



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110868913 B

(45) 授权公告日 2023.02.10

(21) 申请号 201880045456.6

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限公司 11219

(22) 申请日 2018.06.26

专利代理人 梁晓广 李金刚

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110868913 A

(51) Int.CI.

A61B 5/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.03.06

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

15/643,646 2017.07.07 US

CN 106572831 A, 2017.04.19

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.01.07

CN 106037979 A, 2016.10.26

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2018/054713 2018.06.26

CN 106228549 A, 2016.12.14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/008468 EN 2019.01.10

CN 102858266 A, 2013.01.02

(73) 专利权人 3M创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

CN 105919684 A, 2016.09.07

(72) 发明人 亚历山大·R·坎利夫

古鲁普拉萨德·索马孙达拉姆

CN 101536000 A, 2009.09.16

本杰明·D·西默

CN 104780822 A, 2015.07.15

史蒂文·D·拉斯塔维奇

CN 101940503 A, 2011.01.12

彼得·西伊 凯利·L·斯坦

CN 103445877 A, 2013.12.18

(续)

审查员 黄萌萌

权利要求书2页 说明书7页 附图4页

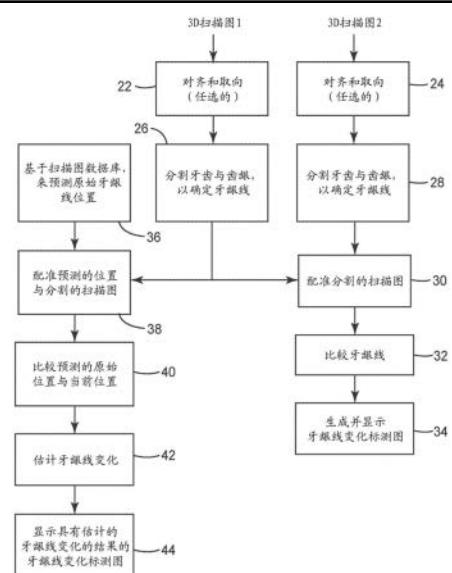
(54) 发明名称

利用口内3D扫描图跟踪牙龈线并且显示牙周测量结果的工具

(57) 摘要

本发明公开了通过比较在不同时间获得的牙齿和齿龈的数字3D模型来跟踪牙龈线变化的方法。分割该数字3D模型，以数字地识别牙齿与齿龈，并且比较该分割的数字3D模型，以通过确定它们之间的与牙龈线相关的差异来检测牙龈线变化。还能够通过比较该数字3D模型中的一个与具有牙龈线的预测原始位置的3D模型来估计牙龈线变化。牙龈线变化标测图能够被显示，以示出通过变化的跟踪或估计而确定的牙龈线变化。该数字3D模型还能够被显示为具有设置在其上的牙周测量结果。

CN 110868913 B



[转续页]

[接上页]

(56) 对比文件

US 2009208897 A1, 2009.08.20	US 2007168152 A1, 2007.07.19
US 2016220173 A1, 2016.08.04	US 2005244794 A1, 2005.11.03
JP 2005199084 A, 2005.07.28	US 6514074 B1, 2003.02.04
US 2005048432 A1, 2005.03.03	范然等.计算机辅助牙齿隐形正畸系统.《计算机辅助设计与图形学学报》.2013, (第01期),

1. 一种用于跟踪牙龈线变化的方法,包括以下步骤:

接收牙齿和齿龈的第一数字3D模型和第二数字3D模型,其中所述第一数字3D模型是在第一时间获得的,并且所述第二数字3D模型是在晚于所述第一时间的第二时间获得的;

分割所述第一数字3D模型和第二数字3D模型,以数字地识别所述牙齿与所述齿龈,并且生成分割齿龈的第一数字3D模型和分割齿龈的第二数字3D模型;

使所述第一数字3D模型中的包括有牙齿边界的至少一部分与第二数字3D模型相关联;

比较所述分割齿龈的第一数字3D模型和分割齿龈的第二数字3D模型,以通过确定所述分割齿龈的第一数字3D模型与所述分割齿龈的第二数字3D模型之间的差异来检测牙龈线变化,其中所述差异与所述牙龈线相关;以及

在所述第一数字3D模型和第二数字3D模型中的一个上显示所述牙龈线变化的指示。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中显示步骤包括显示牙龈线变化标测图。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述显示步骤包括显示第一线和显示第二线,所述第一线示出所述第一数字3D模型中的所述牙龈线的位置,所述第二线示出所述第二数字3D模型中的所述牙龈线的位置。

