前示例的计算机实现的方法,其中,生成(S130)针对X射线投影图像(120)的姿态度量包括缩放X射线投影图像(120);以及

[0204] 其中,从经缩放的X射线投影图像确定投影子区域( $150_{1..m}$ )中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸。

[0205] 示例10:根据示例9的计算机实现的方法,其中,缩放X射线投影图像包括:

[0206] 基于X射线投影图像(120)中的区域的测量值来缩放X射线投影图像的区域;或者

[0207] 基于X射线投影图像(120)中的距离的测量值来缩放X射线投影图像(120)的区域。

[0208] 示例11:根据示例1的计算机实现的方法,其中,生成(S130)针对X射线投影图像(120)的姿态度量包括:

[0209] 将表示经分割的X射线投影图像的经分割的图像数据输入第二神经网络(NN2);以及

[0210] 响应于所述输入,使用所述第二神经网络(NN2)生成所述姿态度量;以及

[0211] 其中使用X射线投影图像训练数据训练第二神经网络(NN2)以从经分割的图像数据生成姿态度量,X射线投影图像训练数据包括表示解剖结构的多个经分割的X射线投影图像(130)和针对姿态度量的对应基础真值,针对姿态度量的基础真值基于经分割的X射线投影图像中的投影子区域中的两个或更多个投影子区域的相对尺寸来估算。

[0212] 示例12:根据示例11的计算机实现的方法,其中,所述姿态度量表示所述投影X射线成像系统姿态(P)对于采集所述X射线投影图像的适合性,并且其中通过以下方式所述第二神经网络(NN2)被训练以从经分割的X射线投影图像生成所述姿态度量:

[0213] 接收X射线投影图像训练数据;

[0214] 将所述X射线投影图像训练数据输入所述第二神经网络NN2;并且

[0215] 对于多个经分割的X射线投影图像中的每一个:

[0216] 使用第二神经网络(NN2)预测姿态度量的值;

[0217] 基于姿态度量的预测值与姿态度量的基础真值之间的差,调整第二神经网络(NN2)的参数;以及

[0218] 重复所述预测和所述调整,直到满足停止标准。

[0219] 示例13:根据示例11的计算机实现的方法,其中,姿态度量表示用于调整投影X射线成像系统姿态(P)以便采集表示解剖结构的后续X射线投影图像的反馈(130),并且其中,姿态度量的基础真值包括用于调整投影X射线成像系统的姿态以便利用关于解剖结构的目标姿态采集表示解剖结构的X射线投影图像的一个或多个姿态调整;以及

[0220] 其中,通过以下方式训练第二神经网络以从经分割的X射线投影图像生成姿态度量:

[0221] 接收X射线投影图像训练数据;

[0222] 将所述X射线投影图像训练数据输入所述第二神经网络;并且对于多个经分割的X射线投影图像中的每一个:

[0223] 使用第二神经网络预测姿态度量的值,姿态度量的值包括用于调整投影X射线成像系统的姿态以便利用关于解剖结构的目标姿态采集表示解剖结构的X射线投影图像的一个或多个姿态调整;

[0224] 基于姿态度量的预测值与姿态度量的基础真值之间的差,调整第二神经网络的参数;以及

[0225] 重复所述预测和所述调整,直到满足停止标准。

[0226] 示例14:根据示例1的计算机实现的方法,其中,所述姿态度量表示所述X射线成像系统姿态(P)对于采集所述X射线投影图像(120)的适合性,并且其中所述方法还包括:

[0227] 基于X射线投影图像(120)中的两个骨骼之间的间隙(150<sub>3</sub>)的尺寸来计算针对X射线投影图像(120)的第二姿态度量的值,第二姿态度量的值表示X射线成像系统姿态(P)对于采集X射线投影图像(120)的适合性;

[0228] 并且其中生成(S130)针对X射线投影图像(120)的姿态度量进一步基于第二姿态度量的值。

[0229] 示例15:根据示例14的计算机实现的方法,其中,计算第二姿态度量的值包括:

[0230] 将表示X射线投影图像(120)的X射线投影数据或经分割的X射线投影图像输入到第三神经网络(NN3)中;以及

[0231] 响应于所述输入,使用第三神经网络(NN3)生成第二姿态度量的值;以及

[0232] 其中使用X射线投影图像训练数据训练第三神经网络(NN3)以从X射线投影数据生成第二姿态度量的值,X射线投影图像训练数据包括表示解剖结构(130)的多个X射线投影图像或经分割的X射线投影图像,以及针对第二姿态度量的对应基础真值,针对第二姿态度量的基础真值基于X射线投影图像或经分割的X射线投影图像中的两个骨骼之间的间隙的尺寸来估算。

