



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102054091 A

(43) 申请公布日 2011. 05. 11

(21) 申请号 201010514481. X

A61C 7/00(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 10. 21

(66) 本国优先权数据

200910198484. 4 2009. 11. 09 CN

(71) 申请人 无锡时代天使医疗器械科技有限公司

地址 214714 江苏省无锡市惠山大道 1619 号 1303 室

(72) 发明人 李忠科 田杰

(74) 专利代理机构 北京万慧达知识产权代理有限公司 11111

代理人 葛强 邬玥

(51) Int. Cl.

G06F 17/50(2006. 01)

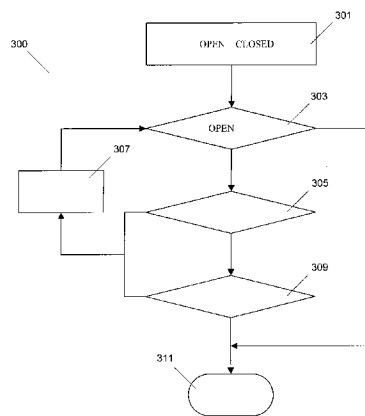
权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图 5 页

(54) 发明名称

制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法

(57) 摘要

一种设计和制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法,其中,设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法包括以下操作:获取一组表示牙齿第一状态的第一数字数据集;提供一组至少一个操作符,每一操作符对应一个操作,当该操作作用于一组代表牙齿状态的数字数据集,将改变该组数字数据集,模拟以一定方式和一定量调整一个牙齿的位置;提供评价函数;以及以状态空间搜索法,利用所述操作符和所述评价函数,基于所述第一数字数据集进行状态空间搜索,获得至少一个排牙方案,其中,每一排牙方案包括至少两个表示阶段牙齿状态的数字数据集以及一个表示目标牙齿状态的数字数据集。该方法具有针对性强、效率高等优点。



1. 一种用于产生代表牙齿状态的数字数据集的方法,其包括:
获取表示牙齿第一状态的第一数字数据集;
提供至少一个操作符,用于改变表示牙齿状态的数字数据集,以模拟牙齿位置的调整;
提供用于牙齿矫正的评价函数;以及
以状态空间搜索法,利用所述操作符和评价函数,基于所述第一数字数据集进行状态空间搜索,获得代表第二牙齿状态的第二数字数据集。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,它还包括:以状态空间搜索法,利用所述操作符和评价函数,基于所述第二数字数据集进行状态空间搜索,获得代表第三牙齿状态的第三数字数据集。
3. 如权利要求 2 所述的方法,其特征在于,它还包括:以状态空间搜索法,利用所述操作符和评价函数,基于所述第三数字数据集进行状态空间搜索,获得代表第四牙齿状态的第四数字数据集,依次类推直至获得代表第 N 牙齿状态的数字数据集,从而获得代表从第一牙齿状态到所述第 N 牙齿状态的第一数字数据集序列,其中,所述第 N 牙齿状态是牙齿矫正的目标状态。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,它还包括:选择需要矫正的牙齿。
5. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,它还包括:为需要矫正的牙齿选择操作符。
6. 如权利要求 5 所述的方法,其特征在于,它还包括:为需要矫正的牙齿设置调整的范围。
7. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,它还包括:为所述操作符设置步进值。
8. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述评价函数包括以下变量中的至少一个:拥挤度、前牙覆盖、前牙覆合、牙弓突度、Spee 曲线曲度、Bolton 指数、牙弓宽度、牙弓对称度、牙齿轴倾度、牙齿转矩以及牙列中线。
9. 如权利要求 6 所述的方法,其特征在于,每一所述变量设有对应的加权系数。
10. 如权利要求 3 所述的方法,其特征在于,它还包括:
产生表示自所述第二牙齿状态起若干个的牙齿状态的数字数据集;
根据用户佩戴根据这些数字数据集制作的牙科器械的具体情况,调整所述状态空间搜索法的相关参数;以及
基于所述用户的最新的牙齿状态,利用所述调整后的状态空间搜索法产生表示后续牙齿状态的数字数据集。
11. 如权利要求 3 所述的方法,其特征在于,它还包括:获得代表从所述牙齿第一状态逐渐过渡到第 N' 状态的一系列离散的牙齿状态的数字数据集序列,其中,第 N' 状态是牙齿矫正的目标状态。
12. 如权利要求 11 所述的方法,其特征在于,它还包括,根据病人具体情况,选择所述第一数字数据集序列和第二数字数据集序列之一。
13. 一种用于产生代表从牙齿第一状态逐渐过渡到第 N 状态的一系列离散的牙齿状态的一系列数字数据集的方法,其包括:
获取表示牙齿第一状态的第一数字数据集;
提供至少一个操作符,用于改变表示牙齿状态的数字数据集,以模拟牙齿位置的调

整；

提供用于牙齿矫正的评价函数；以及

以状态空间搜索法,利用所述操作符和评价函数,基于所述第一数字数据集进行状态空间搜索,获得代表所述从牙齿第一状态逐渐过渡到第 N 状态的一系列离散的牙齿状态的第一数字数据集序列。

14. 如权利要求 13 所述的方法,其中,第 N 状态是牙齿矫正的目标状态。

15. 一种制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法,其包括：

利用如权利要求 3 或 12 或 13 所述的第一或第二数字数据集序列生产对应的一系列牙齿的正模型；以及

在所述一系列牙齿的正模型上形成对应的一系列负模型,获得一组用于调整牙齿位置的牙科器械。

制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法

技术领域

[0001] 本申请是有关口腔正畸领域,特别是有关计算机辅助设计和制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法。

背景技术

[0002] 牙颌畸形矫治的传统固定矫治方法是通过在牙齿上粘接带环、托槽等装置,利用矫正弓丝、弹簧、皮圈等矫正器械进行牙齿矫正,其缺点是美观度、舒适度差,口腔卫生难以维护;临床医生需要较长时间的培训才能逐步掌握该技术,每次复诊医生都要花费大量时间调节矫治器,椅旁操作时间长,矫治过程复杂。相对于传统的托槽矫正器而言,无托槽隐形矫治技术,不需要托槽和弓丝,采用的是一系列隐形矫治器,该种隐形矫治器由安全的弹性透明高分子材料制成,使矫治过程几乎在旁人无察觉中完成,不影响日常生活和社交;同时,没有了粘结托槽、调整弓丝的繁琐,临床操作大大简化,整个矫治过程省时又省力。因此目前无托槽隐形矫治方法为越来越多的人所采用。

[0003] 牙颌畸形无托槽隐形矫治使用隐形矫治器取代托槽对牙颌畸形进行矫正;隐形矫治器是计算机辅助设计技术、快速成型技术和新材料相结合的产物,它是一种透明的、可自行摘戴的矫治器,没有传统矫治所采用的托槽和钢丝;与固定矫治器一样,隐形矫治器也是通过在牙齿上施加适当的、可控制的力来使牙齿移动,施医者可通过计算机模拟矫正过程,并用医用弹性透明高分子材料为每一个过程制作一个矫治器,整个矫治过程就是换用这一系列矫治器,在每次戴用时,牙齿都会有受力的感觉、并向该矫治器设计的位置移动,每过一个周期(比如两周)更换下一副矫治器,牙齿就会从初始的畸形状态逐渐移动至正常排列状态,从而达到矫治效果。

[0004] 隐形矫治器的制作目前有通过手工排牙生成模型后逐个压制、或通过计算机模拟排牙后生成数字模型,通过激光快速成型技术制作。手工排牙是在取得病人牙颌印模并制成石膏模型后,对需要矫治的牙齿进行移位排列,并依照移位后的牙齿排列制成的模型压制隐形矫治器。其缺点是牙齿移动精度不够、生产效率低,难以实现批量定制。目前的计算机模拟排牙方法是先获得最后或者目标牙齿状态,然后根据原始牙齿状态和最后牙齿状态,通过插值法获得多个中间牙齿状态。其缺点是一旦确定最后牙齿状态,中间牙齿状态就已确定,故无法在矫治过程中根据病人的具体情况和/或治疗的具体情况调整矫治方案。因此,需要一种兼具高效和灵活特点的排牙方法。

发明内容

[0005] 本申请的目的之一在于提供一种新的计算机辅助设计和制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法。

[0006] 本申请一方面提供了一种计算机辅助设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法。该方法在手工排牙思路的基础上,利用计算机产生可能的排牙方案,并对其进行遍历,然后通过一定的规则,筛选出最优的排牙方案。在该方法中,筛选出的最优排牙方案可以参考数

数据库中的历史数据以及病人的具体情况产生,相对于手工排牙提高了效率,而相对于现有的计算机辅助排牙方法具有较好的针对性。在一个方面,排牙方案是指牙齿从第一状态到第二状态的过程,其中,在第一状态和第二状态之间还有一个或多个阶段状态。比如排牙方案可以从牙齿的原始状态经过多个阶段状态到达最终状态即完美状态的过程,一个排牙方案中可以包括至少三个牙齿状态。牙齿的阶段状态是指牙齿原始状态与牙齿目标状态之间的牙齿状态。