4. 根据权利要求2所述的方法,其中所述显示步骤包括显示阴影,所述阴影示出所述第一数字3D模型和第二数字3D模型中的所述牙龈线的位置的差异。

5. 根据权利要求2所述的方法,其中所述显示步骤包括显示区域,所述区域示出所述第一数字3D模型和第二数字3D模型中的所述牙龈线的位置的差异。

6. 一种用于显示牙周测量结果的方法,包括以下步骤:

接收牙齿和齿龈的第一数字3D模型和第二数字3D模型,其中所述第一数字3D模型是在第一时间获得的,并且所述第二数字3D模型是在晚于所述第一时间的第二时间获得的;

分割所述第一数字3D模型和第二数字3D模型,以数字地识别所述牙齿与所述齿龈,并且生成分割齿龈的第一数字3D模型和分割齿龈的第二数字3D模型;

识别牙龈线的中心点与侧边点;

接收与所述第一数字3D模型或第二数字3D模型相关的牙周测量结果;以及

显示设置在所述第一数字3D模型或第二数字3D模型上的所述牙周测量结果,

其中将所述牙周测量结果的标识符直接设置在所述中心点或侧边点位置处或设置在偏离这些位置的位置处。

7. 一种用于估计牙龈线变化的方法,包括以下步骤:

接收牙齿和齿龈的数字3D模型;

分割所述数字3D模型,以数字地识别所述牙齿与所述齿龈,并且生成分割齿龈的数字3D模型;

预测所述数字3D模型中的所述牙龈线的原始位置,以获得具有预测的原始位置的数字3D模型;以及

比较所述分割齿龈的数字3D模型与所述具有预测的原始位置的数字3D模型,以估计所述牙齿和齿龈的数字3D模型中的牙龈线变化。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中比较步骤包括配准所述分割齿龈的数字3D模型与所述具有预测的原始位置的数字3D模型。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中预测步骤包括:基于与牙齿和齿龈的数字3D模型对

应的患者的特性,来从牙齿和齿龈的已知数字模型中选择牙齿和齿龈的数字模型。

10.根据权利要求7所述的方法,还包括显示牙龈线变化标测图,所述牙龈线变化标测图提供估计的牙龈线变化的视觉指示。

## 利用口内3D扫描图跟踪牙龈线并且显示牙周测量结果的工具

### 背景技术

[0001] 牙周健康为患者全身健康的重要贡献因素,并且在常规牙科检查期间被定性和定量地跟踪。牙周跟踪的改进通过口内扫描仪,并且具体地通过该技术产生的牙列的3D计算模型来实现。数字3D印模既提供牙齿和牙龈的显示,又提供定量测量结果,该定量测量结果可与先前的测量结果或与标准进行比较,以指示可需要干预的牙周健康问题。

### 发明内容

[0002] 根据本发明的用于跟踪牙龈线变化的方法包括接收在不同时间获得的牙齿和牙龈的第一和第二数字3D模型。分割第一和第二数字3D模型,以数字地识别牙齿与齿龈,并生成分割齿龈的第一和第二数字3D模型,并且比较分割的第一和第二数字3D模型,以通过确定这些数字3D模型之间的差异来检测牙龈线变化,其中该差异与牙龈线相关。该方法还包括显示牙龈线变化的指示。

[0003] 根据本发明的用于显示牙周测量结果的方法包括接收在不同时间获得的牙齿和牙龈的第一和第二数字3D模型。分割第一和第二数字3D模型,以数字地识别牙齿与齿龈,并且生成分割齿龈的第一和第二数字3D模型。该方法还包括接收与第一或第二数字3D模型相关的牙周测量结果,并且显示设置在第一或第二数字3D模型上的牙周测量结果。

[0004] 根据本发明的用于估计牙龈线变化的方法包括接收牙齿和齿龈的数字3D模型,以及分割数字3D模型,以数字地识别牙齿与齿龈,并且生成分割齿龈的数字3D模型。该方法还包括预测数字3D模型中的牙龈线的原始位置,以获得具有预测的原始位置的数字3D模型,以及比较分割齿龈的数字3D模型与具有预测的原始位置的数字3D模型,以估计牙龈线变化。

### 附图说明

[0005] 附图被结合到本说明书中且构成本说明书的一部分,并且附图与描述一起解释本发明的优点和原理。在附图中,

[0006] 图1为利用基于口内3D扫描图或3D印模扫描图的数字3D模型来检测牙龈线变化的系统的图示;

[0007] 图2示出了从口内扫描图得到的牙齿和齿龈的3D模型;

