



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106295170 B

(45)授权公告日 2018.08.03

(21)申请号 201610643582.4

JP 2005160742 A,2005.06.23,

(22)申请日 2016.08.08

CN 104504758 A,2015.04.08,

(65)同一申请的已公布的文献号

US 2008020350 A1,2008.01.24,

申请公布号 CN 106295170 A

US 2011077913 A1,2011.03.31,

(43)申请公布日 2017.01.04

许松松,等.基于曲率特性的牙齿三维模型匹配方法研究.《计算机工程与设计》.2013,第34卷(第8期),

(73)专利权人 西安科技大学

袁天然,等.三维牙颌模型的牙齿形状建模方法.《计算机辅助设计与图形学学报》.2010,第22卷(第4期),

地址 710054 陕西省西安市雁塔中路58号

(72)发明人 李占利 高天宇 李洪安 武璠菲

(74)专利代理机构 西安创知专利事务所 61213

审查员 钟容

代理人 谭文琰

(51)Int.Cl.

G16H 50/50(2018.01)

(56)对比文件

CN 103700103 A,2014.04.02,

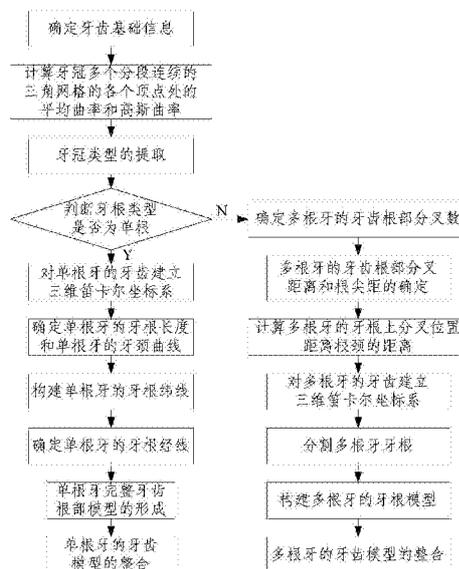
权利要求书6页 说明书14页 附图8页

(54)发明名称

基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,包括以下步骤:一、确定牙齿基础信息;二、确定所述三角网格一个顶点处的平均曲率和高斯曲率;三、完成牙冠多个分段连续的三角网格的各个顶点处的平均曲率和高斯曲率的计算过程;四、牙冠类型的提取;五、判断牙根类型是否为单根;六、构建单根牙的牙齿模型;七、构建多根牙的牙齿模型。本发明采用激光三维扫描仪获取单颗牙的牙冠模型,将牙冠与牙根分割,通过牙冠特征确定牙齿的类型,实现相应牙根模型的构建,精度高,计算量小且直观,快速有效,成本低。



1. 一种基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

步骤一、确定牙齿基础信息:首先,通过激光三维扫描仪(1)获取牙冠数据,激光三维扫描仪(1)采集牙冠多个分段连续的三角网格的参数,同时获取牙冠的冠宽d、冠厚h和冠长c数据并通过处理器(2)存储在存储器(3)中;然后,给定各种类型牙冠的冠根比 α 、颈宽冠宽比 β 和颈厚冠厚比 γ ;

步骤二、确定所述三角网格一个顶点处的平均曲率和高斯曲率,过程如下:

步骤201、根据公式 $N_{f_k} = \frac{e_{i,j+1} \times e_{i,j}}{\|e_{i,j+1} \times e_{i,j}\|} = \frac{(v_{j+1} - v_i) \times (v_j - v_i)}{\|(v_{j+1} - v_i) \times (v_j - v_i)\|}$, 确定三角网格 f_k 的法矢

N_{f_k} ,其中, v_i 为所述三角网格 f_k 的一个顶点,所述三角网格 f_k 为由 v_i 、 v_j 和 v_{j+1} 三顶点组成的三角网格, $e_{i,j}$ 和 $e_{i,j+1}$ 分别表示由顶点 v_i 指向顶点 v_j 和 v_{j+1} 的两条边矢量, $k \in \text{planes}(v_i)$, $\text{planes}(v_i)$ 为顶点 v_i 所有邻接三角网格的集合, i 和 j 均为正整数;

步骤202、根据公式 $N_{v_i} = \frac{\sum_{k \in \text{planes}(v_i)} A_k \alpha_k N_{f_k}}{\sum_{k \in \text{planes}(v_i)} A_k \alpha_k}$, 对所述三角网格 f_k 的法矢 N_{f_k} 进行加权平均,

计算顶点 v_i 的法矢 N_{v_i} ,其中 A_k 为三角网格 f_k 的面积, α_k 为三角网格 f_k 在顶点 v_i 处的顶角;

步骤203、根据公式 $H_{v_i} = \frac{1}{4\pi} \sum k_{v_j} (\alpha_k + \alpha_{k+1})$, 计算顶点 v_i 的平均曲率 H_{v_i} ,其中,
 $k_{v_j} = -\frac{(N_{v_j} - N_{v_i}) \cdot (v_j - v_i)}{(v_j - v_i) \cdot (v_j - v_i)}$ 为顶点 v_i 沿 $v_i v_j$ 方向的法曲率 k_{v_j} ;

步骤204、根据公式 $K_{v_i} = \frac{1}{A_M} (2\pi - \sum \alpha_k)$, 计算顶点 v_i 的高斯曲率 K_{v_i} ,其中, A_M 为顶点 v_i 所有邻接三角网格的面积之和;

步骤三、多次重复步骤二,直至完成牙冠多个分段连续的三角网格的各个顶点处的平均曲率和高斯曲率的计算过程;

步骤四、牙冠类型的提取,过程如下:

步骤401、确定每个所述三角网格的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f :通过处理器(2)计算每个所述三角网格三个顶点的平均曲率和高斯曲率的平均值,得到每个所述三角网格的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f ;

步骤402、区域生长及融合:通过处理器(2)统计步骤401中平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f 均大于零的三角网格,并将相邻的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f 均大于零的三角网格合并为区域I;通过处理器(2)统计平均曲率 $H_f > 0$ 且高斯曲率 $K_f < 0$ 的三角网格,并将相邻的平均曲率 $H_f > 0$ 且高斯曲率 $K_f < 0$ 的三角网格合并为区域II;通过处理器(2)统计平均曲率 $H_f < 0$ 的三角网格,并将相邻的平均曲率 $H_f < 0$ 的三角网格合并为区域III;

所述区域I、所述区域II和所述区域III的数量均为一个或多个,所述区域I为牙冠牙合面上的牙尖区域,所述区域II为牙冠牙合面上的牙嵴区域,所述区域III为牙冠牙合面上的牙窝区域;

步骤403、异常区域 ΔA 的合并归类:通过处理器 (2) 设定异常区域 ΔA 的面积阈值 δ , 异常区域 ΔA 为所述区域 I、所述区域 II 或所述区域 III, 步骤402中相邻的两个相同区域之间的异常区域 $\Delta A < \delta$ 时, 调整所述异常区域 ΔA 的类型并将所述异常区域 ΔA 合并归类为与之相邻的共有边界最长的区域;