[0007] 本申请的又一方面提供了一种设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法,其包括以下操作:获取一组表示牙齿第一状态的第一数字数据集;提供一组至少一个操作符,每一操作符对应一个操作,当一个操作作用于一组代表牙齿状态的数字数据集,将改变该组数字数据集,模拟牙齿位置的调整;提供有关牙齿矫正的评价函数;以及以状态空间搜索法,利用所述操作符和所述评价函数,基于所述第一数字数据集进行状态空间搜索,逐步地获得逐次的至少两个表示牙齿阶段状态的数字数据集以及一个表示目标牙齿状态的数字数据集,进而获得至少一个排牙方案,其中,每一排牙方案包括逐次的至少两个表示牙齿阶段状态的数字数据集以及一个表示目标牙齿状态的数字数据集。

[0008] 在一个实施例中,基于表示第一牙齿状态的第一数字数据集,以状态空间搜索法,利用操作符和评价函数,可获得表示在牙齿矫正学上优于该第一牙齿状态的第二牙齿状态的第二数字数据集。

[0009] 在一个实施例中,逐步地获得逐次的至少两个表示牙齿阶段状态的数字数据集以及一个表示目标牙齿状态的数字数据集,其每一数字数据集是基于前一数字数据集而获得。

[0010] 优选的,在一个实施例中,该设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法还包括以下操作:选择要调整位置的牙齿。

[0011] 优选的,在一个实施例中,该设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法还包括以下操作:为需要调整位置的每一颗牙齿选择操作符。

[0012] 优选的,在一个实施例中,该设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法还包括以下操作:为需要调整位置的每一颗牙齿设置调整的范围。

[0013] 优选的,在一个实施例中,该设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法还包括以下操作:为每一所述操作符设置步进值。

[0014] 优选的,在一个实施例中,所述评价函数包括以下变量中的至少一个:拥挤度、前牙覆盖、前牙覆合、牙弓突度、Spee 曲线曲度、Bolton 指数、牙弓宽度、牙弓对称度、牙齿轴倾度、牙齿转矩以及牙列中线。

[0015] 优选的,在一个实施例中,每一所述评价函数的变量设有对应的加权系数。

[0016] 本申请的又一方面提供了一种用于产生代表牙齿状态的数字数据集的方法,其包括:获取表示牙齿第一状态的第一数字数据集;提供至少一个操作符,用于改变表示牙齿状态的数字数据集,以模拟牙齿位置的调整;提供用于牙齿矫正的评价函数;以及以状态空间搜索法,利用所述操作符和评价函数,基于所述第一数字数据集进行状态空间搜索,获得代表第二牙齿状态的数字数据集。

[0017] 在一个实施例中,所述方法还包括:以状态空间搜索法,利用所述操作符和评价函数,基于所述第二数字数据集进行状态空间搜索,获得代表第三牙齿状态的第三数字数据

集。

[0018] 在一个实施例中,所述方法还包括:以状态空间搜索法,利用所述操作符和评价函数,基于所述第三数字数据集进行状态空间搜索,获得代表第四牙齿状态的第四数字数据集,依次类推直至获得代表第 N 牙齿状态的数字数据集,从而获得代表从第一牙齿状态到所述第 N 牙齿状态的第一数字数据集序列。其中,所述第 N 状态是牙齿矫正目标状态。在一些实施例中,所述第 N 状态不是预先确定的,而是基于前一状态,利用状态空间搜索法逐渐获得的。在又一些实施例中,可以预先确定第 N 状态。

[0019] 在一个实施例中,获得代表所述符合牙齿矫正要求的牙齿状态的数字数据集的过程可以分段进行。比如,产生表示自所述第二牙齿状态起若干个的牙齿状态的数字数据集;然后,根据用户佩戴根据这些数字数据集制作的牙科器械的具体情况,调整所述状态空间搜索法的相关参数;再基于所述用户的最新的牙齿状态,利用所述调整后的状态空间搜索法产生表示后续牙齿状态的数字数据集。比如,先产生若干个牙齿矫治器,可根据病人佩戴这些矫治器的具体情况调整所述评价函数或相关参数,再根据病人最新的牙齿状态产生代表后续牙齿状态的数字数据集,从而实现定制化的目的,以更适当地进行治疗。

[0020] 在一个实施例中,可以针对所述评价函数设定参考评价函数值范围,若某一牙齿状态的评价函数值在设定的参考评价函数值范围内,则认为该牙齿状态符合牙齿矫正要求。

[0021] 在一个实施例中,利用所述方法获得代表从所述牙齿第一状态逐渐过渡到符合牙齿矫正要求的第 N 牙齿状态的一系列离散的牙齿状态的第一数字数据集序列,以及代表从所述牙齿第一状态逐渐过渡到符合牙齿矫正要求的第 N' 牙齿状态的一系列离散的牙齿状态的第二数字数据集序列。并根据病人具体情况选择所述第一数字数据集序列和第二数字数据集序列之一作为该病人的牙齿矫正方案。

[0022] 本申请的又一方面提供了一种用于产生代表从牙齿第一状态逐渐过渡到第 N 状态的一系列离散的牙齿状态的一系列数字数据集的方法,其包括:获取表示牙齿第一状态的第一数字数据集;提供至少一个操作符,用于改变表示牙齿状态的数字数据集,以模拟牙齿位置的调整;提供用于牙齿矫正的评价函数;以及以状态空间搜索法,利用所述操作符和评价函数,基于所述第一数字数据集进行状态空间搜索,获得代表所述从牙齿第一状态逐渐过渡到第 N 状态的一系列离散的牙齿状态的第一数字数据集序列。在一个实施例中,该第 N 状态是牙齿矫正的目标状态。

[0023] 本申请的又一方面提供了一种制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法。除了所述设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法的操作外,它还包括以下操作:选择所述第一和第二数字数据集序列之一;根据所选择的数字数据集序列生产对应的一系列的牙齿的正模型;以及在所述一系列的牙齿的正模型上形成对应的一系列的负模型,获得一组用于调整牙齿位置的牙科器械。

[0024] 优选的,在一个实施例中,根据病人的具体情况选择所述第一和第二数字数据集序列之一。

[0025] 在一个实施例中,牙齿的正模型可以包括牙龈、牙槽骨、颌骨、颅骨、面部软组织。

[0026] 本申请的又一方面提供了一计算机可读媒介,该计算机可读媒介上载有一计算机程序,该计算机程序被计算机执行后使计算机执行以下操作:获取一组表示牙齿第一状态

的第一数字数据集 ;提供一组至少一个操作符,每一操作符对应一个操作,当该操作作用于
一组代表牙齿状态的数字数据集,将改变该组数字数据集,模拟以一定方式和一定量调整
一个牙齿的位置 ;提供评价函数 ;以状态空间搜索法,利用所述操作符和所述评价函数,基
于所述第一数字数据集进行状态空间搜索,获得至少一个排牙方案,其中,每一排牙方案包
括至少两个表示阶段牙齿状态的数字数据集以及一个表示目标牙齿状态的数字数据集。

[0027] 优选的,在一个实施例中,所述计算机程序被所述计算机执行后还可使所述计算
机执行以下操作 :接收用户指令,选择要调整位置的牙齿。

[0028] 优选的,在一个实施例中,所述计算机程序被所述计算机执行后还可使所述计算
机执行以下操作 :接收用户指令,为需要调整位置的每一颗牙齿选择操作符。

[0029] 优选的,在一个实施例中,所述计算机程序被所述计算机执行后还可使所述计算
机执行以下操作 :接收用户指令,为需要调整位置的每一颗牙齿设置调整的范围。

[0030] 优选的,在一个实施例中,所述计算机程序被所述计算机执行后还可使所述计算
机执行以下操作 :接收用户指令,为每一所述操作符设置步进值。

[0031] 优选的,在一个实施例中,所述评价函数包括以下变量的至少一个 :拥挤度、前牙
覆盖、前牙覆合、牙弓突度、Spee 曲线曲度、Bolton 指数、牙弓宽度、牙弓对称度、牙齿轴倾
度、牙齿转矩以及牙列中线。

[0032] 优选的,在一个实施例中,每一所述评价函数的变量设有对应的加权系数。

[0033] 本申请的另一方面提供了一用于设计用于调整牙齿位置的牙科器械的计算机系
统,其包括一个中央处理器和一个存储装置,其中,该存储装置上载有计算机程序,该计算
机程序被所述中央处理器执行后使所述计算机系统进行以下操作 :获取一组表示牙齿第
一状态的第一数字数据集 ;提供一组至少一个操作符,每一操作符对应一个操作,当该操作作
用于一组代表牙齿状态的数字数据集,将改变该组数字数据集,模拟以一定方式和一定量
调整一个牙齿的位置 ;提供评价函数 ;以及以状态空间搜索法,利用所述操作符和所述评
价函数,基于所述第一数字数据集进行状态空间搜索,获得至少一个排牙方案,其中,每一
排牙方案包括至少两个表示阶段牙齿状态的数字数据集以及一个表示目标牙齿状态的数
字数据集。