[0008] 图3为利用3D扫描图跟踪牙龈线并且估计牙龈线变化的方法的流程图;

[0009] 图4为用于在3D扫描图上显示牙周测量结果的方法的流程图;

[0010] 图5为示出3D扫描图上的牙周测量结果的图像;

[0011] 图6和图7为示出作为改变图像之间的位置的效果的牙龈线变化或退缩的图像;

[0012] 图8为示出被显示为叠加在3D扫描图上的两条线的牙龈线变化或退缩的图像;并且

[0013] 图9为示出被显示为位于两次牙龈线分割之间的区域的牙龈线变化或退缩的图像。

## 具体实施方式

[0014] 使用数字3D模型在牙科市场变得越来越流行。这些模型可以在活体内通过口内扫描仪获得,或通过传统印模的激光扫描离线获得。数字3D模型可用于各种临床任务(包括诊断辅助中的治疗规划),例如以跟踪牙龈线变化。

[0015] 图1为利用基于口内3D扫描图的数字3D模型来跟踪牙龈线并且估计牙龈线变化的系统10的图示。系统10包括处理器20,该处理器接收牙齿(12)的来自口内3D牙齿扫描图或牙齿印模扫描图的数字3D模型。系统10还可包括电子显示装置16(诸如液晶显示器(LCD)装置)以及用于接收用户命令或其他信息的输入装置18。从扫描图得到的患者牙齿和齿龈的数字3D模型的示例示于图2中。在美国专利7,956,862和7,605,817中公开了基于来自多个视图的图像集来生成数字3D图像或模型的系统,这两个专利都如同全文陈述一样以引用方式并入本文。这些系统可利用口内扫描仪来从牙齿或其他口内结构的多个视图中获得数字图像,并且处理这些数字图像,以生成表示扫描的牙齿和齿龈的数字3D模型。系统10可以用例如台式电脑、笔记本电脑或平板电脑来实现。系统10可通过网络从本地或从远程接收3D扫描图。

[0016] 本文所介绍的3D扫描图用三角形网格表示。三角形网格是3D表面的常见表示方式,并且具有两个分量。第一分量称作网格的顶点,其仅仅是表面(即,点云)上已重新构建的3D点的坐标。第二分量(即网格面)对物体上的点之间的关联进行编码,并且是一种在连续表面上的离散样品点之间进行插值的有效方式。每个面是由三个顶点限定的三角形,从而得到可以由一组小三角形平面贴片表示的表面。

[0017] 图3为利用3D扫描图跟踪牙龈线并且估计牙龈线变化的方法的流程图。图3的流程图中的方法可在软件或固件模块中实现,例如用于由处理器20执行,或者另选地可在硬件模块或者软件和硬件的组合中实现。该方法包括接收患者的牙齿和齿龈的第一3D扫描图(3D扫描图1),任选地对齐并取向3D扫描图1(步骤22),以及在3D扫描图1中分割牙齿与齿龈,以确定牙龈线(步骤26)。该方法还包括接收同一患者的牙齿和齿龈的第二3D扫描图(3D扫描图2),任选地对齐并取向3D扫描图2(步骤24),以及在3D扫描图2中分割牙齿与齿龈,以确定牙龈线(步骤28)。在该方法中,3D扫描图2在不同于3D扫描图1的时间(通常在稍晚时间)获得。来自不同时间的仅两个3D扫描图被列出,以用于示例性目的。该方法可用于处理在特定时间段内的不同时间获得的多个3D扫描图。例如,每当患者到牙科诊所就诊时,就可扫描患者的牙齿和齿龈,并且可通过该方法处理随时间变化的这些3D扫描图。该方法也可用于比较不同患者之间或单个患者之间的3D扫描图与一个或多个典型的牙齿和齿龈的患者模型。

[0018] 该方法通过配准分割齿龈的3D扫描图1与分割齿龈的3D扫描图2来处理3D扫描图(步骤30)。使用分割齿龈的3D扫描图的该配准来比较牙龈线(步骤32)并且产生牙龈线变化标测图(步骤34)。取代使用配准算法,可通过其他方式比较3D扫描图。

[0019] 取代或除了比较人牙齿和齿龈的扫描图,该方法还可预测牙龈线变化。基于扫描图的数据库,来预测原始牙龈线位置(步骤36)。为了实现这一点,可访问和使用3D牙齿和齿龈模型的大数据库,其中数据库内的每个扫描图中的牙龈线位置为已知的。可基于相应患者的特性,来选择得自数据库的模型。鉴于此数据库,可由规范化原始牙龈线位置形成总体通用数学模型。鉴于此数据库和从其获得的数学模型,可预测当前扫描图中的原始牙龈线