[0233] 以上示例应被理解为示出说明本公开,而不是限制性的。还设想了其他示例。例如,关于计算机实现的方法描述的示例也可以由计算机程序产品或由计算机可读存储介质或由X射线成像系统以对应的方式提供。应当理解,关于任何一个示例描述的特征可以单独使用,或者与其他描述的特征组合使用,并且可以与另一个示例的一个或多个特征组合使用,或者与其他示例的组合组合使用。此外,在不脱离在所附权利要求中限定的本发明的范

围的情况下,也可以采用上面未描述的等同物和改型。在权利要求中,词语“包括”不排除其他元素或操作,并且不定冠词“一”或“一个”不排除多个。在相互不同的从属权利要求中记载某些特征的事实不指示这些特征的组合不能被有利地使用。权利要求中的任何附图标记不应被解释为限制其范围。

120



图1

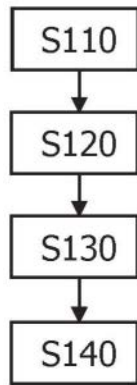


图2

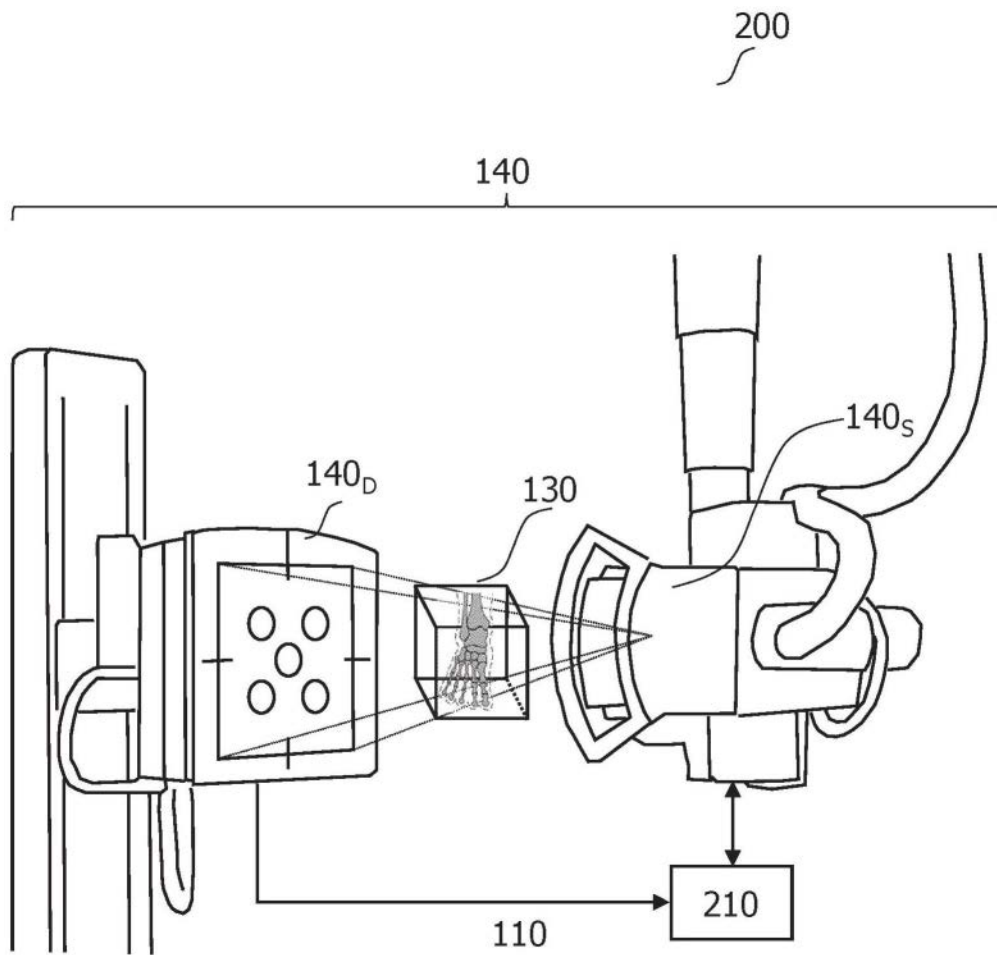


图3

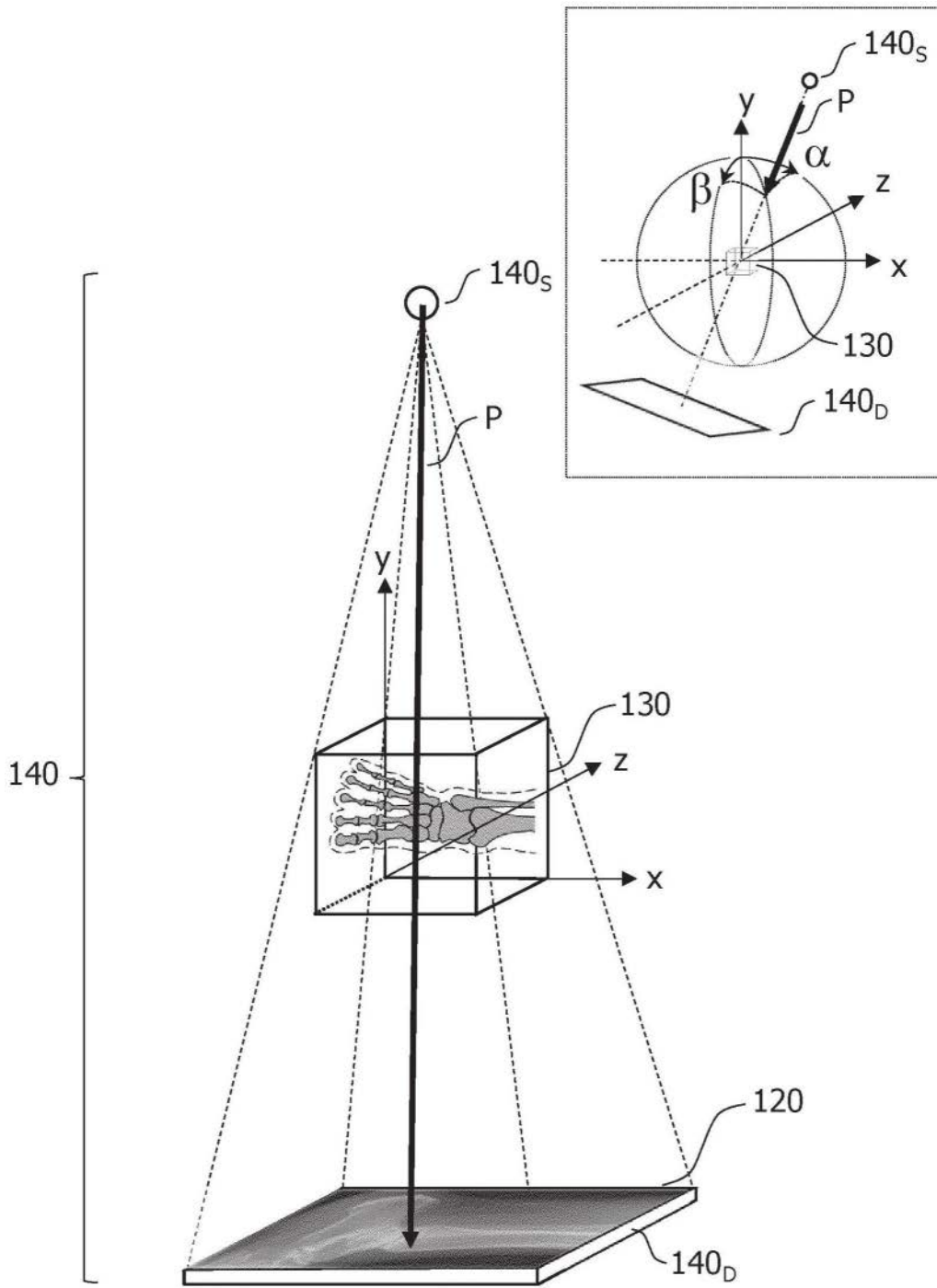


图4

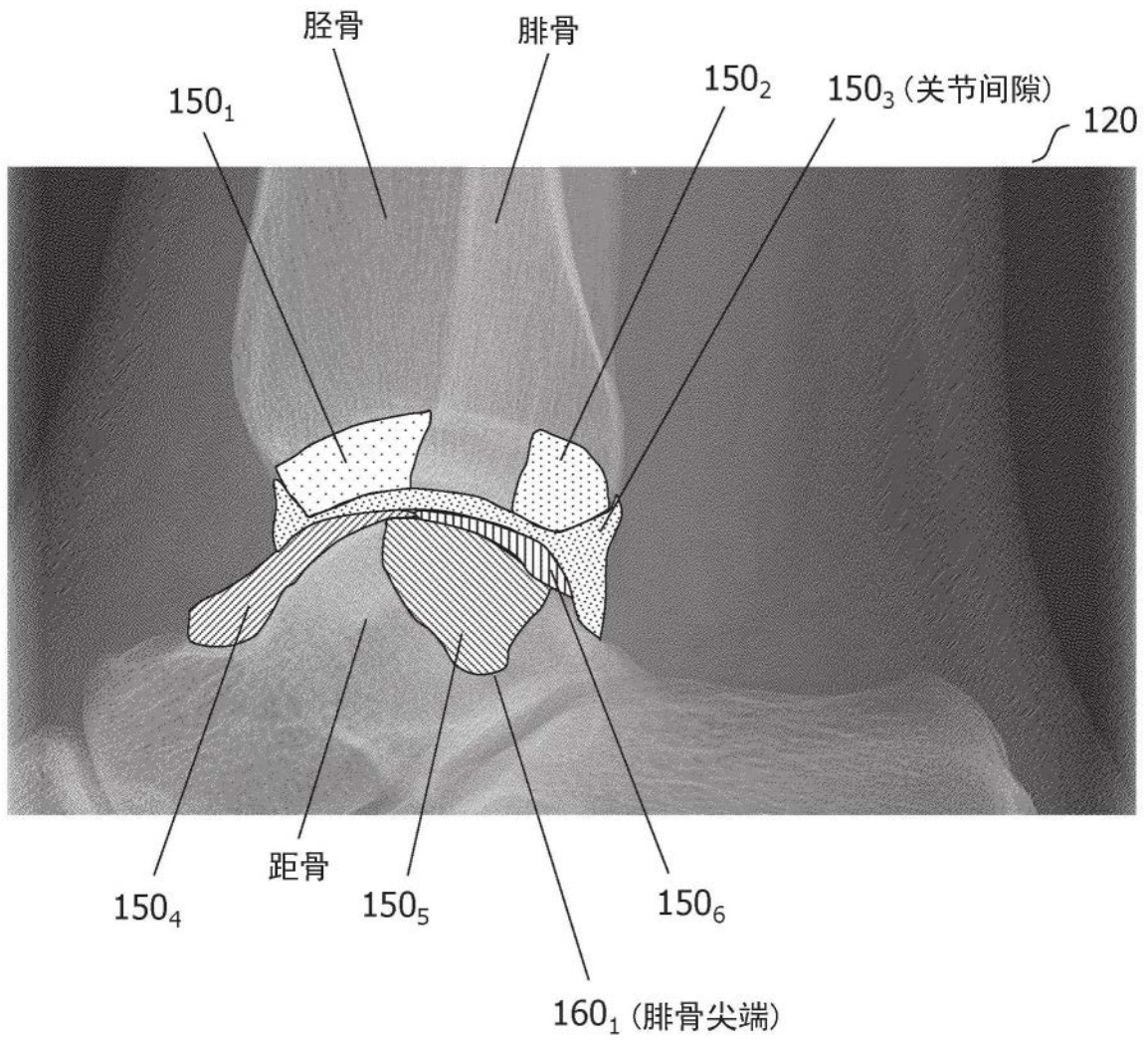


图5