[0034] 优选的,在一个实施例中,所述计算机程序被所述中央处理器执行后还可使所述
计算机执行以下操作 :接收用户指令,选择要调整位置的牙齿。

[0035] 优选的,在一个实施例中,所述计算机程序被所述中央处理器执行后还可使所述
计算机执行以下操作 :接收用户指令,为需要调整位置的每一颗牙齿选择操作符。

[0036] 优选的,在一个实施例中,所述计算机程序被所述中央处理器执行后还可使所述
计算机执行以下操作 :接收用户指令,为需要调整位置的每一颗牙齿设置调整的范围。

[0037] 优选的,在一个实施例中,所述计算机程序被所述中央处理器执行后还可使所述
计算机执行以下操作 :接收用户指令,为每一所述操作符设置步进值。

[0038] 优选的,在一个实施例中,所述评价函数包括以下变量的至少一个 :拥挤度、前牙
覆盖、前牙覆合、牙弓突度、Spee 曲线曲度、Bolton 指数、牙弓宽度、牙弓对称度、牙齿轴倾
度、牙齿转矩以及牙列中线。

[0039] 优选的,在一个实施例中,每一所述评价函数的变量设有对应的加权系数。

[0040] 本申请的另一方面提供了一种设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法,其包括

以下操作：获取表示牙齿第一状态的第一数字数据集；提供至少一个操作符，用以修改表示牙齿状态该的数字数据集，模拟牙齿位置的调整；提供评价函数；以及以状态空间搜索法，利用所述操作符和所述评价函数，基于所述第一数字数据集进行状态空间搜索，获得表示牙齿第二状态的第二数字数据集。

[0041] 进一步的，在一个实施例中，所述设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法还包括以下操作：以状态空间搜索法，利用所述操作符和所述评价函数，基于所述第二数字数据集进行状态空间搜索，获得表示牙齿第三状态的第三数字数据集。

[0042] 进一步的，在一个实施例中，所述设计用于调整牙齿位置的牙科器械的方法还包括以下操作：以状态空间搜索法，利用所述操作符和所述评价函数，利用以上方法逐步地获得表示牙齿目标状态的目标数字数据集。

[0043] 进一步的，在一个实施例中，设计人员可以根据经验和具体情况调整牙齿目标状态。

[0044] 在一个实施例中，牙齿的目标状态可以是阶段性的目标状态。

[0045] 进一步的，在一个实施例中，可以利用所述第二数字数据集及第三数字数据集分别制作出对应的牙齿正模型，然后，分别在這些牙齒正模型上形成牙齒負模型，獲得對應的用於逐漸調整牙齒位置的第二和第三牙科器械。

[0046] 在一个实施例中，在取得了代表病人牙齿初始状态的数字数据集后，对所需矫正的每颗牙齿，将在其可能的移动范围内的各种移动方案组合获得一系列排牙方案。然后利用计算机人工智能的方法，对这一系列的排牙方案进行遍历搜索，并依预设的评价函数对每一个排牙方案进行评价。最后输出一个最优排牙方案，提供给激光快速成型设备用以制作隐形矫正器。

[0047] 在另一个实施例中，在取得了代表病人牙齿初始状态的数字数据集后，根据预设的评价函数，对所需矫正的每颗牙齿在其可能的移动范围内进行空间搜索，获得一个或多个排牙方案，然后由医生或者设计人员根据经验和 / 或具体情况选择一个排牙方案。

[0048] 这一方案的技术难点主要有以下几个：在对象分割阶段，沿测地线的分割具有边缘光滑的优点，但计算量大，运算时间很长，比如即使在确定了每颗牙的移动步进值（例如 0.2mm）的情况下，对其进行上下、左右、前后的平移和旋转就会产生 729 种状态（比如：在上下方向就有 +0.2、0、-0.2 的三个状态， $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3$ 就产生 729 种状态），两颗牙齿的状态组合就会有 531441 种状态（ 729×729 ），多个牙齿移动状态的组合更会引起数据量的几何级倍增，因此在模拟排牙时，由于巨大的状态空间，在搜索过程中存在组合爆炸问题，需要研究提高运行速度的方法；在牙齿虚拟移动中，也需要快速判断是否发生碰撞，并给出定量结果；牙龈的弹性模拟也需要寻找合适的理论基础和高效处理计算方法。

[0049] 具体而言，在碰撞检测上，借用模式识别的有关理论，处理碰撞检测问题，如支持向量机方法或 Fisher 线性判别方法；在提高沿测地线分割速度方面，拟采用先以近似向量法减少搜索范围，再沿测地线分割的策略；在模拟排牙，制订矫正计划时，拟采用人工智能中的启发式搜索技术，实现一定程度的自动生成矫正计划。

[0050] 从理论上讲，正畸治疗过程可以抽象为状态转换过程。本申请的方法是基于状态空间法，它是一种基于解答空间的问题表示和求解方法，以状态和操作符为基础的。在利用状态空间图表示时，从某个初始状态开始，每次加一个操作符，递增地建立起操作符的试

验序列,直到达到目标状态为止。由于状态空间法需要扩展过多的节点,容易出现“组合爆炸”,因而只适用于表示比较简单的问题。

[0051] 所谓状态空间法 (state-space techniques) 是现代控制理论中建立在状态变量描述基础上的对控制系统分析和综合的方法。状态变量是能完全描述系统运动的一组变量。如果系统的外输入为已知,那么由这组变量的现时值就能完全确定系统在未来各时刻的运动状态。通过状态变量描述能建立系统内部状态变量与外部输入变量和输出变量之间的关系。反映状态变量与输入变量间因果关系的数学描述称为状态方程,而输出变量与状态变量和输入变量间的变换关系则由量测方程来描述。状态与状态变量描述的概念早就存在于经典动力学和其他一些领域,但将它系统地应用于控制系统的研究,则是从 1960 年 R. E. 卡尔曼发表《控制系统的一般理论》的论文开始的。状态空间法的引入促成了现代控制理论的建立。

[0052] 状态空间法有很多优点。由于采用矩阵表示,当状态变量、输入变量或输出变量的数目增加时,并不增加系统描述的复杂性。状态空间法是时间域方法,所以很适合于用数字电子计算机来计算。状态空间法能揭示系统内部变量和外部变量间的关系,因而有可能找出过去未被认识的系统的许多重要特性,其中能控性和能观测性尤其具有特别重要的意义。研究表明,从系统的结构角度来看,状态变量描述比经典控制理论中广为应用的输入输出描述(如传递函数)更为全面。

[0053] 状态空间法的运用对现代控制理论中其他各种方法的发展起了重要的推动作用。线性系统代数理论、线性系统几何理论和多变量频域方法,都是在状态空间法的影响下发展起来的。

[0054] 由于现实问题的状态空间往往十分巨大,用解析方法去求取解答经常是不可行的。因此在人工智能领域发展了状态空间搜索技术。状态空间搜索技术就是将问题求解过程表现为从初始状态到目标状态寻找这个路径的过程。通俗来说,就是在解一个问题时,找到一条解题的过程,可以从求解的开始到达问题的结果。我们把状态空间搜索用三元组来表示: $[S, O, G]$,其中, S 是初始状态的集合, O 是操作符集合, G 是目标状态的集合。对当前状态,应用一次操作符号,引起状态的改变,从而达到一个新的状态。例如中国象棋,初始状态只有一个,就是对弈开始的状态,操作符是各种走子规则,因此操作符集合有多个元素,目标状态是分出胜负或和棋状态,因此也有多个状态。

[0055] 在搜索过程中,每应用一次操作符,就产生一个新状态,所有状态的集合就是状态图,一般是无穷图,在图中,一些状态是目标状态,如果我们找到了由开始状态到达目标状态的路径,问题就获得了解答,解答就是由开始状态到达目标状态为了进行状态转换所使用的一系列操作符。如果路径是最短的,我们可以把这条路径叫最优解。

[0056] 常用的状态空间搜索有深度优先和广度优先。广度优先是从初始状态一层一层向下找,直到找到目标为止。广度优先的特点是先生成的节点先考察,如果存在解,就一定能找到,且是最优解,但存在组合爆炸,效率十分底下。深度优先是按照一定的顺序先查找完一个分支,再查找另一个分支,以至找到目标为止。深度优先的特点是优先考察最近生成的节点,效率高,但如果是无穷图,且解节点不在当前分支上,就找不到解。前面说的广度和深度优先搜索都是盲目搜索。当状态空间十分大,且不可预测的情况下效率太低,为了提高效率就要用到启发式搜索。

[0057] 启发式搜索就是在状态空间中的搜索对每一个搜索的位置进行评估,得到最好的位置,再从这个位置进行搜索直到目标。这样可以省略大量无谓的搜索路径,提到了效率。在启发式搜索中,对位置的估价是十分重要的。采用了不同的估价可以有不同的效果。我们先看看估价是如何表示的。

[0058] 启发中的估价是用估价函数表示的,如: $f(n) = g(n) + h(n)$

[0059] 其中 $f(n)$ 是节点 n 的估价函数, $g(n)$ 是在状态空间中从初始节点到 n 节点的实际代价, $h(n)$ 是从 n 到目标节点最佳路径的估计代价。在这里主要是 $h(n)$ 体现了搜索的启发信息,因为 $g(n)$ 是已知的。如果说详细点, $g(n)$ 代表了搜索的广度的优先趋势。但是当 $h(n) \gg g(n)$ 时,可以省略 $g(n)$,而提高效率。实际应用中,对新生成的一批节点,计算估价函数,比较计算结果,取估价值最小的节点作为新的出发点,继续搜索,直到达到目标节点。对上述算法加一定限制,在理论上求得最佳路径算法,即 A* 算法。