步骤404、牙冠类型的确定:处理器 (2) 设定所述区域 II 的相对面积阈值 s , 当步骤403调整后的所述区域 II 的相对面积阈值 $s_{II} > s$ 时, 说明该牙冠为切牙牙冠, 同时处理器 (2) 分别设定上颌中切牙的冠宽的阈值 d_1 、下颌中切牙的冠宽的阈值 d_2 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 d_3 和下颌侧切牙的冠宽的阈值 d_4 , 步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌中切牙的冠宽的阈值 d_1 、下颌中切牙的冠宽的阈值 d_2 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 d_3 和下颌侧切牙的冠宽的阈值 d_4 进行差值计算, 得到差值最小值并确定切牙牙冠类型; 否则, 该牙冠为除切牙外的其他类型牙冠, 处理器 (2) 根据步骤403调整后的所述区域 I 的数量确定除切牙外的其他类型牙冠: 当所述区域 I 的数量为一个时, 说明该牙冠为尖牙牙冠, 同时处理器 (2) 分别设定上颌尖牙的冠宽的阈值 d_5 和下颌尖牙的冠宽的阈值 d_6 , 步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌尖牙的冠宽的阈值 d_5 和下颌尖牙的冠宽的阈值 d_6 进行差值计算, 得到差值最小值并确定尖牙牙冠类型; 当所述区域 I 的数量为两个或三个时, 说明该牙冠为前磨牙牙冠, 同时处理器 (2) 分别设定上颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_7 、下颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_8 、上颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_9 和下颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_{10} , 步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_7 、下颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_8 、上颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_9 和下颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_{10} 进行差值计算, 得到差值最小值并确定前磨牙牙冠类型; 当所述区域 I 的数量为四个或五个时, 说明该牙冠为磨牙牙冠, 同时处理器 (2) 分别设定上颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{11} 、下颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{12} 、上颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{13} 、下颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{14} 、上颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{15} 和下颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{16} , 步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{11} 、下颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{12} 、上颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{13} 、下颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{14} 、上颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{15} 和下颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{16} 进行差值计算, 得到差值最小值并确定磨牙牙冠类型;

步骤五、判断牙根类型是否为单根:处理器 (2) 根据步骤404得到的牙冠类型判断牙根个数: 当步骤404得到的牙冠类型为上颌中切牙牙冠、下颌中切牙牙冠、上颌侧切牙牙冠、下颌侧切牙牙冠、上颌尖牙牙冠、下颌尖牙牙冠、下颌第一前磨牙牙冠、上颌第二前磨牙牙冠或下颌第二前磨牙牙冠时, 该牙冠对应的牙根为单根, 执行步骤六; 否则, 该牙冠对应的牙根为多根, 执行步骤七;

步骤六、构建单根牙的牙齿模型, 具体过程如下:

步骤601、对单根牙的牙齿建立三维笛卡尔坐标系 O_1 : 首先, 处理器 (2) 确定单根牙的牙冠牙合面的中心点, 三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴垂直穿过牙冠牙合面的中心点; 然后, 穿过牙冠底部且垂直于三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴确定二维笛卡尔坐标系 o_1 , 三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴穿过二维笛卡尔坐标系 o_1 的坐标原点, 其中, 二维笛卡尔坐标系 o_1 中的 x 轴为三维笛卡尔坐标系 O_1 中的 x 轴且指向牙冠的唇舌方向, 二维笛卡尔坐标系 o_1 中的 y 轴为三维笛卡尔坐标系 O_1 中的 y 轴且指向牙冠的近远中方向, 牙冠位于三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴正方向上, 牙根位于三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴负方向上;

步骤602、确定单根牙的牙根长度 z'_{\max} 和单根牙的牙颈曲线:首先,根据公式 $z'_{\max} = \frac{c}{\alpha}$ 计算牙根长度 z'_{\max} ,牙根长度 z'_{\max} 与三维笛卡尔坐标系 O_1 的z轴相交于控制点 E_0 ;然后,根据公式 $y'_{\max} = \beta d$ 计算牙齿的颈宽 y'_{\max} ,在牙冠的冠宽所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 O_1 相交的位置处确定颈宽 y'_{\max} 的位置,其中,牙齿的颈宽 $y'_{\max} = y'_+ + |y'_-|$ 且 $y'_+ = |y'_-|$, y'_+ 为三维笛卡尔坐标系 O_1 的y轴正方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_1 的x轴最大垂直距离, $|y'_-|$ 为三维笛卡尔坐标系 O_1 的y轴负方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_1 的x轴最大垂直距离,根据公式 $x'_{\max} = \gamma h$ 计算牙齿的颈厚 x'_{\max} ,在牙冠的冠厚所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 O_1 相交的位置处确定颈厚 x'_{\max} 的位置,其中,牙根颈厚 x'_{\max} 与三维笛卡尔坐标系 O_1 的x轴相交且 $x'_{\max} = x'_+ + |x'_-|$, $\frac{x'_+}{|x'_-|}$ 与 $\frac{x_+}{|x_-|}$ 同比, x'_+ 为与三维笛卡尔坐标系 O_1 的x正向轴相交的点, $|x'_-|$ 为与三维笛卡尔坐标系 O_1 的x负向轴相交的点, x_+ 和 x_- 分别为牙冠牙合面上冠厚位置两端点的x坐标;最后,处理器(2)将三维笛卡尔坐标系 O_1 中 x'_+ 、 x'_- 、 y'_+ 和 y'_- 所在的位置设定为控制点 A_0 、控制点 B_0 、控制点 C_0 和控制点 D_0 ,对控制点 A_0 、控制点 B_0 、控制点 C_0 和控制点 D_0 采用三次样条插值方法确定一条封闭的单根牙的牙颈曲线;

步骤603、构建单根牙的牙根纬线,过程如下:

步骤6031、单根牙的牙根长度方向上牙根厚度与牙根宽度的线性拟合:处理器(2)分别对步骤602中的控制点 A_0 、控制点 B_0 和控制点 C_0 、控制点 E_0 、控制点 D_0 进行二次多项式拟合得到牙根厚度拟合曲线 T_r 和牙根宽度拟合曲线 W_r ,其中, r 为单根牙的牙根长度变量且 r 满足: $0 < r \leq z'_{\max}$;

步骤6032、单根牙的牙根上控制点的获取:处理器(2)随机选取步骤6031中牙根厚度拟合曲线 T_r 和牙根宽度拟合曲线 W_r 上牙根长度变量 r 的多个不同取值,得到控制点集 $\{A_r, C_r, B_r, D_r\}$;

步骤6033、单根牙的牙根纬线的形成:处理器(2)采用三次样条插值方法对步骤6032中同一牙根长度变量 r 上的四个控制点进行曲线拟合,得到单根牙的多个牙根纬线;

步骤604、确定单根牙的牙根经线:根据步骤6033中的单根牙的多个牙根纬线搭建牙根经线;

步骤605、单根牙完整牙齿根部模型的形成:处理器(2)以相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补三角形面片,得到单根牙完整牙齿根部模型;

步骤606、单根牙的牙齿模型的整合:处理器(2)将步骤605中得到单根牙完整牙齿根部模型与处理器(2)采集的牙冠模型进行合并,得到单根牙的牙齿模型;

步骤七、构建多根牙的牙齿模型,具体过程如下:

步骤701、确定多根牙的牙齿根部分叉数:当步骤404得到的牙冠类型为上颌第一前磨牙牙冠、下颌第一磨牙牙冠、下颌第二磨牙牙冠或下颌第三磨牙牙冠时,该牙冠对应的根部分叉数为两个;当步骤404得到的牙冠类型为上颌第一磨牙牙冠、上颌第二磨牙牙冠或上颌第三磨牙牙冠时,该牙冠对应的根部分叉数为三个;