位置。存在若干用于执行此步骤的方法。一种方法如下所示。首先,确定得自数据库的用于当前扫描图的适当模型。然后,计算从模型牙齿和齿龈到当前牙齿和齿龈的映射。可通过使用配准算法来实现这种映射(步骤38)。使用这种映射,将模型牙龈线映射到当前牙齿和齿龈的空间,从而得到牙龈线的原始位置的预测。

[0020] 一旦原始牙龈线位置已被估计,就可将其与实际牙龈线位置进行比较,以便评估牙龈线变化量。然后,必须定位并且比较其中实际模型与预测模型不一致的区域(步骤40)。该比较基于例如原始的预测牙龈线位置与当前的牙龈线位置的间隔度或间隔量,来实现牙龈线变化的估计(步骤42)。可显示具有估计的牙龈线变化的结果的牙龈线变化标测图(步骤44)。

[0021] 用于步骤22和步骤24的任选对齐和取向涉及旋转和平移3D扫描图,以使它们与特定坐标系对齐。例如,在3D坐标系中,3D扫描图可与XZ平面基本上平行对齐,其中牙齿沿Y轴向上指向。3D扫描图可以其他方式进行对齐。对齐和取向3D扫描图可有利于多个扫描图的进一步处理,例如3D扫描图的分割和配准。用于对齐和取向3D扫描图的方法的示例在美国专利申请公布2016/0070821中有所公开,该专利申请公布如同全文陈述一样以引用方式并入本文。在一些情况下,可提供软件界面,以便使用户手动地执行对齐或其一部分。

[0022] 步骤26和步骤28中的分割牙齿与齿龈涉及检测3D扫描图中的牙龈线,以数字地识别牙齿与齿龈之间的边界,由此生成分割齿龈的数字3D模型。用于分割的这种数字识别可包括例如数字地分开牙齿与齿龈,或者利用数字3D模型上的曲线或其他标记来区分牙齿与牙龈。

[0023] 表1提供了用于针对步骤26和步骤28的分割来检测牙龈线的示例性伪码。

表 1-用于牙龈线查找的连通分量算法	
	输入：表示具有牙龈的牙齿的 3D 网格。
	输出：表示仅牙齿的输入 3D 网格的子集。
	方法步骤：
[0024]	1 计算网格的邻接矩阵。
	2 计算网格的每个顶点处的凹度。
	3 通过从原始邻接矩阵在凹度的绝对差值大于特定阈值的位置处移除边缘来产生滤波邻接矩阵。
	4 查找滤波邻接矩阵的连通分量，并且忽略具有少于特定数量的顶点的分量。
	5 通过沿着原始网格重复性地膨胀剩余分量随后重复性地腐蚀剩余分量来清理这些剩余分量。这些分量应包含牙齿或牙龈，但不同时包含这两者。牙齿并且尤其是牙龈可被过分割。
	6 应用方法，以识别表示牙齿的区域。例如，查找原始网格的适当极限 $z$ 值并且选择位于若干毫米内的区域。
	7 将表示牙齿的区域合并成单一网格。

[0025] 图4为用于在3D扫描图(诸如在图3的流程图中引用的扫描图1和扫描图2)上显示牙周测量结果的方法的流程图。如图4所示，该方法接收一个或多个3D扫描图并且通过提取牙齿与齿龈的分割边界来查找牙龈线顶点(步骤50)。随后可使用若干方法中的一种来识别中心点(步骤52)。第一选择为识别牙龈线顶点列表中的中间顶点。第二选择为沿着利用主成分分析导出的主轴重新对齐顶点，然后通过查找斜率改变符号的点(即，零值导数)来查找曲线的峰值。第三选择为使用有关分割牙齿本身的解剖信息来查找中点。此类信息可包括牙齿的上下轴，或对于尖牙、双尖牙或磨牙而言的尖端的位置。

[0026] 该方法识别侧边点(步骤54)，并且侧边点识别也可以若干方式中的一种来进行。一种选择是识别最靠近每个牙齿与其相邻牙齿之间的边界的点。另一种选择为识别沿牙龈线点位于与中心相距给定距离 $d$ 处的点。另选地，可将侧边点识别为与主成分分析(PCA)取向顶点相距给定高度 $h$ 的点。如同中心点，有关分割牙齿的解剖信息也可用于查找侧边点。