[0060] 在本申请中,就是将状态空间搜索思想应用到正畸治疗计划设计中。

[0061] A* 算法只有理论意义,在各种启发式搜索算法中,最重要的是估价函数,估价函数设计得合理,就会给求解带来极大保证,反之就可能无效。虽然有一些确定估价函数的一般原则,但通常估价函数是与具体问题强烈相关的。就是说需要行业专家发挥聪明才智,设计出理想的估价函数。还要说明的是,有时候目标状态是明确的,或唯一的,比如旅行线路规划,目的地可以明确或唯一,出发前就知道。而有时候目标节点是不明确或不唯一的,比如下棋,将死就行,又比如买公寓,只要面积、地域、装修、费用等指标满足一定要求即可。

[0062] 从状态图搜索观点来看,正畸治疗计划的制定也是一个状态空间搜索问题。

[0063] 初始状态:患者原始牙列状态;

[0064] 操作符集合:空操作、拔牙、邻面去釉、平动、旋转;

[0065] 目标集合:临床医生矫治目标状态。

[0066] 如果进行量化,用几何量如坐标、位移、角度来描述操作符集合和目标集合,则它们都是无穷集合,比如移动操作,可以是第 i 颗牙向 j 方向移动 k 毫米。而要达到的目标在细节上肯定有无数种可能。毫无疑问,治疗过程即状态空间搜索形成的图是一个无穷图。需要启发信息来指导状态的一步步转换。

[0067] 为实现启发式搜索,至少要有以下要素设计:

[0068] 操作符集合:对邻面去釉、平动、旋转的量加以限制,使其成为有限集合

[0069] 启发信息:包括拥挤度、前牙覆盖、前牙覆合、牙弓突度、Spee 曲线曲度、Bolton 指数、牙弓宽度、牙弓对称度、牙齿轴倾度、牙齿转矩以及牙列中线等。

[0070] 以上信息可以通过对当前牙列进行测量获得。

[0071] 状态分量:各牙齿几何位置与姿态

[0072] 搜索过程:

[0073] 人机交互指定需要移动牙齿

[0074] 人机交互指定需要拔除牙齿

[0075] 运行自动搜索程序

[0076] 采用启发式搜索技术,则可实现排牙过程的自动化,同时,搜索的终止条件也有别于事先指定终止位置的动画关键帧方法,当启动排牙搜索过程后,在启发信息的作用下,牙列会逐渐由不整齐向整齐过度,在开始阶段,每步叠代改善都会很明显,随叠代的进行,改

善的效果逐渐下降,我们可以观察显示效果,在认为合适的时候停止叠代过程,然后输出叠代结果,或考察两次叠代结果的差异,当两次叠代的差异小于一定值时停止叠代,或干脆叠代一定次数后就停止叠代。无论哪种方法,都不需要用一个事先指定的代表牙齿移动最终位置的数据来产生矫正计划,也可以实现每一步的牙列都是根据具体病人的实际情况设定的、由此制成的隐形矫正器也更具有针对性。

[0077] 这样,利用上述方法,在实践中就可以依据牙颌模型的三维数据文件为基础,研究基于计算机交互图象学技术的对象分割、交互测量、多层次显示、碰撞检测、虚拟移动、变形处理、加工准备等多项关键技术,并在此基础上,根据医学知识,结合计算机交互三维图形学理论与技术,开发出无托槽隐形矫治器设计软件。该软件的功能可划分为两个:设计准备功能和设计功能。设计准备功能由非医疗专家使用,主要完成牙冠的虚拟切割、数据修整、结构与标记附加等工作;设计功能由正畸专家使用,根据患者具体情况,使用软件所提供的功能,设计出矫正治疗模拟方案,并以预定的格式输出,供生产单位使用。从而达到高效和个性化的效果。

附图说明

[0078] 以下结合附图对本申请的一个实施例做出详细说明,其中:

[0079] 图 1 是本申请一个实施例中启发式搜索的流程图。

[0080] 图 2 是本申请一个实施例中利用评价函数进行评估的方法 200 的流程图。

[0081] 图 3 是本申请一个实施例中应用空间搜索法产生代表从原始状态到符合要求的状态的一系列离散牙齿状态的数字数据集的方法 300。

[0082] 图 4 为病例 1 的上切牙颌面示意图。

[0083] 图 5a 为病例 2 的上颌颌面视图。

[0084] 图 5b 为病例 2 的上颌正面视图。

[0085] 图 5c 为病例 2 的下颌颌面视图。

[0086] 图 5d 为病例 2 的下颌正面视图。

具体实施方式

[0087] 在本申请的一个实施例中,首先预设一个评价函数 $F(n)$ 作为进行启发式搜索的启发信息,该评价函数 $F(n)$ 包括以下变量:

[0088] 1、拥挤度 a_n :牙冠宽度的总和与牙弓现有弧度的长度之差。若该值为正,说明牙弓存在拥挤;若该值为负,说明牙弓存在间隙。牙冠宽度是指牙冠近远中最大径。牙弓现有弧长即牙弓整体弧形的长度。下颌现有牙弓弧长是从下颌第一磨牙近中接触点沿下颌前磨牙颊尖、下尖牙牙尖经过正常排列的下切牙牙切缘到对侧下颌第一磨牙近中接触点所做弧线的长度。如全部下切牙均向唇侧或舌侧倾斜时,弧线应沿下切牙牙嵴顶进行测量;上颌现有牙弓弧长是从上颌第一磨牙近中接触点沿下颌前磨牙颌面至上尖牙牙尖,再沿上切牙切缘到对侧上颌第一磨牙近中接触点所做弧线的长度。如全部上切牙均向唇侧或舌侧倾斜时,弧线应沿上切牙牙嵴顶进行测量。若该值为正,说明牙弓存在拥挤;若该值为负,说明牙弓存在间隙。若该值为 0,说明牙弓不存在拥挤,也不存在间隙。

[0089] 2、前牙覆盖 b_n :上切牙切缘到下切牙唇面的水平距离。正常前牙覆盖一般为 2 ~

4mm。

[0090] 3、前牙覆合 c_n :下切牙切缘点到上切牙切缘点向下切牙唇面所做垂线的垂足之间的距离。

[0091] 4、Spee 曲线曲度 d_n :其定义为,连接下切牙切嵴及其它牙牙尖构成的一条连续凹向上的纵牙合曲线,又称 Spee 曲线。测量双侧下颌牙弓 Spee 曲线曲度的方法为,测量牙弓合面最低点到以下切牙切端和最后一个下磨牙的牙尖构成平面的距离。分别测量左侧和右侧,所得数相加除以 2 再加 0.5mm 即为整平牙弓或改正合曲线所需要的间隙。一般而言,正常 Spee 曲线曲度为 2mm。整平 Spee 曲线曲度需要消耗间隙,消耗间隙量的计算方法为:分别测量左侧和右侧 Spee 曲线曲度,所得数相加除以 2 再加 0.5mm 即为整平牙弓或改正合曲线所需要的间隙。

[0092] 5、Bolton 指数 e_n :上下前牙牙冠宽度总和的比例关系与上下牙弓全部牙牙冠宽度总和的比例关系。用 Bolton 指数可以诊断患者上下牙弓中是否存在牙冠宽度不协调的问题。方法是测量上下颌牙冠的宽度,得出下列比例:

[0093] 前牙比=下颌 6 个前牙牙冠宽度总和 / 下颌 6 个前牙牙冠宽度总和 *100%

[0094] 全牙比=下颌 12 个前牙牙冠宽度总和 / 下颌 12 个前牙牙冠宽度总和 *100%

[0095] 国人正常的 Bolton 指数,前牙比为 78.8% +1.72%,全牙比为 91.5% ±1.51%,根据以上比例可以判断上下牙弓的不调是发生在上颌还是下颌,为前牙或全部牙的宽度异常。

[0096] 6、牙弓对称度 f_n :先在上颌模型上沿腭中缝确定中线,测量双侧同名牙至中线的宽度,则可了解牙弓左右侧是否对称,双侧各同名牙前、后向是否在同一平面上,如不在同一平面则表明一侧牙有前移。

[0097] 7、轴倾度 g_n :牙齿临床冠长轴与合平面垂线所组成的角为轴倾角。临床冠长轴的龈端向远中倾斜时轴倾度为正值,向近中倾斜时轴倾度为负值。正常合的轴倾度大都为正值。

[0098] 8、转矩 h_n :牙齿临床冠切线与合平面垂线所组成的角称为转矩。临床冠切线龈端在合平面垂线的后方为正值,反之为负值。

[0099] 9、牙列中线 i_n :穿过两个上颌或下颌中切牙之间的一条假想线。若上下两条直线重叠,说明上下牙列中线一致;若上下两条直线不重叠,其差值就是上下牙列中线偏斜量。