步骤702、多根牙的牙齿根部分叉距离和根尖距的确定:处理器(2)分别设定上颌第一前磨牙、下颌第一磨牙、下颌第二磨牙、下颌第三磨牙、上颌第一磨牙、上颌第二磨牙和上颌第三磨牙的牙齿根部分叉距离为 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 、 p_6 和 p_7 ;处理器(2)分别设定上颌第一前磨

牙、下颌第一磨牙、下颌第二磨牙、下颌第三磨牙、上颌第一磨牙、上颌第二磨牙和上颌第三磨牙的牙齿根部根尖距为 q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 和 q_7 ;

所述牙齿根部根尖距为近远中根间水平面上的投影距离;

步骤703、根据公式 $\zeta_\sigma = z_{\max,\sigma} + p_\sigma - L_\sigma$,计算多根牙的牙根上分叉位置距离根颈的距离 ζ_σ ,其中, σ 为多根牙的牙齿类型数量且 σ 为1~7, L_σ 为牙齿全长且 $L_\sigma = c_\sigma + z_{\max,\sigma}$, c_σ 为多根牙牙齿牙冠的冠长, $z_{\max,\sigma}$ 为多根牙的牙根长度且 $z_{\max,\sigma} = \frac{c}{\alpha}$;

步骤704、对多根牙的牙齿建立三维笛卡尔坐标系 O_2 :首先,处理器(2)确定多根牙的牙冠牙合面的中心点,三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴垂直穿过牙冠牙合面的中心点;然后,穿过牙冠底部且垂直于三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴确定二维笛卡尔坐标系 o_2 ,三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴穿过二维笛卡尔坐标系 o_2 的坐标原点,其中,二维笛卡尔坐标系 o_2 中的x轴为三维笛卡尔坐标系 O_2 中的x轴且指向牙冠的唇舌方向,二维笛卡尔坐标系 o_2 中的y轴为三维笛卡尔坐标系 O_2 中的y轴且指向牙冠的近远中方向,牙冠位于三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴正方向上,牙根位于三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴负方向上;

步骤705、分割多根牙牙根:处理器(2)将多根牙的牙根从上之下分为根颈部、根颈分叉部和支根部,所述根颈部为牙颈至牙根上分叉位置区域且所述根颈部长度为 ζ_σ ,所述根颈分叉部为牙根上分叉位置下 ΔL 长度的区域,所述支根部的长度为 $\Delta L'$ 且 $\Delta L' = z_{\max,\sigma} - \zeta_\sigma - \Delta L$,所述支根部包括两个支根或三个支根;

步骤706、构建多根牙的牙根模型,过程如下:

步骤7061、构建多根牙的根颈部模型:首先,根据公式 $y_{\max} = \beta d$ 计算牙齿的颈宽 y_{\max} ,在多根牙牙冠的冠宽所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 o_2 相交的位置处确定颈宽 y_{\max} 的位置,其中,牙齿的颈宽 $y_{\max} = y_+ + |y_-|$ 且 $y_+ = |y_-|$, y_+ 为三维笛卡尔坐标系 O_2 的y轴正方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴最大垂直距离, $|y_-|$ 为三维笛卡尔坐标系 O_2 的y轴负方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴最大垂直距离,根据公式 $x_{\max} = \gamma h$ 计算牙齿的颈厚 x_{\max} ,在多根牙牙冠的冠厚所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 o_2 相交的位置处确定颈厚 x_{\max} 的位置,其中,牙根颈厚 x_{\max} 与三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴相交且 $x'_{\max} = x''_+ + |$

$x''_-|$, $\frac{x''_+}{|x''_-|}$ 与 $\frac{x''_+}{|x''_-|}$ 同比, x''_+ 为与三维笛卡尔坐标系 O_2 的x正向轴相交的点, $|x''_-|$ 为与三维笛

卡尔坐标系 O_2 的x负向轴相交的点, x''_+ 和 x''_- 分别为多根牙的牙冠牙合面上冠厚位置两端点的x坐标;然后,处理器(2)将三维笛卡尔坐标系 O_2 中 x''_+ 、 x''_- 、 y_+ 和 y_- 所在的位置设定为控制点 A'_0 、控制点 B'_0 、控制点 C'_0 和控制点 D'_0 ,对控制点 A'_0 、控制点 B'_0 、控制点 C'_0 和控制点 D'_0 采用三次样条插值方法确定一条封闭的多根牙的牙颈曲线;最后,在所述根颈部长度 ζ_σ 范围内填补多个纬线并在多个纬线上搭建多条经线,以相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补四边形面片,得到多根牙的根颈部模型;

步骤7062、构建多根牙的根颈分叉部模型:首先,处理器(2)获取多根牙的根颈部模型底部切面,当步骤701中确定多根牙的牙齿根部分叉数为两个时,在多根牙的根颈部模型底部切面所在的平面上对称的绘制两个椭圆且两个椭圆靠近多根牙的根颈部模型底部切面边缘沿近远中方向排列;当步骤701中确定多根牙的牙齿根部分叉数为三个时,在多根牙的根颈部模型底部切面所在的平面上对称的绘制三个椭圆,三个椭圆中的一个椭圆靠近多根

牙的根颈部模型底部切面边缘的唇侧,三个椭圆中的另两个椭圆靠近多根牙的根颈部模型底部切面边缘的舌侧且沿近远中方向对称排列;然后,处理器(2)以各个椭圆边界点为拖拽点,以多根牙的根颈部模型底部切面边界点和位于多根牙的根颈部模型底部切面内各个椭圆边界点之间的点为不动点,采用Laplace变形算法在 ΔL 长度上得到多根牙的根颈分叉部模型;

步骤7063、构建多根牙的支根部模型,过程如下:

步骤I、获取椭圆的四个控制点:处理器(2)获取步骤7062中一个椭圆的四个边界点 A'_0 、 B'_0 、 C'_0 和 D'_0 作为四个控制点;

步骤II、获取根尖控制点:处理器(2)根据牙齿根部根尖距、多根牙的牙根长度和多根牙牙冠的冠宽所在的剖面确定多根牙的牙齿根部分叉数为两个时的根尖控制点 E'_0 和 E''_0 ;处理器(2)根据牙齿根部根尖距、多根牙的牙根长度、多根牙牙冠的冠宽所在的剖面和多根牙牙冠的冠厚所在的剖面确定多根牙的牙齿根部分叉数为三个时的根尖控制点 E'_0 、 E''_0 和 E'''_0 ;

步骤III、支根椭圆与取根尖控制点的匹配:处理器(2)通过取根尖控制点与支根椭圆的四个控制点进行距离均值计算,距离均值计算结果最小的匹配成功;

步骤IV、牙根支根的长度方向上支根厚度与支根宽度的线性拟合:处理器(2)分别对步骤III中匹配成功的控制点进行二次多项式拟合得到支根厚度拟合曲线 $T_{r'}$ 和支根宽度拟合曲线 $W_{r'}$,其中, r' 为支根的牙根长度变量且 r' 满足: $0 < r' \leq \Delta L$;

步骤V、牙根支根纬线的形成:处理器(2)多次随机获取对步骤IV中支根长度变量 r' 的不同值,每个支根长度变量 r' 均采用三次样条插值方法对同一支根长度变量 r' 上的四个控制点进行曲线拟合,得到牙根支根的多个牙根纬线;