[0027] 该方法还包括将牙周测量结果设置在一个或多个3D扫描图上或附近(步骤56)。可将牙周测量结果的标识符直接设置在中心-侧边点位置处或设置在偏离这些位置的位置处。还可显示得自先前就诊的牙周测量结果，以指示就诊之间的牙齿状况的变化。图5为示出设置在3D扫描图或数字3D模型上的牙周测量结果的图像。牙周测量结果的设置可包括但不限于以下步骤：将测量结果覆盖或叠加在扫描图上；在扫描图的并排视图中显示测量结果；以及利用悬停文本在扫描图上显示测量结果。

[0028] 用于步骤30和步骤38的配准涉及通过在两个不同的时间扫描牙齿来获得牙齿和

齿龈的分割的数字3D模型,以及旋转并平移这些模型,以将它们共同对齐,由此用于检测这两个模型中的变化。具体地,配准为对齐或获得最佳拟合旋转和平移的过程,该最佳拟合旋转和平移需要被应用到移动网格,以与固定网格对齐或者被推广到多个网格。

[0029] 在示例性实施方案中,配准可利用迭代最近点 (ICP) 算法来实现表示数字3D模型的网格之间的配准。ICP算法的一种变型包括表2中的步骤。对于该示例性实施方案,配准(参考表2中的步骤)在步骤1中使用全部点,在步骤2中使用欧氏点到平面距离,使用对的等权重并且基于固定的预定阈值拒绝对(步骤3和步骤4),在步骤5中使用平方距离的和作为度量,并且在步骤6中利用奇异值分解 (SVD) 和列文伯格-麦夸特 (levenberg marquart) 方法来实现最小化。

[0030] 任选地,一旦达到最终配准最佳状态,就可验证这种状态是否确实为稳定的最佳状态。这可通过两种可能的方式来进行:第一,通过少量的旋转和平移来扰动最佳状态,以确定其是否收敛回到原始最佳状态,或者是否可达到更好的最佳状态;第二,通过利用不同量的初始旋转和平移来执行ICP算法的随机重新启动,以确定对于每个初值是否达到这些状态中的最佳状态。

表 2-ICP 算法步骤	
1	<p>选择待配准的网格中的点。存在若干方法来选择这些点:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a.选择全部点</li> <li>b.选择随机子样本</li> <li>c.均一子样本</li> <li>d.选择对应于关键特征(诸如曲率和局部协方差)的点</li> </ul>
2	<p>查找匹配(对应)点为其中使用合适的距离度量来为第一网格中的每个点确定第二网格中的最近点的步骤。此步骤也可使用不同的度量来实现:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a.欧氏点到点距离</li> <li>b.点到平面距离或沿法线的距离</li> <li>c.反向校正</li> </ul>

	d.其他组合
3	对的权重对应于将对应性进行分级。这可利用基于距离的一些权重、基于法向相容性的权重或其他因素来完成。
4	除了其他启发法，可利用前一步骤中计算的权重的阈值来完成拒绝对。
5	用于优化的误差度量可被计算为在步骤4之后剩余的对之间的平方距离的和。该距离也可为如同步骤2中的点到平面距离。
6	优化可利用 SVD（奇异值分解）、列文伯格-麦夸特(levengberg marquart)优化、BFGS、随机梯度下降、模拟退火或其他技术来完成。

[0032] 步骤30和步骤38中的配准提供了配准的3D扫描图之间的牙龈线变化的指示,以用于在步骤32和步骤40中比较牙龈线。牙龈线比较可用于生成步骤34的牙龈线变化标测图和步骤44的估计的牙龈线变化标测图,以示出牙龈线变化,该牙龈线变化可被显示为如图6和图7所示的改变网格之间的位置的效果(例如,阴影或线)、或如图8所示的叠加在单一网格上的两条线。首先应用变换矩阵,以使前一扫描图中的牙齿边界与当前扫描图相关联。随后可在当前扫描图上的牙齿边界的位置处插入诸如颜色或阴影之类的效果。任选地,也可在应用变换之前或之后执行牙龈线平滑。

[0033] 从图8所示的输出中,也可通过测量两个分割结果中的对应点之间的距离来实现量牙龈线变化(诸如牙龈线退缩)测量。对应点可利用若干选择中的一个来识别,包括点之间的最小距离(欧氏距离或沿网格的路径长度)、点之间的沿固定方向的距离、或点之间的沿由分割结果中的一个上的切线的法线限定的方向的距离。

[0034] 对应牙龈线点识别还可有利于绘制在第一扫描图与第二扫描图之间产生的渐进变化。这些渐进变化可显示为表示随时间变化的牙龈线变化的一系列图像或视频。首先,执行对应点之间的线性或非线性内插。然后识别每个内插点在网格上的最近点。随后通过连接内插点并任选地执行平滑来形成新的渐进时间点牙龈线绘制。也可应用线性或非线性外插来实现将来可发生的变化的绘制。