[0100] 10、牙弓突度 j_n :一般以下切牙位置代表牙弓突度。可通过 X 线头影测量获得。减小牙弓突度会占用间隙,反之会产生间隙。

[0101] 11、牙弓宽度 k_n :牙弓宽度的测量一般分为三段进行,分别是尖牙间宽度、双尖牙间宽度,磨牙间宽度。

[0102] (1) 尖牙间宽度 :反映牙弓前段宽度。测量两侧尖牙牙尖之间的宽度。

[0103] (2) 双尖牙间宽度 :反映牙弓中段宽度。测量两侧第一双尖牙中央窝之间的宽度。

[0104] (3) 磨牙间宽度 :反映牙弓后段宽度。测量两侧第一恒磨牙中央窝之间的宽度。

[0105] 邻面去釉量设定如下:

[0106] 上颌前牙 :0.05 ~ 0.50mm/ 釉质面

[0107] 上颌后牙 :0.05 ~ 0.80mm/ 釉质面

[0108] 下颌前牙 :0.05 ~ 0.50mm/ 釉质面

- [0109] 下颌后牙 :0.05 ~ 0.80mm/ 釉质面
- [0110] 邻面去釉量可根据病人具体情况适当调整。
- [0111] 可以对以上各变量设置相应的加权值 $w_a, w_b, w_c, w_d, w_e, w_f, w_g, w_h, w_i$ 。
- [0112] 因此有 $F(n) = \{a_n * w_a, b_n * w_b, c_n * w_c, d_n * w_d, e_n * w_e, f_n * w_f, g_n * w_g, h_n * w_h, i_n * w_i\}$ 。
- [0113] 在一个实施例中,可以根据病人的具体情况对上述启发信息设定加权。
- [0114] 另外,预定义牙齿平移步进值为 δ (可为 0.05 ~ 2.0mm,通常为 0.2 ~ 0.3mm)、旋转步进值为 ω (可为 $0.05^\circ \sim 5^\circ$,通常为 $1^\circ \sim 3^\circ$),本实施例的具体计算中例如可设 $\delta = 0.2\text{mm}, \omega = 1^\circ$ 。
- [0115] 另外,预设一个阈值 G,用于对 $F(n)$ 的计算结果进行比较。
- [0116] 以上各预定义数值均由医生针对病人的个性化特点根据每个病例进行确定。
- [0117] 在本实施例中,对病人牙颌进行扫描建模、取得了病人初始牙齿排列数据集后,对每颗需要矫正的牙齿确定其坐标值 (x, y, z) ,然后依上述步进值 δ ,形成 729 个数据排列:
- [0118] (x_{11}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{11} 代表 X 轴方向正移 δ ($\delta = 0.2$)、且绕 X 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);
- [0119] (x_{12}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{12} 代表 X 轴方向正移 δ ($\delta = 0.2$)、且绕 X 轴方向不转 ($\omega = 0^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);
- [0120] (x_{13}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{13} 代表 X 轴方向正移 δ ($\delta = 0.2$)、且绕 X 轴方向负转 ($\omega = -1^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);
- [0121] (x_{21}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{21} 代表 X 轴方向不移动 ($\delta = 0$)、且绕 X 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);
- [0122] (x_{22}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{22} 代表 X 轴方向不移动 ($\delta = 0$)、且绕 X 轴方向不转 ($\omega = 0^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);
- [0123] (x_{23}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{23} 代表 X 轴方向不移动 ($\delta = 0$)、且绕 X 轴方向负转 ω ($\omega = -1^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);
- [0124] (x_{31}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{31} 代表 X 轴方向负移 δ ($\delta = -0.2$)、且绕 X 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);
- [0125] (x_{32}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{32} 代表 X 轴方向负移 δ ($\delta = -0.2$)、且绕 X 轴方向不转 ($\omega = 0^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);
- [0126] (x_{33}, y_{11}, z_{11}) ——其中 x_{33} 代表 X 轴方向负移 δ ($\delta = -0.2$)、且绕 X 轴方向负转 ω ($\omega = -1^\circ$), y_{11} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$), z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$);

[0127]

[0128] (x_{11}, y_{12}, z_{11}) ——其中 x_{11} 代表 X 轴方向正移 δ ($\delta = 0.2$)、且绕 X 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$)， y_{12} 代表 Y 轴方向正移 δ 、且绕 Y 轴方向不转 ($\omega = 0^\circ$)， z_{11} 代表 Z 轴方向正移 δ 、且绕 Z 轴方向正转 ω ($\omega = 1^\circ$)；

[0129]

[0130] (x_{33}, y_{33}, z_{33}) ——其中 x_{33} 代表 X 轴方向负移 δ ($\delta = -0.2$)、且绕 X 轴方向负转 ω ($\omega = -1^\circ$)， y_{33} 代表 Y 轴方向负移 δ ($\delta = -0.2$)、且绕 Y 轴方向负转 ω ($\omega = -1^\circ$)， z_{33} 代表 Z 轴方向负移 δ ($\delta = -0.2$)、且绕 Z 轴方向负转 ω ($\omega = -1^\circ$)。

[0131] 所有需矫正的牙齿数据排列形成一个如下表 1 所示的阵列：

[0132]

组	牙 1	牙 2	牙 3	.....	牙 _m
1	(x11, y11, z11)	(x11, y11, z11)	(x11, y11, z11)	.....	(x11, y11, z11)
.....
729	(x33, y33, z33)	.....	.....	.....	.....
.....	(x11, y11, z11)	(x12, y11, z11)	(x11, y11, z11)	.....	(x11, y11, z11)
.....
729x729x.....x7 29 (共 m 个 729)	(x33, y33, z33)	(x33, y33, z33)	(x33, y33, z33)	.....	(x33, y33, z33)

[0133] 表 1

[0134] 然后,启动启发式搜索,使用上述评价函数 $F(n)$ 对上述阵列中的每一组数据排列进行甄别,去除不合理的数据,比如互为交错的组。再对所余组的数据依预订的参数,比如所述评价函数变量中的一个或多个或者其他参数,进行排序,再根据排序的结果决定下一步搜索的顺序。重复以上程序,直至搜索完毕获得一个或多个排牙方案。再根据医生或设计人员的经验和病人的具体情况,挑选其中一个排牙方案。最后利用这个排牙方案的三组以上的代表牙齿状态的数字数据集生产对应数量的牙齿的正模型,再利用这些牙齿的正模型生产对应的牙齿的负模型获得一系列用于移动牙齿位置的牙科器械。其中,所述的三组以上的代表牙齿状态的数字数据集可以不包括代表牙齿原始状态的数字数据集。

[0135] 另外,为减少计算量,可以在利用计算机设计排牙方案之前,根据牙齿的状态挑选需要矫正的牙齿,设定每一需要矫正的牙齿的矫正方向,比如移动的方向和 / 或转动的方向,以及矫正的范围,比如移动的范围和 / 或转动的范围,以减小搜索空间。

[0136] 另外,为减少计算量,还可以预先设定牙齿调整的顺序,比如先同时调整 11、21、13,再调整 14、15。

[0137] 另外,为更有针对性地进行个性化矫治,可以根据病人对矫治力反应和具体情况,设定操作符的步进值大小,比如,可以设定一次移动操作的幅度为 0.1mm 或 0.2mm 等等,可以设定一次旋转操作的幅度为 1 度或 2 度等等。

[0138] 在一个实施例中,还可以将美国专利第 5368478 号中的计算方法引入,作为启发信息。

[0139] 请参阅图 1,展示了本申请一个实施例中制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法 100 的流程图。方法 100 包括操作 101,获取代表第一牙齿状态的第一数字数据集。其中,代表牙齿状态的数字数据集是该牙齿状态三维结构的数字化表示,它可以包括多个数字数据集,每一这些数字数据集表示一颗对应的牙齿的轮廓、位置、角度等。

[0140] 方法 100 还包括操作 103,提供至少一个操作符。其中,每一操作符代表一个操作,比如移动、转动、邻面去釉等,当该操作作用于对应一颗牙齿的数字数据集时,改变该数字数据集,模拟这颗牙齿的调整。

[0141] 方法 100 还包括操作 105,提供评价函数。其中,该评价函数可以包括以下变量的至少之一:拥挤度、前牙覆盖、前牙覆合、牙弓突度、Spee 曲线曲度、Bolton 指数、牙弓宽度、牙弓对称度、牙齿轴倾度、牙齿转矩以及牙列中线。

[0142] 方法 100 还包括操作 107,可根据病人的具体情况预先设定各变量的加权系数。还可以根据经验设定各变量的加权系数。

[0143] 方法 100 还包括操作 109,设计人员可以通过观察显示在计算机屏幕上的牙齿的三维图像,或者通过观察牙齿的模型,选择需要调整的牙齿,以减小计算量。

[0144] 方法 100 还包括操作 111,设计人员可以通过观察显示在计算机屏幕上的牙齿的三维图像,或者通过观察牙齿的模型,为需要调整的牙齿选择相应的操作符,以减小计算量。对于一颗牙齿,在以后的空间搜索中不会利用未选中的操作符进行搜索,从而减小了计算量。