步骤VI、确定牙根支根经线:根据步骤V中的牙根支根的多个牙根纬线搭建牙根经线;

步骤VII、牙根支根模型的形成:处理器(2)以步骤VI中相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补三角形面片,得到牙根支根模型;

步骤VIII、两次或三次重复步骤I~步骤IV完成多根牙的支根部模型的构建;

步骤7064、多根牙完整牙齿根部模型的形成:处理器(2)依次将步骤7061中的构建的多根牙的根颈部模型、步骤7062中构建的多根牙的根颈分叉部模型和步骤7063中构建的多根牙的支根部模型从上至下进行组合,得到多根牙完整牙齿根部模型;

步骤707、多根牙的牙齿模型的整合:处理器(2)将步骤7064中得到多根牙完整牙齿根部模型与处理器(2)采集的多根牙的牙冠模型进行合并,得到多根牙的牙齿模型。

2.按照权利要求1所述的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于:步骤403中异常区域 ΔA 的面积阈值 $0.004\text{mm}^2 \leq \delta \leq 0.006\text{mm}^2$ 。

3.按照权利要求1所述的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于:步骤404中上颌中切牙的冠宽的阈值 $d_1 = 8.47\text{mm}$ 、下颌中切牙的冠宽的阈值 $d_2 = 5.53\text{mm}$ 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 $d_3 = 6.95\text{mm}$ 、下颌侧切牙的冠宽的阈值 $d_4 = 5.99\text{mm}$ 、上颌尖牙的冠宽的阈值 $d_5 = 7.73\text{mm}$ 、下颌尖牙的冠宽的阈值 $d_6 = 6.85\text{mm}$ 。

4.按照权利要求1所述的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于:步骤702中上颌第一前磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_1 = 14.24\text{mm}$ 、下颌第一磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_2 = 8.56\text{mm}$ 、下颌第二磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_3 = 8.80$ 、下颌第三磨牙的牙齿根部分叉距

离 $p_4=9.14$ 、上颌第一磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_5=9.65\text{mm}$ 、上颌第二磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_6=9.44\text{mm}$ 和上颌第三磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_7=9.63\text{mm}$ 。

5. 按照权利要求1所述的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于:步骤702中上颌第一前磨牙的牙齿根部根尖距 $q_1=8.05\text{mm}$ 、下颌第一磨牙的牙齿根部根尖距 $q_2=7.52\text{mm}$ 、下颌第二磨牙的牙齿根部根尖距 $q_3=5.18\text{mm}$ 、下颌第三磨牙的牙齿根部根尖距 $q_4=4.63\text{mm}$ 、上颌第一磨牙的牙齿根部根尖距 $q_5=2.24\text{mm}$ 、上颌第二磨牙的牙齿根部根尖距 $q_6=1.72\text{mm}$ 和上颌第三磨牙的牙齿根部根尖距 $q_7=1.23\text{mm}$ 。

基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法

技术领域

[0001] 本发明属于牙齿建模技术领域,具体涉及一种基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法。

背景技术

[0002] 当前获取三维牙颌数据并建立牙齿模型的方式主要有三维激光扫描、多目立体视觉采集重建、CT图像重构等方式。三维激光扫描利用三角法测量原理,利用CCD获取激光在模型表面的反射光而获取模型表面数据,三维激光扫描可以高速度及高精度的取得数据,现已有诸多学者将三维激光扫描运用于建立牙齿模型中。多目立体视觉采集重建是一种成本低廉、操作简单的数字化采集与重建方法,它利用两台高像素CMOS数字相机,从不同角度采集牙模图像来分析获取三维牙颌模型。CT图像重构利用对口腔进行CT扫描获得一系列二维图像并录入计算机中,使用处理软件将CT图像堆叠重建成三维牙齿模型,使用CT图像重构可用于活体建模,得到的三维牙齿模型信息全面、准确,近年来国内外学者使用不同的CT扫描进行建模,例如使用螺旋CT建立三维有限元模型,使用Micro-CT扫描建立第二前磨牙模型,基于CBCT的数字化牙列建模等。CT图像重构由于需要使用CT扫描,导致扫描用时长且费用高昂。然而三维激光扫描与多目立体视觉采集重建只能得到模型表面数据,内部信息无法获取。因此,现如今缺少一种结构简单、成本低、设计合理的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,在三维扫描得到的牙冠数据的基础上去快速仿真的建立牙根模型,以达到建立完整牙齿模型的目的。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其设计新颖合理,采用激光三维扫描仪获取单颗牙的牙冠模型,将牙冠与牙根分割,通过牙冠特征确定牙齿的类型,实现相应牙根模型的构建,精度高,计算量小且直观,快速有效,成本低,便于推广使用。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

[0005] 步骤一、确定牙齿基础信息:首先,通过激光三维扫描仪获取牙冠数据,激光三维扫描仪采集牙冠多个分段连续的三角网络的参数,同时获取牙冠的冠宽d、冠厚h和冠长c数据并通过处理器存储在存储器中;然后,给定各种类型牙冠的冠根比 α 、颈宽冠宽比 β 和颈厚冠厚比 γ ;

[0006] 步骤二、确定所述三角网络一个顶点处的平均曲率和高斯曲率,过程如下:

[0007] 步骤201、根据公式 $N_{f_k} = \frac{e_{i,j+1} \times e_{i,j}}{\|e_{i,j+1} \times e_{i,j}\|} = \frac{(v_{j+1} - v_i) \times (v_j - v_i)}{\|(v_{j+1} - v_i) \times (v_j - v_i)\|}$, 确定三角网络 f_k 的法

矢 N_{f_k} ,其中, v_i 为所述三角网络 f_k 的一个顶点,所述三角网络 f_k 为由 v_i 、 v_j 和 v_{j+1} 三顶点组成的三角网络, $e_{i,j}$ 和 $e_{i,j+1}$ 分别表示由顶点 v_i 指向顶点 v_j 和 v_{j+1} 的两条边矢量, $k \in \text{planes}(v_i)$,

planes (v_i) 为顶点 v_i 所有邻接三角网格的集合, i 和 j 均为正整数;

[0008] 步骤202、根据公式 $N_{v_i} = \frac{\sum_{k \in \text{planes}(v_i)} A_k \alpha_k N_{f_k}}{\left\| \sum_{k \in \text{planes}(v_i)} A_k \alpha_k N_{f_k} \right\|}$, 对所述三角网格 f_k 的法矢 N_{f_k} 进行加权平均, 计算顶点 v_i 的法矢 N_{v_i} , 其中 A_k 为三角网格 f_k 的面积, α_k 为三角网格 f_k 在顶点 v_i 处的顶角;

[0009] 步骤203、根据公式 $H_{v_i} = \frac{1}{4\pi} \sum k_{v_j} (\alpha_k + \alpha_{k+1})$, 计算顶点 v_i 的平均曲率 H_{v_i} , 其中,

$k_{v_j} = -\frac{(N_{v_j} - N_{v_i}) \cdot (v_j - v_i)}{(v_j - v_i) \cdot (v_j - v_i)}$ 为顶点 v_i 沿 $v_i v_j$ 方向的法曲率 k_{v_j} ;

[0010] 步骤204、根据公式 $K_{v_i} = \frac{1}{A_M} (2\pi - \sum \alpha_k)$, 计算顶点 v_i 的高斯曲率 K_{v_i} , 其中, A_M 为顶点 v_i 所有邻接三角网格的面积之和;