[0035] 定量退缩测量结果可用于有利于实现区域中的显著效果(例如,较明显阴影),以显示较极端变化。例如,可根据所测量的牙龈线退缩测量结果的量值来缩放阴影效果的尺寸和暗度。这种可视化技术并不限于牙龈线退缩显示。相反,显著的阴影或对比度效果通常可用于视觉地传递扫描图之间的定量测量变化。

[0036] 牙龈线变化或退缩也可被表示为如图9所示的两个牙龈线分割结果之间的区域。将变换应用于前一扫描图中的全部网格,以使其与当前扫描图相关联。前一扫描图中的每个点在当前扫描图中的最近点被分配前一扫描图中给出的标签。例如以特定颜色显示的表现出退缩的点被识别为在前一扫描图中分配牙龈标签的点和在当前扫描图中分配牙齿标签的点。

[0037] 也可将另外图5中所示的牙周测量结果设置在牙龈线变化标测图上,诸如图6-图9

所示的标测图。

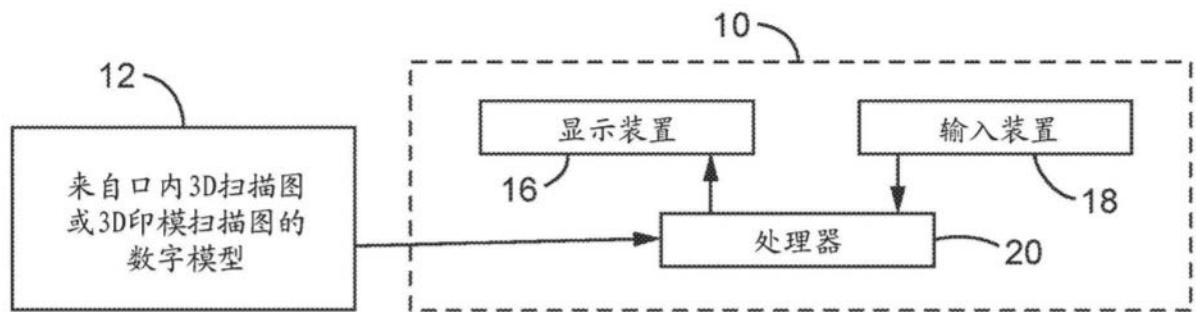


图1

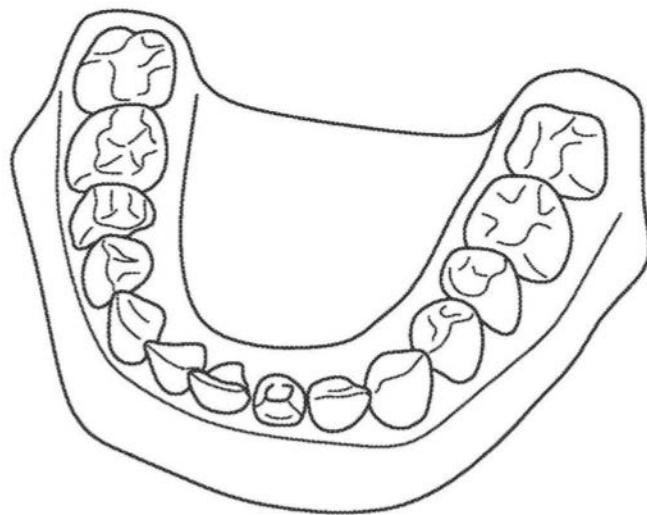


图2

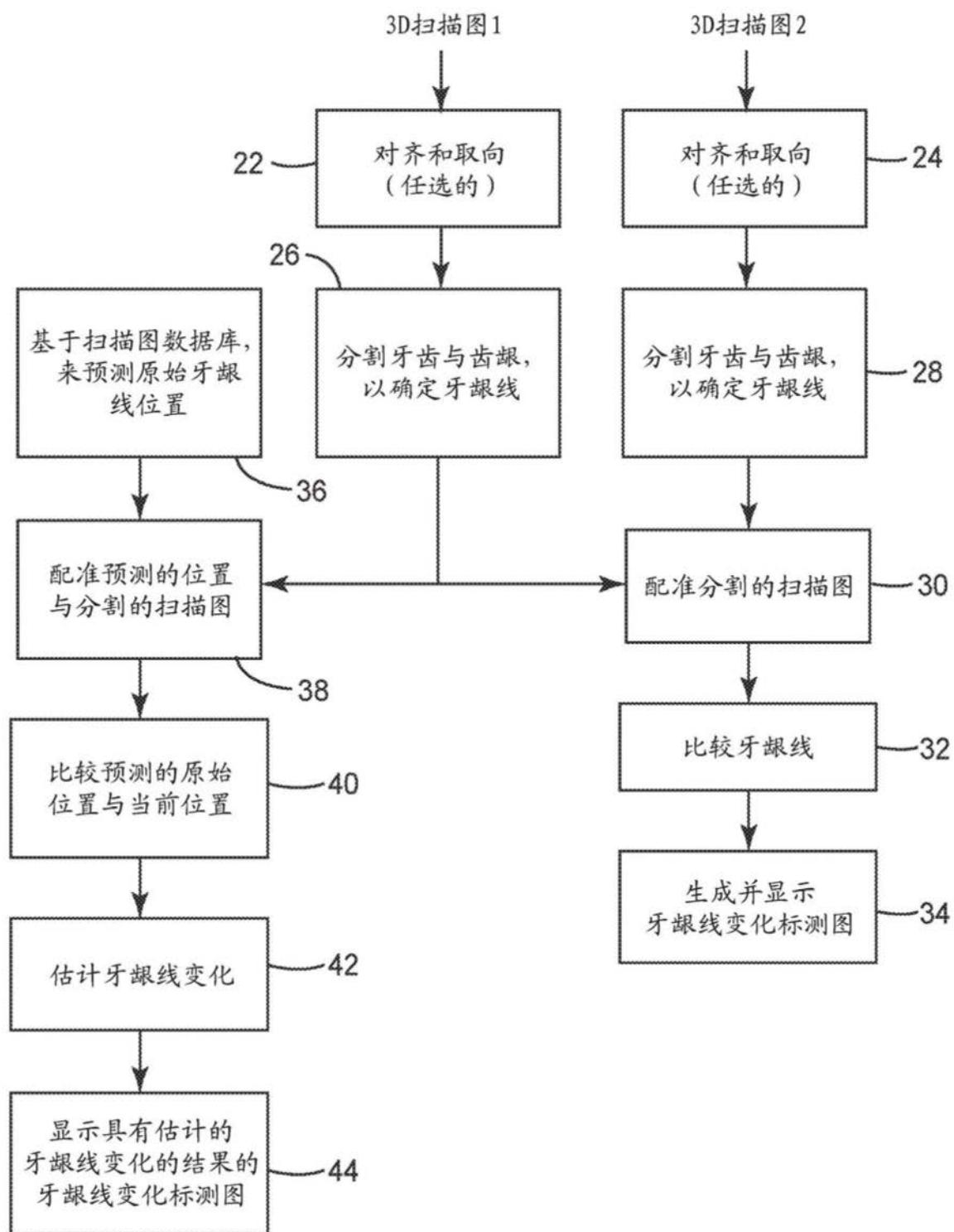


图3