[0145] 方法 100 还包括操作 113,设计人员可以通过观察显示在计算机屏幕上的牙齿的三维图像,或者通过观察牙齿的模型,为需要调整的牙齿选定调整范围。该操作可以在操作

111 完成后进行,对每一种操作符规定操作方向和范围,比如对于牙齿 11,可以规定只进行平移,并且移动方向为向腭侧,移动范围为 2mm。

[0146] 方法 100 还包括操作 115,利用计算机,以状态空间搜索法,利用操作符和评价函数,基于第一数字数据集进行空间搜索,获得至少一个排牙方案。假设有五颗牙齿需要调整位置,并且已经预先指定调整顺序,比如,先同时调整 11、21、13,再调整 14、15。此时,计算机将根据为每颗牙齿预先选定的操作符及其对应的操作方向和范围对第一数字数据集进行修改,并存储每一修改后的数字数据集。再利用评价函数评估每一修改后的数字数据集,以判断其是接近目标还是远离目标,如果是接近目标,则继续相同的操作,如果原理目标,则停止该操作,接着调整其他牙齿。由于把每颗牙齿调整到位所需进行操作的次数可能不同,因此,对于同时操作的多颗牙齿,可以利用评价函数对每一颗牙齿上的操作进行单独判断,从而可知道这颗牙齿是否调整到位。搜索结束后获得至少一个排牙方案。

[0147] 假设在一个例子中,有五颗牙齿需要矫正,分别为 1-5 号牙齿。经过设计人员观察,1-5 号牙齿矫正的方式、方向和范围如下表 2 所示。

[0148]

牙齿	矫正方式	矫正方向	移动范围
1 号牙	平移	近中	1mm
	旋转	顺时针	3°
2 号牙	平移	远中	0.5mm
3 号牙	旋转	逆时针	2°
4 号牙	平移	舌向	0.3mm
5 号牙	旋转	颊向	2mm

[0149] 表 2

[0150] 表 2 中“近中”、“远中”、“舌向”、“颊向”、“顺时针”及“逆时针”只是为举例而给出的方向,在实际操作中可自行定义。矫正范围是人为设定的范围,在计算机空间搜索过程中,其搜索范围不得超出预设的矫正范围,以减小计算量。

[0151] 假设移动操作符的步进值为 0.2mm,旋转操作符的步进值为 1°,可同时矫正三颗牙齿。若指定 1-3 号牙齿为优先矫正,4-5 号牙齿为第二优先矫正,平移操作为优先操作。那么该例子中的空间搜索过程如下:第一步,将 1 号牙向近中移动 0.2mm,将 2 号牙向远中移动 0.2mm,将 3 号牙逆时针旋转 1°,并单独判断操作结果,如果操作的结果更接近矫正目标则继续相应的操作,否则取消相应的操作;当 2 号牙被移动到目标位置时,可能 1 号牙和 3 号牙还没有移动到位,此时,可将 4 号牙或 5 号牙与 1 号牙和 3 号牙同时进行移动。依次类推直至搜索完成,获得至少一个排牙方案。

[0152] 在一个例子中,可以为每一颗需要移动的牙齿设定移动秩序,一旦前一批同时移动的牙齿中的一颗移动到位,可以按顺序将剩余牙齿中优先顺序最高的一颗提到被移动的牙齿中。

[0153] 方法 100 还包括操作 117,根据病人的具体情况选择一个排牙方案。

[0154] 方法 100 还包括操作 119,根据操作 117 选择的排牙方案中的数字数据集生产正牙

齿模型。其中,可用激光快速成型的方法制作正牙齿模型。

[0155] 方法 100 还包括操作 121,在由操作 119 获得的正牙齿模型上形成负牙齿模型,以获得用于调整牙齿位置的牙科器械。其中,在正牙齿模型上形成负牙齿模型的方法可参由 Henry I • Nahoum 所发表的论文《THE VACUUM FORMED DENTAL CONTOURAPPLIANCE》等。

[0156] 在操作 115 中,利用评价函数对每一对牙齿的操作的评估可以按照一定的顺序进行。请参图 2,展示了本申请一个实施例中利用评价函数进行评估的方法 200 的流程图。方法 200 包括以下操作:(201) 移动牙转矩判断;(203) 覆盖判断;(205) 覆合及 Spee 曲线曲度判断;(207) 移动牙轴倾度判断;(209) 移动牙扭转判断;(211) 移动牙对称性判断;(213) 牙列中线协调性判断;(215) 上下牙列拥挤度判断;(217) 牙弓突度判断;及(219) 牙弓宽度判断。其中,对于不同的矫正目标和不同的情况,比如以矫正切牙唇倾为主要矫治目标,或者以矫正深覆合为主要矫治目标,评估方法的操作内容可以有所不同,比如只挑选其中一个或几个参数进行判断,操作的顺序和权重也可以有所不同。

[0157] 空间搜索算法使用操作符作用于一颗或多颗牙齿,引起当前牙齿状态(即坐标)的改变,从而达到一个新的牙齿状态。采用不同的操作符组合,可产生许多不同的新状态,因此,可采用评价方法,从这许多新的状态中选择出比前一状态更理想的一个或几个状态,并记录所采用的操作符。再分别以这些新状态为当前状态,重复上述操作,直到被移动的牙齿达到一个符合要求的位置。牙齿由初始位置到达最后位置所使用的操作符序列形成了自动排牙问题的解答。

[0158] 牙齿是刚体,在欧氏空间中的运动有六个自由度,分别是沿三个坐标轴的平移和绕三个坐标轴的旋转。把牙齿的运动离散化,即规定每次平移和旋转的量是给定的。为了分析方便,可以进一步假定每次旋转和平移的步长是一个单位。因此,可用一个六维向量表示全功能操作符:

[0159] $0 = \{[dx, dy, dz, d\alpha, d\beta, d\gamma] | dx \in \{0, +1, -1\} \dots\}$

[0160] 其中, dx、dy、dz 分别表示牙齿在 x、y、z 轴方向的平移, dα、dβ、dγ 分别表示牙齿绕 x、y、z 轴的转动。

[0161] 对于一个牙齿,由一个状态生成的新状态可以有 3^6 个,对于多个牙齿的联合运动,状态的扩展是惊人的,很容易发生组合爆炸,因此,可以对新扩展的状态加以限制。首先,可以对操作符向量的维数进行压缩。医生根据医学知识,针对具体的病例,可以指定上述六维向量中的某些分量恒为 0,甚至指定某个或某几个分量的符号,即规定牙齿的运动方向,因为医生总能看出不正常牙齿应该如何运动方能改善排列状况。

[0162] 使用操作符时,在小角度旋转和小量平移的情况下,可获得变换矩阵 M:

$$[0163] \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & -d\gamma & d\beta & 0 \\ d\gamma & 1 & -d\alpha & 0 \\ -d\beta & d\alpha & 1 & 0 \\ dx & dy & dz & 1 \end{bmatrix}$$

[0164] 牙齿完成一次移动时,其上某一点的坐标由移动前的 $[x, y, z, 1]$ 变换为:

[0165] $[x', y', z', 1] = [x, y, z, 1]M$ 方程式(一)

[0166] 在一个实施例中,在牙齿完成一次移动时,根据方程式(一)计算牙齿表面所有点

的新坐标,以实时更新牙齿的三维图像。

[0167] 在又一实施例中,可以牙齿为计算基础,先计算出移动后牙齿的坐标,再根据该移动后坐标计算出牙齿表面上各点的坐标,以实时更新牙齿的三维图像。

[0168] 在一个实施例中,可以设置两个表:OPEN 表和 CLOSED 表。OPEN 表中存放待扩展和考察的节点(状态),CLOSED 表中存放扩展或考察过的节点(状态)。在一个实施例中,OPEN 表的结构如表 3 所示,CLOSED 表的结构如表 4 所示。表 3 和表 4 中“节点”表示牙齿状态,比如一个或多个牙齿在某一状态下的坐标数据。

[0169]

编号	节点	操作符	评价函数值

[0170] 表 3

[0171]

编号	节点	操作符	评价函数值	父节点

[0172] 表 4

[0173] 图 3 展示了本申请一个实施例中应用空间搜索法产生代表从原始状态到符合要求的状态的一系列离散牙齿状态的数字数据集的方法 300。方法 300 包括以下操作:

[0174] (301) 建 OPEN 和 CLOSED 表:建立 OPEN 表和 CLOSED 表,并把表示牙齿初始状态的数据,比如包括各牙齿坐标的数字数据集加入 OPEN 表。

[0175] (303) 检查 OPEN 表是否为空:检查 OPEN 表是否为空,如果 OPEN 表不空,跳至 (305) 评价节点,如果 OPEN 表为空,表示无解,跳至 (311) 结束。

[0176] (305) 评价节点:计算 OPEN 表中各节点的评价函数值,并判断各节点是否符合矫正要求。如果 OPEN 表中没有节点符合矫正要求,跳至 (307) 扩展节点,如果 OPEN 表中有节点符合矫正要求,则跳至 (309) 询问是否结束。