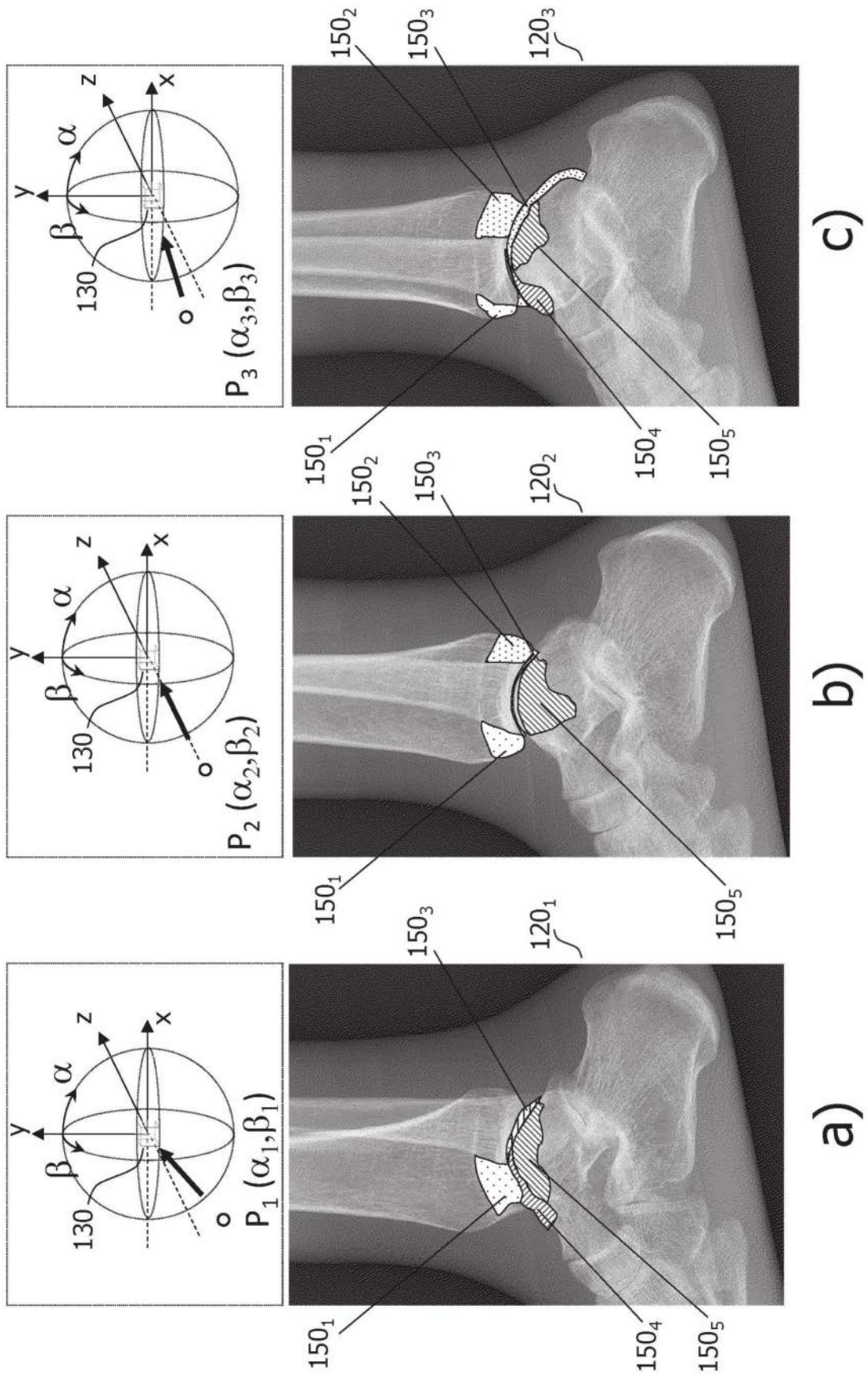


图6

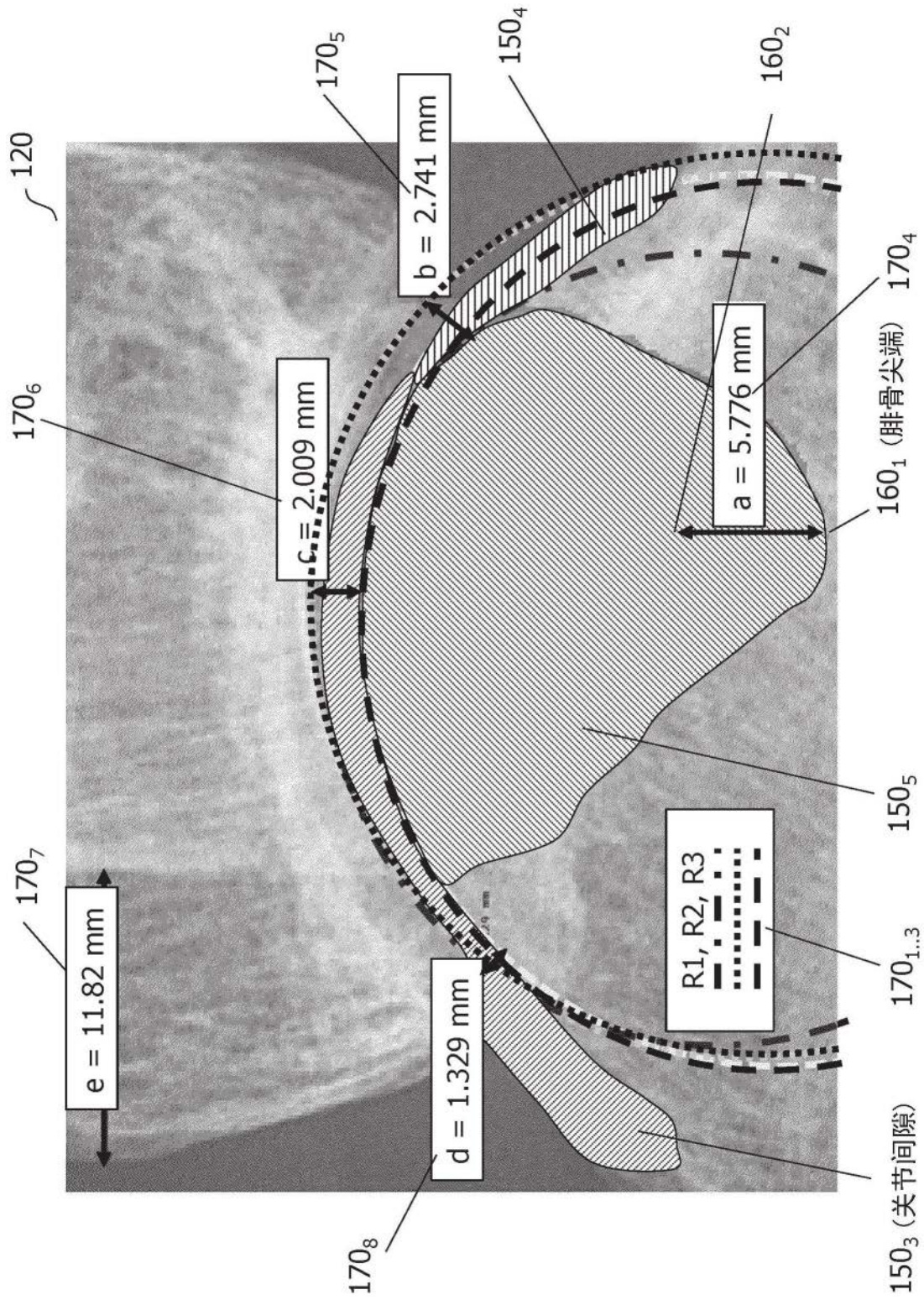


图7

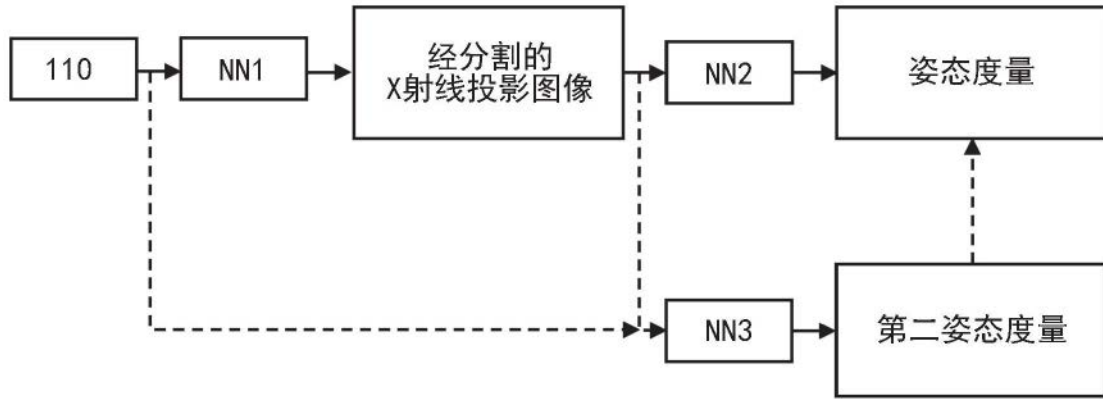


图8