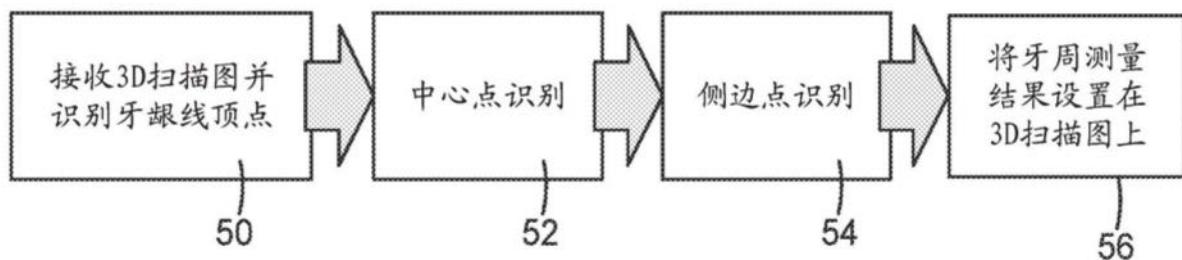


图4

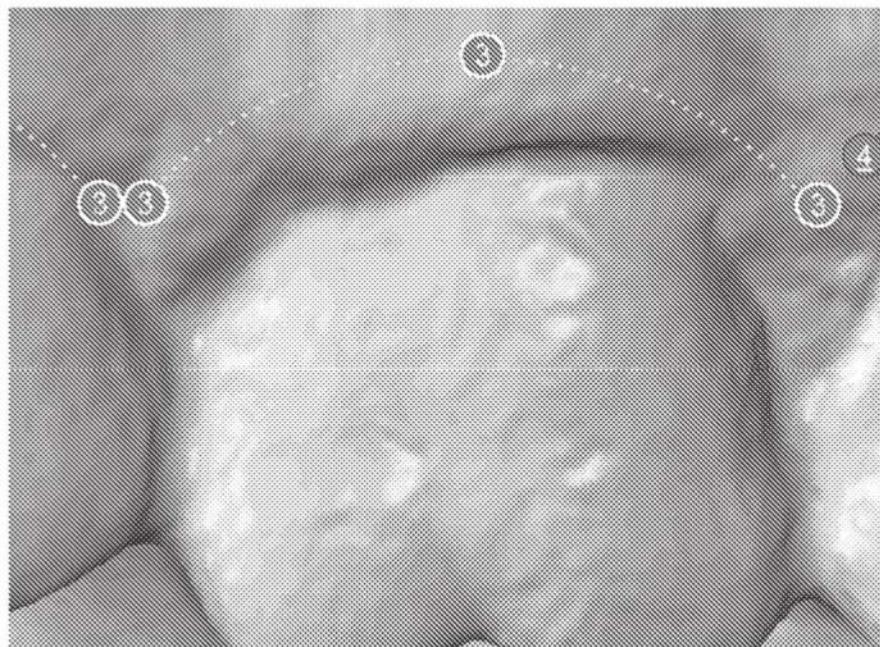


图5

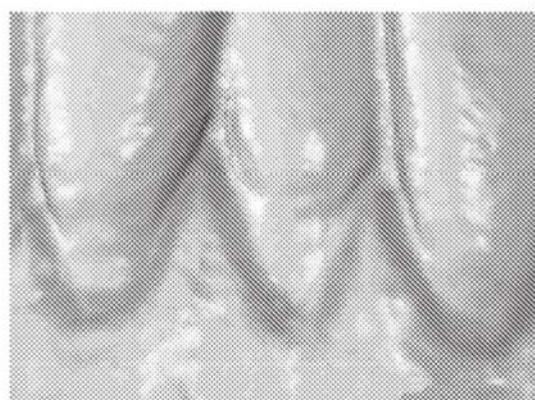


图6

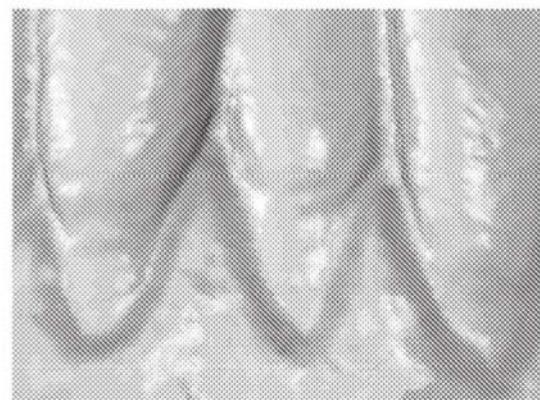


图7

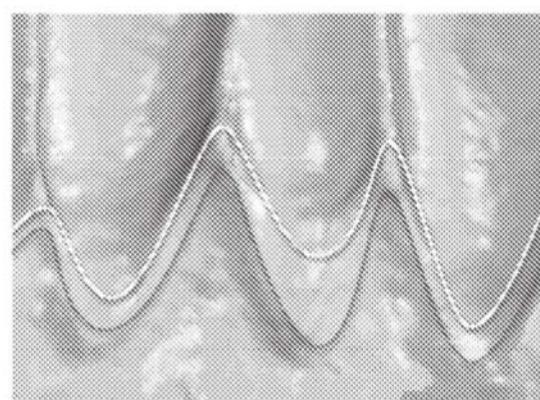


图8

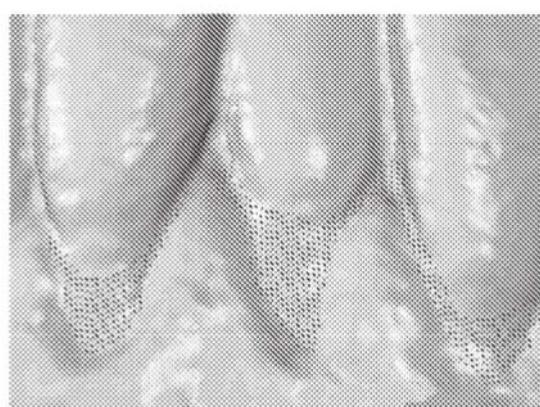


图9