[0177] (307) 扩展节点:把当前节点移至 CLOSED 表,并判断其评价函数值较其父节点是否更接近矫正要求。如果当前节点的评价函数值较其父节点更接近矫正要求,那么可以对当前牙齿状态继续使用前一操作符,获得新的牙齿状态,否则,针对当前牙齿状态使用其他可用的操作符,获得新的牙齿状态。如果针对当前牙齿状态没有其他操作符可用,则不对当前节点进行操作。新的牙齿状态被记录于 OPEN 表中。

[0178] (309) 询问是否结束:如果获得符合矫正要求的节点,询问用户是否结束运算,如果收到用户结束运算的指令,跳至(311)结束,如果收到用户继续运算的指令,跳至(307)扩展节点。

[0179] 程序一直执行,直至找到符合矫正要求的节点并收到用户结束运算的指令,或者发现问题无解。

[0180] 由于不同的牙齿,畸形的情况不同,在一个实施例中,可以针对每一被调整的牙齿单独设立评价函数。比如,针对第一牙齿以牙弓对称度为评价函数,而针对第二牙齿以转矩为评价函数。

[0181] 原则多颗牙齿可以同时调整,算法可以自动避免碰撞,但是必然使效率降低,复杂度增加。依据问题规约思想,把数颗牙齿同时运动的问题分解为每颗牙齿的独立运动,可以简化求解过程,提高效率。当获得各牙齿至符合矫正要求的状态的移动轨迹后,可增加一个同步过程。同步过程根据用户指定的先后顺序调整牙齿,比如先同时移动第一、第二颗牙齿,再同时移动第三、第四颗牙齿。同步过程还可避免牙齿在移动过程中的干涉。

[0182] 例 1

[0183] 图 4 为病例 1 的上切牙颌面示意图,牙齿 401 正常,牙齿 402 需要绕 z 轴顺时针旋转,并且沿 x 轴正向移动,可能还需要沿 y 轴移动。

[0184] 在该病例中,可以牙弓对称度作为评价函数。在一个实施例中,可在牙齿 402 上取两个参考点 a 和 b,对应地,在牙齿 401 上也取两个相应的参考点 c 和 d。把牙齿 402 以 y 轴为对称轴进行映射,获得牙齿 402',以及参考点 a' 和 b'。以直线 a'c 和 b'd 长度之和来度量对称度,其值越小,对称度越高。在该例子中,设矫正要求为评价函数值小于 0.5 毫米,即直线 a'c 和 b'd 长度之和小于 0.5 毫米就符合矫正要求。

[0185] 例 2

[0186] 图 5a 为病例 2 的上颌颌面视图,图 5b 为病例 2 的上颌正面视图,图 5c 为病例 2 的下颌颌面视图,图 5d 为病例 2 的下颌正面视图。

[0187] 该病例为牙齿 521 唇向倾斜,前牙深覆合。牙齿 511 位置正常,牙齿 511 和 522 间有足够间隙容纳牙齿 521。矫治方案是牙齿 521 舌向倾斜,舌向内收、正轴及伸长,排齐牙列,同时压低牙齿 531 和 532,打开咬合,配合牙齿 521 移动。

[0188] 对于牙齿 521,可以牙齿 511 为参照,评价函数的具体量度指标可包括前牙覆合、前牙覆盖、转矩、轴倾度、切牙切缘与咬合平面的距离等。

[0189] 对于牙齿 531 和 532,可以牙齿 541 和 542 为参照,评价函数的具体量度指标可包括前牙覆合、切牙切缘与咬合平面的距离等。

[0190] 以上已结合较佳实施例对本申请的制造用于调整牙齿位置的牙科器械的方法作了详细描述,从中可见,采用本申请的方法,在计算机设备的辅助下,可在遍历全部可能的矫治方案的基础上选出最优的方案来制作隐形矫正器,在具备针对性强的特点的同时还具备高效的优点。