[0011] 步骤三、多次重复步骤二, 直至完成牙冠多个分段连续的三角网格的各个顶点处的平均曲率和高斯曲率的计算过程;

[0012] 步骤四、牙冠类型的提取, 过程如下:

[0013] 步骤401、确定每个所述三角网格的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f : 通过处理器计算每个所述三角网格三个顶点的平均曲率和高斯曲率的平均值, 得到每个所述三角网格的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f ;

[0014] 步骤402、区域生长及融合: 通过处理器统计步骤401中平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f 均大于零的三角网格, 并将相邻的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f 均大于零的三角网格合并为区域 I; 通过处理器统计平均曲率 $H_f > 0$ 且高斯曲率 $K_f < 0$ 的三角网格, 并将相邻的平均曲率 $H_f > 0$ 且高斯曲率 $K_f < 0$ 的三角网格合并为区域 II; 通过处理器统计平均曲率 $H_f < 0$ 的三角网格, 并将相邻的平均曲率 $H_f < 0$ 的三角网格合并为区域 III;

[0015] 所述区域 I、所述区域 II 和所述区域 III 的数量均为一个或多个, 所述区域 I 为牙冠牙合面上的牙尖区域, 所述区域 II 为牙冠牙合面上的牙嵴区域, 所述区域 III 为牙冠牙合面上的牙窝区域;

[0016] 步骤403、异常区域 ΔA 的合并归类: 通过处理器设定异常区域 ΔA 的面积阈值 δ , 异常区域 ΔA 为所述区域 I、所述区域 II 或所述区域 III, 步骤402中相邻的两个相同区域之间的异常区域 $\Delta A < \delta$ 时, 调整所述异常区域 ΔA 的类型并将所述异常区域 ΔA 合并归类为与之相邻的共有边界最长的区域;

[0017] 步骤404、牙冠类型的确定: 处理器设定所述区域 II 的相对面积阈值 s , 当步骤403调整后的所述区域 II 的相对面积阈值 $s_{11} > s$ 时, 说明该牙冠为切牙牙冠, 同时处理器分别设定上颌中切牙的冠宽的阈值 d_1 、下颌中切牙的冠宽的阈值 d_2 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 d_3 和下颌侧切牙的冠宽的阈值 d_4 , 步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌中切牙的冠宽的阈值 d_1 、下颌中切牙的冠宽的阈值 d_2 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 d_3 和下颌侧切牙的冠宽的阈值 d_4 进行差值计算, 得到差值最小值并确定切牙牙冠类型; 否则, 该牙冠为除切牙外的其他类型牙冠, 处理器根据步骤403调整后的所述区域 I 的数量确定除切牙外的其他类型牙冠: 当所述区域 I 的数量为一个时, 说明该牙冠为尖牙牙冠, 同时处理器分别设定上颌尖牙的冠宽的阈

值 d_5 和下颌尖牙的冠宽的阈值 d_6 ,步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌尖牙的冠宽的阈值 d_5 和下颌尖牙的冠宽的阈值 d_6 进行差值计算,得到差值最小值并确定尖牙牙冠类型;当所述区域I的数量为两个或三个时,说明该牙冠为前磨牙牙冠,同时处理器分别设定上颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_7 、下颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_8 、上颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_9 和下颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_{10} ,步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_7 、下颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_8 、上颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_9 和下颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_{10} 进行差值计算,得到差值最小值并确定前磨牙牙冠类型;当所述区域I的数量为四个或五个时,说明该牙冠为磨牙牙冠,同时处理器分别设定上颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{11} 、下颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{12} 、上颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{13} 、下颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{14} 、上颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{15} 和下颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{16} ,步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{11} 、下颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{12} 、上颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{13} 、下颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{14} 、上颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{15} 和下颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{16} 进行差值计算,得到差值最小值并确定磨牙牙冠类型;

[0018] 步骤五、判断牙根类型是否为单根:处理器根据步骤404得到的牙冠类型判断牙根个数:当步骤404得到的牙冠类型为上颌中切牙牙冠、下颌中切牙牙冠、上颌侧切牙牙冠、下颌侧切牙牙冠、上颌尖牙牙冠、下颌尖牙牙冠、下颌第一前磨牙牙冠、上颌第二前磨牙牙冠或下颌第二前磨牙牙冠时,该牙冠对应的牙根为单根,执行步骤六;否则,该牙冠对应的牙根为多根,执行步骤七;

[0019] 步骤六、构建单根牙的牙齿模型,具体过程如下:

[0020] 步骤601、对单根牙的牙齿建立三维笛卡尔坐标系 O_1 :首先,处理器确定单根牙的牙冠牙合面的中心点,三维笛卡尔坐标系 O_1 的z轴垂直穿过牙冠牙合面的中心点;然后,穿过牙冠底部且垂直于三维笛卡尔坐标系 O_1 的z轴确定二维笛卡尔坐标系 o_1 ,三维笛卡尔坐标系 O_1 的z轴穿过二维笛卡尔坐标系 o_1 的坐标原点,其中,二维笛卡尔坐标系 o_1 中的x轴为三维笛卡尔坐标系 O_1 中的x轴且指向牙冠的唇舌方向,二维笛卡尔坐标系 o_1 中的y轴为三维笛卡尔坐标系 O_1 中的y轴且指向牙冠的近远中方向,牙冠位于三维笛卡尔坐标系 O_1 的z轴正方向上,牙根位于三维笛卡尔坐标系 O_1 的z轴负方向上;

[0021] 步骤602、确定单根牙的牙根长度 z'_{max} 和单根牙的牙颈曲线:首先,根据公式

$z'_{max} = \frac{c}{\alpha}$ 计算牙根长度 z'_{max} ,牙根长度 z'_{max} 与三维笛卡尔坐标系 O_1 的z轴相交于控制点 E_0 ;然后,根据公式 $y'_{max} = \beta d$ 计算牙齿的颈宽 y'_{max} ,在牙冠的冠宽所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 o_1 相交的位置处确定颈宽 y'_{max} 的位置,其中,牙齿的颈宽 $y'_{max} = y'_{+} + |y'_{-}|$ 且 $y'_{+} = |y'_{-}|$,

y'_{+} 为三维笛卡尔坐标系 O_1 的y轴正方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_1 的x轴最大垂直距离, $|y'_{-}|$ 为三维笛卡尔坐标系 O_1 的y轴负方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_1 的x轴最大垂直距离,根据公式 $x'_{max} = \gamma h$ 计算牙齿的颈厚 x'_{max} ,在牙冠的冠厚所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 o_1 相交的位置处确定颈厚 x'_{max} 的位置,其中,牙根颈厚 x'_{max} 与

三维笛卡尔坐标系 O_1 的x轴相交且 $x'_{max} = x'_{+} + |x'_{-}|$, $\frac{x'_{+}}{x'_{-}}$ 与 $\frac{x_{+}}{x_{-}}$ 同比, x'_{+} 为与三维笛卡尔坐

标系 O_1 的x正向轴相交的点, $|x'_{-}|$ 为与三维笛卡尔坐标系 O_1 的x负向轴相交的点, x_{+} 和 x_{-} 分别为牙冠牙合面上冠厚位置两端点的x坐标;最后,处理器将三维笛卡尔坐标系 O_1 中 x'_{+} 、 x'_{-} 、

y'_+ 和 y'_- 所在的位置设定为控制点 A_0 、控制点 B_0 、控制点 C_0 和控制点 D_0 ，对控制点 A_0 、控制点 B_0 、控制点 C_0 和控制点 D_0 采用三次样条插值方法确定一条封闭的单根牙的牙颈曲线；

[0022] 步骤603、构建单根牙的牙根纬线，过程如下：

[0023] 步骤6031、单根牙的牙根长度方向上牙根厚度与牙根宽度的线性拟合：处理器分别对步骤602中的控制点 A_0 、控制点 B_0 和控制点 C_0 、控制点 E_0 、控制点 D_0 进行二次多项式拟合得到牙根厚度拟合曲线 T_r 和牙根宽度拟合曲线 W_r ，其中， r 为单根牙的牙根长度变量且 r 满足： $0 < r \leq z'_{\max}$ ；

[0024] 步骤6032、单根牙的牙根上控制点的获取：处理器随机选取步骤6031中牙根厚度拟合曲线 T_r 和牙根宽度拟合曲线 W_r 上牙根长度变量 r 的多个不同取值，得到控制点集 $\{A_r, C_r, B_r, D_r\}$ ；

[0025] 步骤6033、单根牙的牙根纬线的形成：处理器采用三次样条插值方法对步骤6032中同一牙根长度变量 r 上的四个控制点进行曲线拟合，得到单根牙的多个牙根纬线；

[0026] 步骤604、确定单根牙的牙根经线：根据步骤6033中的单根牙的多个牙根纬线搭建牙根经线；

[0027] 步骤605、单根牙完整牙齿根部模型的形成：处理器以相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补三角形面片，得到单根牙完整牙齿根部模型；

[0028] 步骤606、单根牙的牙齿模型的整合：处理器将步骤605中得到单根牙完整牙齿根部模型与处理器采集的牙冠模型进行合并，得到单根牙的牙齿模型；

[0029] 步骤七、构建多根牙的牙齿模型，具体过程如下：

[0030] 步骤701、确定多根牙的牙齿根部分叉数：当步骤404得到的牙冠类型为上颌第一前磨牙牙冠、下颌第一磨牙牙冠、下颌第二磨牙牙冠或下颌第三磨牙牙冠时，该牙冠对应的根部分叉数为两个；当步骤404得到的牙冠类型为上颌第一磨牙牙冠、上颌第二磨牙牙冠或上颌第三磨牙牙冠时，该牙冠对应的根部分叉数为三个；

[0031] 步骤702、多根牙的牙齿根部分叉距离和根尖距的确定：处理器分别设定上颌第一前磨牙、下颌第一磨牙、下颌第二磨牙、下颌第三磨牙、上颌第一磨牙、上颌第二磨牙和上颌第三磨牙的牙齿根部分叉距离为 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 、 p_6 和 p_7 ；处理器分别设定上颌第一前磨牙、下颌第一磨牙、下颌第二磨牙、下颌第三磨牙、上颌第一磨牙、上颌第二磨牙和上颌第三磨牙的牙齿根部根尖距为 q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 和 q_7 ；

[0032] 所述牙齿根部根尖距为近远中根间水平面上的投影距离；

[0033] 步骤703、根据公式 $\zeta_\sigma = z_{\max, \sigma} + p_\sigma - L_\sigma$ ，计算多根牙的牙根上分叉位置距离根颈的距离 ζ_σ ，其中， σ 为多根牙的牙齿类型数量且 σ 为1~7， L_σ 为牙齿全长且 $L_\sigma = C_\sigma + z_{\max, \sigma}$ ， C_σ 为多根牙牙齿牙冠的冠长， $z_{\max, \sigma}$ 为多根牙的牙根长度且 $z_{\max, \sigma} = \frac{c}{\alpha}$ ；

[0034] 步骤704、对多根牙的牙齿建立三维笛卡尔坐标系 O_2 ：首先，处理器确定多根牙的牙冠牙合面的中心点，三维笛卡尔坐标系 O_2 的 z 轴垂直穿过牙冠牙合面的中心点；然后，穿过牙冠底部且垂直于三维笛卡尔坐标系 O_2 的 z 轴确定二维笛卡尔坐标系 o_2 ，三维笛卡尔坐标系 O_2 的 z 轴穿过二维笛卡尔坐标系 o_2 的坐标原点，其中，二维笛卡尔坐标系 o_2 中的 x 轴为三维笛卡尔坐标系 O_2 中的 x 轴且指向牙冠的唇舌方向，二维笛卡尔坐标系 o_2 中的 y 轴为三维笛卡尔坐标系 O_2 中的 y 轴且指向牙冠的近远中方向，牙冠位于三维笛卡尔坐标系 O_2 的 z 轴正方向

上,牙根位于三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴负方向上;

[0035] 步骤705、分割多根牙牙根:处理器将多根牙的牙根从上之下分为根颈部、根颈分叉部和支根部,所述根颈部为牙颈至牙根上分叉位置区域且所述根颈部长度为 ζ_0 ,所述根颈分叉部为牙根上分叉位置下 ΔL 长度的区域,所述支根部的长度为 $\Delta L'$ 且 $\Delta L' = z_{\max, \sigma} - \zeta_0 - \Delta L$,所述支根部包括两个支根或三个支根;

[0036] 步骤706、构建多根牙的牙根模型,过程如下:

[0037] 步骤7061、构建多根牙的根颈部模型:首先,根据公式 $y_{\max} = \beta d$ 计算牙齿的颈宽 y_{\max} ,在多根牙牙冠的冠宽所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 O_2 相交的位置处确定颈宽 y_{\max} 的位置,其中,牙齿的颈宽 $y_{\max} = y_+ + |y_-|$ 且 $y_+ = |y_-|$, y_+ 为三维笛卡尔坐标系 O_2 的y轴正方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴最大垂直距离, $|y_-|$ 为三维笛卡尔坐标系 O_2 的y轴负方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴最大垂直距离,根据公式 $x_{\max} = \gamma h$ 计算牙齿的颈厚 x_{\max} ,在多根牙牙冠的冠厚所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 O_2 相交的位置处确定颈厚 x_{\max} 的位置,其中,牙根颈厚 x_{\max} 与三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴相交且 $x'_{\max} = x''_+ + |x''_-|$, $\frac{x''_+}{x''_-}$ 与 $\frac{x''_+}{x''_-}$ 同比, x''_+ 为与三维笛卡尔坐标系 O_2 的x正向轴相交的点, $|x''_-|$ 为与三维笛卡尔坐标系 O_2 的x负向轴相交的点, x''_+ 和 x''_- 分别为多根牙的牙冠牙合面上冠厚位置两端点的x坐标;然后,处理器将三维笛卡尔坐标系 O_2 中 x''_+ 、 x''_- 、 y_+ 和 y_- 所在的位置设定为控制点 A'_0 、控制点 B'_0 、控制点 C'_0 和控制点 D'_0 ,对控制点 A'_0 、控制点 B'_0 、控制点 C'_0 和控制点 D'_0 采用三次样条插值方法确定一条封闭的多根牙的牙颈曲线;最后,在所述根颈部长度 ζ_0 范围内填补多个纬线并在多个纬线上搭建多条经线,以相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补四边形面片,得到多根牙的根颈部模型;