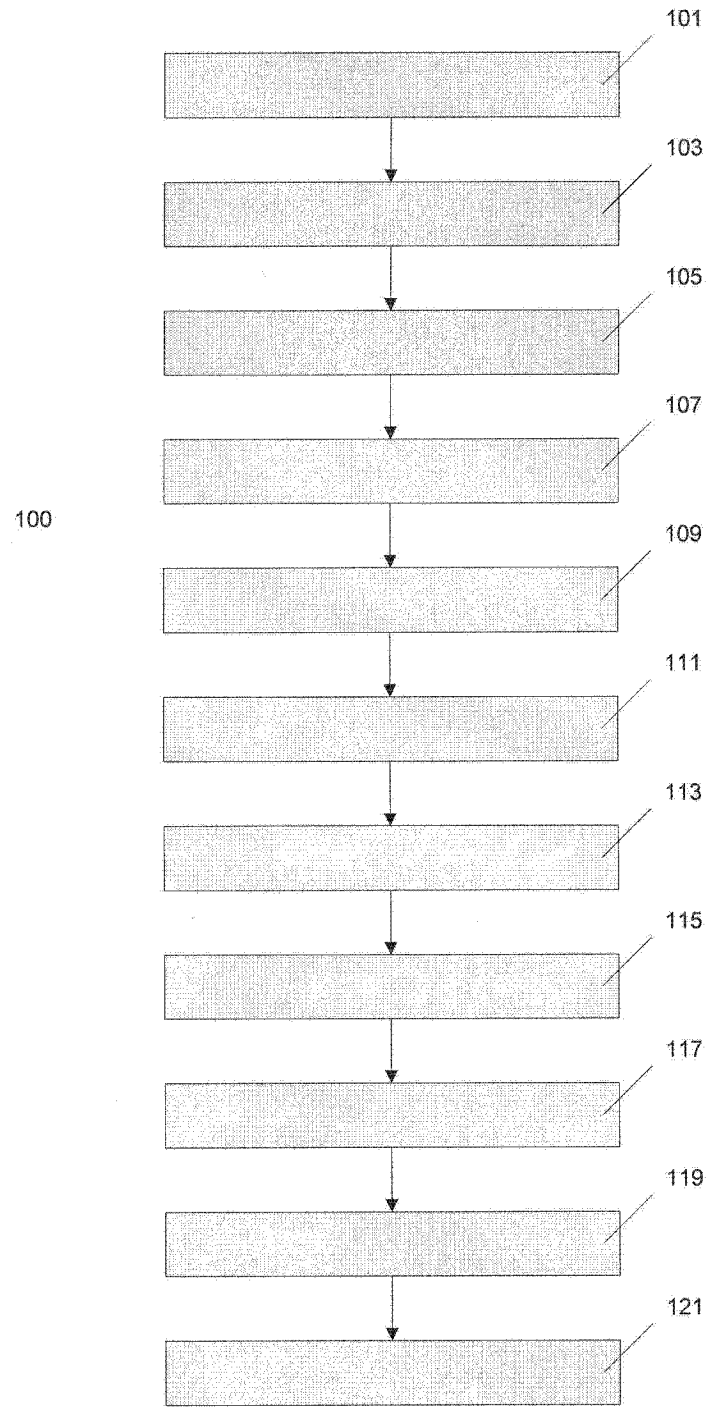


图 1

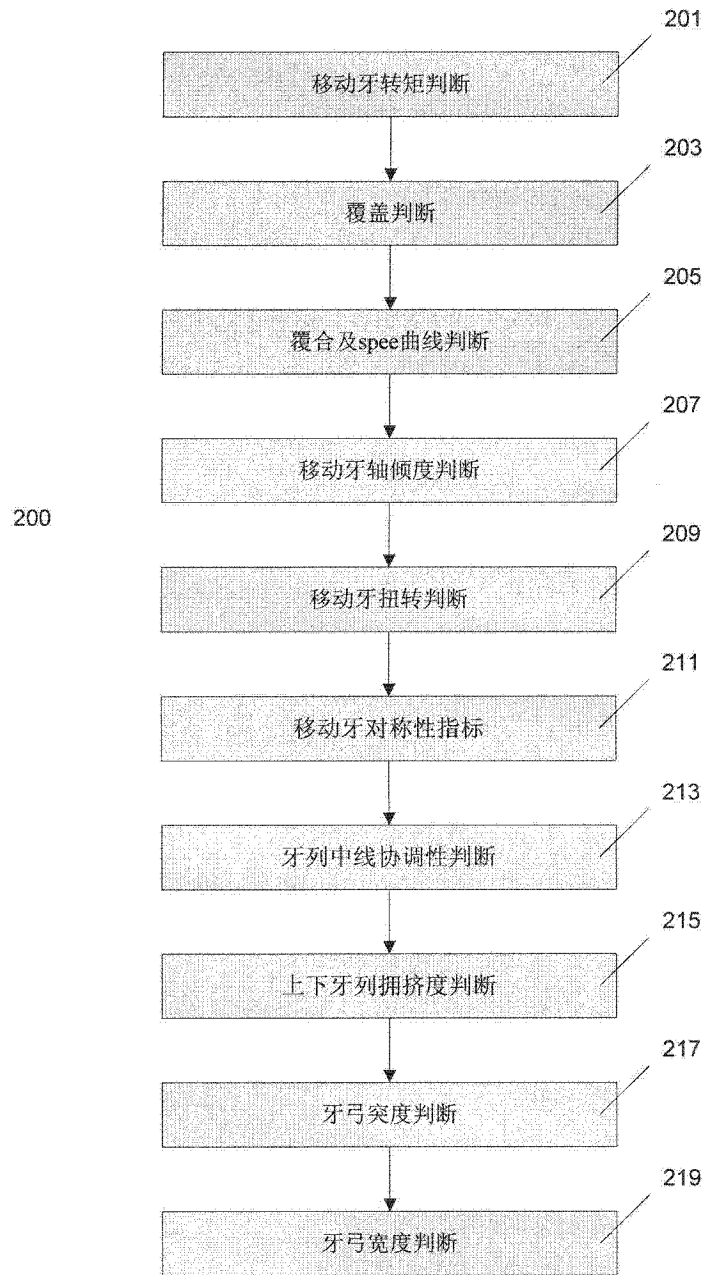


图 2

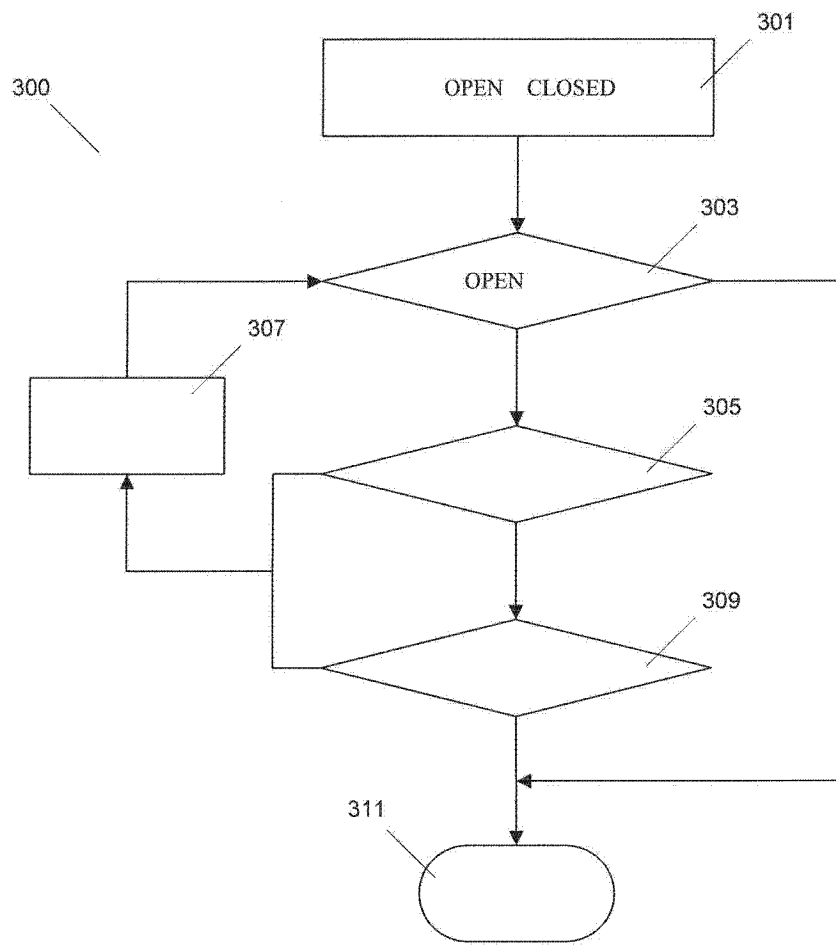


图 3

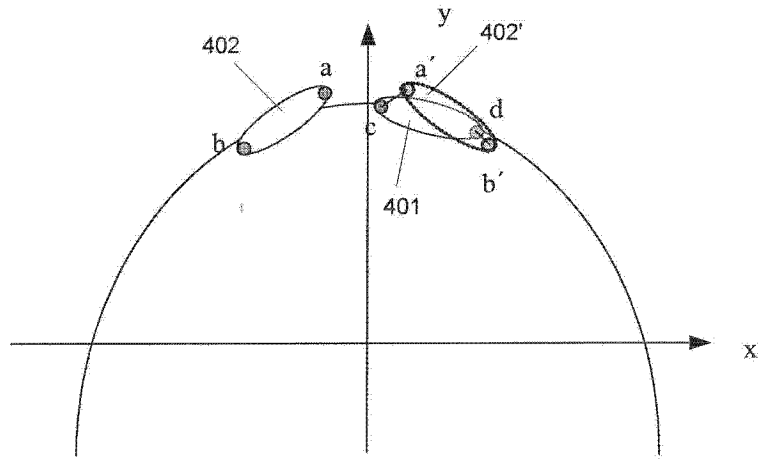


图 4

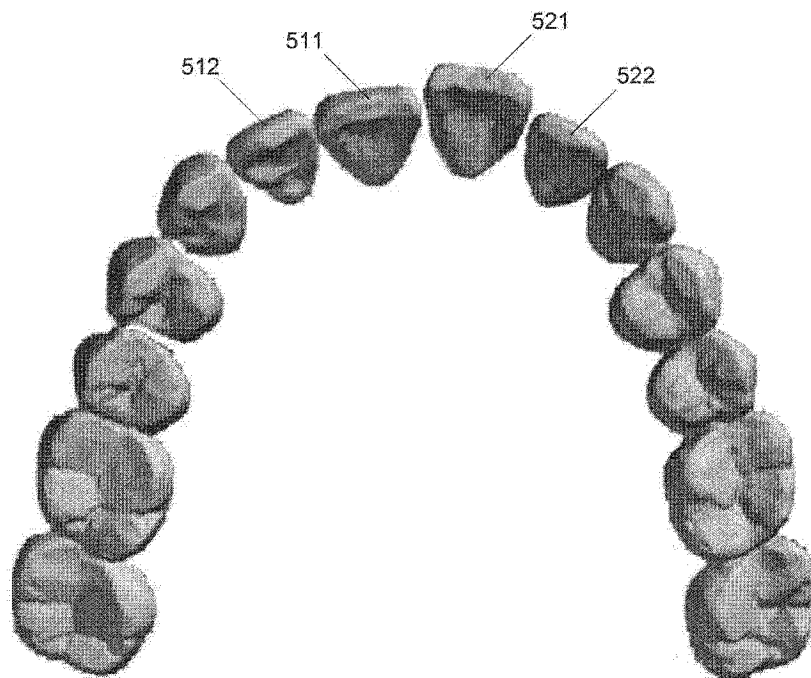


图 5a

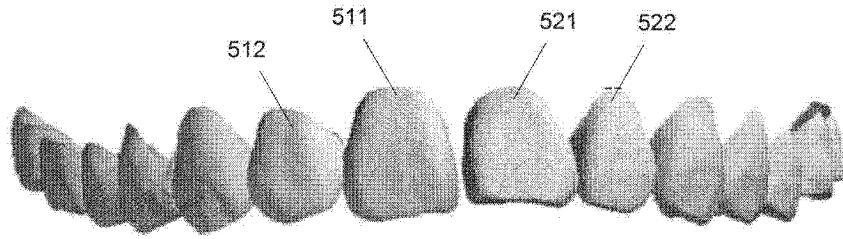


图 5b

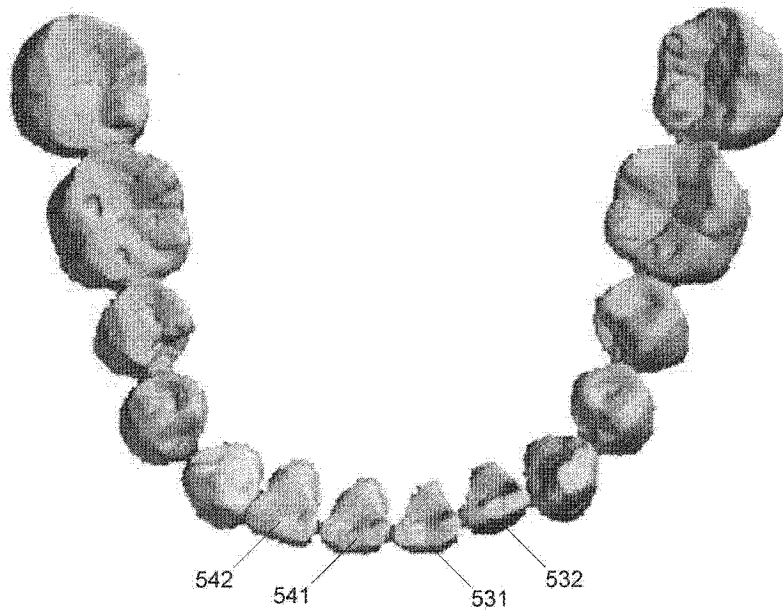


图 5c

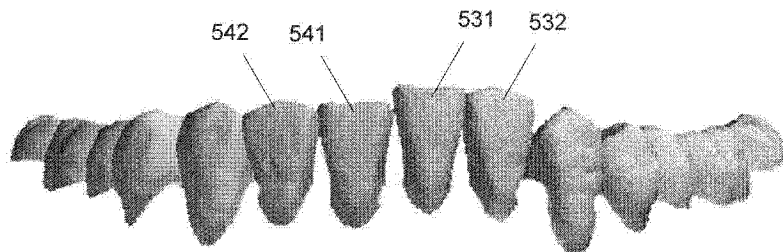


图 5d