[0038] 步骤7062、构建多根牙的根颈分叉部模型:首先,处理器获取多根牙的根颈部模型底部切面,当步骤701中确定多根牙的牙齿根部分叉数为两个时,在多根牙的根颈部模型底部切面所在的平面上对称的绘制两个椭圆且两个椭圆靠近多根牙的根颈部模型底部切面边缘沿近远中方向排列;当步骤701中确定多根牙的牙齿根部分叉数为三个时,在多根牙的根颈部模型底部切面所在的平面上对称的绘制三个椭圆,三个椭圆中的一个椭圆靠近多根牙的根颈部模型底部切面边缘的唇侧,三个椭圆中的另两个椭圆靠近多根牙的根颈部模型底部切面边缘的舌侧且沿近远中方向对称排列;然后,处理器以各个椭圆边界点为拖拽点,以多根牙的根颈部模型底部切面边界点和位于多根牙的根颈部模型底部切面内各个椭圆边界点之间的点为不动点,采用Laplace变形算法在 ΔL 长度上得到多根牙的根颈分叉部模型;

[0039] 步骤7063、构建多根牙的支根部模型,过程如下:

[0040] 步骤I、获取椭圆的四个控制点:处理器获取步骤7062中一个椭圆的四个边界点 A'_0 、 B'_0 、 C'_0 和 D'_0 作为四个控制点;

[0041] 步骤II、获取根尖控制点:处理器根据牙齿根部根尖距、多根牙的牙根长度和多根牙牙冠的冠宽所在的剖面确定多根牙的牙齿根部分叉数为两个时的根尖控制点 E'_0 和 E''_0 ;处理器根据牙齿根部根尖距、多根牙的牙根长度、多根牙牙冠的冠宽所在的剖面和多根牙牙冠的冠厚所在的剖面确定多根牙的牙齿根部分叉数为三个时的根尖控制点 E'_0 、 E''_0 和 E'''_0 ;

[0042] 步骤III、支根椭圆与取根尖控制点的匹配:处理器通过取根尖控制点与支根椭圆的四个控制点进行距离均值计算,距离均值计算结果最小的匹配成功;

[0043] 步骤IV、牙根支根的长度方向上支根厚度与支根宽度的线性拟合:处理器分别对步骤III中匹配成功的控制点进行二次多项式拟合得到支根厚度拟合曲线 $T_{r'}$ 和支根宽度拟合曲线 $W_{r'}$,其中, r' 为支根的牙根长度变量且 r' 满足: $0 < r' \leq \Delta L'$;

[0044] 步骤V、牙根支根纬线的形成:处理器多次随机获取对步骤IV中支根长度变量 r' 的不同值,每个支根长度变量 r' 均采用三次样条插值方法对同一支根长度变量 r' 上的四个控制点进行曲线拟合,得到牙根支根的多个牙根纬线;

[0045] 步骤VI、确定牙根支根经线:根据步骤V中的牙根支根的多个牙根纬线搭建牙根经线;

[0046] 步骤VII、牙根支根模型的形成:处理器以步骤VI中相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补三角形面片,得到牙根支根模型;

[0047] 步骤VIII、两次或三次重复步骤I~步骤IV完成多根牙的支根部模型的构建;

[0048] 步骤7064、多根牙完整牙齿根部模型的形成:处理器依次将步骤7061中的构建的多根牙的根颈部模型、步骤7062中构建的多根牙的根颈分叉部模型和步骤7063中构建的多根牙的支根部模型从上至下进行组合,得到多根牙完整牙齿根部模型;

[0049] 步骤707、多根牙的牙齿模型的整合:处理器将步骤7064中得到多根牙完整牙齿根部模型与处理器采集的多根牙的牙冠模型进行合并,得到多根牙的牙齿模型。

[0050] 上述的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于:步骤403中异常区域 ΔA 的面积阈值 $0.004\text{mm}^2 \leq \delta \leq 0.006\text{mm}^2$ 。

[0051] 上述的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于:步骤404中上颌中切牙的冠宽的阈值 $d_1=8.47\text{mm}$ 、下颌中切牙的冠宽的阈值 $d_2=5.53\text{mm}$ 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 $d_3=6.95\text{mm}$ 、下颌侧切牙的冠宽的阈值 $d_4=5.99\text{mm}$ 、上颌尖牙的冠宽的阈值 $d_5=7.73\text{mm}$ 、下颌尖牙的冠宽的阈值 $d_6=6.85\text{mm}$ 。

[0052] 上述的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于:步骤702中上颌第一前磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_1=14.24\text{mm}$ 、下颌第一磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_2=8.56\text{mm}$ 、下颌第二磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_3=8.80$ 、下颌第三磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_4=9.14$ 、上颌第一磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_5=9.65\text{mm}$ 、上颌第二磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_6=9.44\text{mm}$ 和上颌第三磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_7=9.63\text{mm}$ 。

[0053] 上述的基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,其特征在于:步骤702中上颌第一前磨牙的牙齿根部根尖距 $q_1=8.05\text{mm}$ 、下颌第一磨牙的牙齿根部根尖距 $q_2=7.52\text{mm}$ 、下颌第二磨牙的牙齿根部根尖距 $q_3=5.18\text{mm}$ 、下颌第三磨牙的牙齿根部根尖距 $q_4=4.63\text{mm}$ 、上颌第一磨牙的牙齿根部根尖距 $q_5=2.24\text{mm}$ 、上颌第二磨牙的牙齿根部根尖距 $q_6=1.72\text{mm}$ 和上颌第三磨牙的牙齿根部根尖距 $q_7=1.23\text{mm}$ 。

[0054] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0055] 1、本发明通过采用激光三维扫描仪获取牙冠数据,激光三维扫描仪获取数据速度快,精度高,便于推广使用。

[0056] 2、本发明针对单颗牙的牙冠数据,计算牙冠牙合面上每个三角网格各个顶点处的平均曲率和高斯曲率,均值化得倒每个三角网格的平均曲率和高斯曲率,通过区域生长及

融合和异常区域的合并归类实现牙冠牙合面的类型的判断,可靠稳定,准确性高,使用效果好。

[0057] 3、本发明针对单根牙的牙冠数据,对单根牙建立三维笛卡尔坐标系 O_1 ,通过单根牙的控制点拟合牙颈曲线、牙根厚度拟合曲线和牙根宽度拟合曲线,实现单根牙的纬线形成,通过搭建经线和填补三角面片构建单根牙的牙齿模型,步骤简单。

[0058] 4、本发明针对多根牙的牙冠数据,对多根牙建立三维笛卡尔坐标系 O_2 ,将多根牙划分为牙冠、根颈部、根颈分叉部和支根部,实现各个部分的模型建立,通过组合构建多根牙的牙齿模型,方法简单,其中,根颈分叉部采用获取多根牙的根颈部模型底部切面,通过Laplace变形算法得到根颈分叉部模型,使用效果好。

[0059] 5、本发明设计新颖合理,体积小,及时传输电梯的报警信息且延时短,响应速度快,拆卸安装方便,实用性强,便于推广使用。

[0060] 综上所述,本发明设计新颖合理,采用激光三维扫描仪获取单颗牙的牙冠模型,将牙冠与牙根分割,通过牙冠特征确定牙齿的类型,实现相应牙根模型的构建,精度高,计算量小且直观,快速有效,成本低,便于推广使用。

[0061] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

[0062] 图1为本发明的牙齿建模方法的方法流程图。

[0063] 图2为本发明采用的牙齿建模设备的电路原理框图。

[0064] 图3为本发明三角网格一个顶点的法矢示意图。

[0065] 图4为本发明区域生长及融合的原理示意图。

[0066] 图5为本发明异常区域合并归类的原理示意图。

[0067] 图6为本发明单根牙的牙颈曲线示意图。

[0068] 图7为本发明单根牙牙根纬线形成的示意图。

[0069] 图8为本发明单根牙牙根经线形成的示意图。

[0070] 图9为本发明上颌中切牙的牙齿模型正视图。

[0071] 图10为图9的侧视图。

[0072] 图11为图9中上颌中切牙的原始牙齿模型正视图。

[0073] 图12为图11的侧视图。

[0074] 图13为本发明多根牙的根颈部模型底部切面的示意图。

[0075] 图14为本发明多根牙的根颈分叉部模型的结构示意图。

[0076] 图15为本发明上颌第三磨牙牙齿模型的结构示意图。

[0077] 图16为本图15中上颌第三磨牙原始牙齿模型的结构示意图。

[0078] 附图标记说明:

[0079] 1—激光三维扫描仪; 2—处理器; 3—存储器;

[0080] 4—显示器。

具体实施方式

[0081] 如图1和图2所示,本发明基于牙冠与牙根特征的牙齿建模方法,包括以下步骤:

[0082] 步骤一、确定牙齿基础信息：首先，通过激光三维扫描仪1获取牙冠数据，激光三维扫描仪1采集牙冠多个分段连续的三角网格的参数，同时获取牙冠的冠宽d、冠厚h和冠长c数据并通过处理器2存储在存储器3中；然后，给定各种类型牙冠的冠根比 α 、颈宽冠宽比 β 和颈厚冠厚比 γ ；

[0083] 本实施例中，根据人类恒牙共32个，牙齿中间对称轴称作中线，靠近中线的方向称为近中，远中即远离中线方向，32个恒牙左右对称排列且成对出现，成对出现的恒牙为同名牙，同名牙的牙冠与牙根特征相同，故人类恒牙只存在16种类型，16种类型的恒牙分别为上颌中切牙、下颌中切牙、上颌侧切牙、下颌侧切牙、上颌尖牙、下颌尖牙、上颌第一前磨牙、下颌第一前磨牙、上颌第二前磨牙、下颌第二前磨牙、上颌第一磨牙、下颌第一磨牙、上颌第二磨牙、下颌第二磨牙、上颌第三磨牙和下颌第三磨牙；各种类型牙冠的冠根比 α 、颈宽冠宽比 β 和颈厚冠厚比 γ 如表1；

[0084] 表1

[0085]

牙冠类型	上颌			下颌		
	α	β	γ	α	β	γ
中切牙	0.95	0.72	0.88	0.76	0.67	0.94
侧切牙	0.83	0.73	0.92	0.73	0.66	0.96
尖牙	0.71	0.74	0.95	0.73	0.76	0.96
第一前磨牙	0.68	0.66	0.88	0.66	0.68	0.87
第二前磨牙	0.62	0.68	0.89	0.61	0.68	0.84
第一磨牙	0.55	0.74	0.93	0.57	0.80	0.82
第二磨牙	0.58	0.77	0.94	0.59	0.80	0.84
第三磨牙	0.61	0.79	0.92	0.66	0.83	0.86

[0086] 步骤二、确定所述三角网格一个顶点处的平均曲率和高斯曲率，过程如下：

[0087] 步骤201、根据公式 $N_{f_k} = \frac{e_{i,j+1} \times e_{ij}}{\|e_{i,j+1} \times e_{ij}\|} = \frac{(v_{j+1} - v_i) \times (v_j - v_i)}{\|(v_{j+1} - v_i) \times (v_j - v_i)\|}$ ，确定三角网格 f_k 的法矢

N_{f_k} ，其中， v_i 为所述三角网格 f_k 的一个顶点，所述三角网格 f_k 为由 v_i 、 v_j 和 v_{j+1} 三顶点组成的三角网格， e_{ij} 和 $e_{i,j+1}$ 分别表示由顶点 v_i 指向顶点 v_j 和 v_{j+1} 的两条边矢量， $k \in \text{planes}(v_i)$ ， $\text{planes}(v_i)$ 为顶点 v_i 所有邻接三角网格的集合， i 和 j 均为正整数；

[0088] 步骤202、根据公式 $N_{v_i} = \frac{\sum_{k \in \text{planes}(v_i)} A_k \alpha_k N_{f_k}}{\left\| \sum_{k \in \text{planes}(v_i)} A_k \alpha_k N_{f_k} \right\|}$ ，对所述三角网格 f_k 的法矢 N_{f_k} 进行加权平

均,计算顶点 v_i 的法矢 N_{v_i} ,其中 A_k 为三角网格 f_k 的面积, α_k 为三角网格 f_k 在顶点 v_i 处的顶角;

[0089] 步骤203、根据公式 $H_{v_i} = \frac{1}{4\pi} \sum k_{v_j} (\alpha_k + \alpha_{k+1})$,计算顶点 v_i 的平均曲率 H_{v_i} ,其中,

$$k_{v_j} = -\frac{(N_{v_j} - N_{v_i}) \cdot (v_j - v_i)}{(v_j - v_i) \cdot (v_j - v_i)}$$

为顶点 v_i 沿 $v_i v_j$ 方向的法曲率 k_{v_j} ;

[0090] 步骤204、根据公式 $K_{v_i} = \frac{1}{A_M} (2\pi - \sum \alpha_k)$,计算顶点 v_i 的高斯曲率 K_{v_i} ,其中, A_M 为顶点 v_i 所有邻接三角网格的面积之和;

[0091] 如图3所示,以 v_i 为顶点,查找顶点 v_i 所在的所有三角网格,计算顶点 v_i 的法矢 N_{v_i} 和与顶点 v_i 相邻的所有三角网格的平均曲率和高斯曲率,为判断牙冠牙合面的类型提供精准可靠的依据;

[0092] 步骤三、多次重复步骤二,直至完成牙冠多个分段连续的三角网格的各个顶点处的平均曲率和高斯曲率的计算过程;

[0093] 步骤四、牙冠类型的提取,过程如下:

[0094] 步骤401、确定每个所述三角网格的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f :通过处理器2计算每个所述三角网格三个顶点的平均曲率和高斯曲率的平均值,得到每个所述三角网格的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f ;

[0095] 步骤402、区域生长及融合:通过处理器2统计步骤401中平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f 均大于零的三角网格,并将相邻的平均曲率 H_f 和高斯曲率 K_f 均大于零的三角网格合并为区域I;通过处理器2统计平均曲率 $H_f > 0$ 且高斯曲率 $K_f < 0$ 的三角网格,并将相邻的平均曲率 $H_f > 0$ 且高斯曲率 $K_f < 0$ 的三角网格合并为区域II;通过处理器2统计平均曲率 $H_f < 0$ 的三角网格,并将相邻的平均曲率 $H_f < 0$ 的三角网格合并为区域III;

[0096] 所述区域I、所述区域II和所述区域III的数量均为一个或多个,所述区域I为牙冠牙合面上的牙尖区域,所述区域II为牙冠牙合面上的牙嵴区域,所述区域III为牙冠牙合面上的牙窝区域;

[0097] 步骤403、异常区域 ΔA 的合并归类:通过处理器2设定异常区域 ΔA 的面积阈值 δ ,异常区域 ΔA 为所述区域I、所述区域II或所述区域III,步骤402中相邻的两个相同区域之间的异常区域 $\Delta A < \delta$ 时,调整所述异常区域 ΔA 的类型并将所述异常区域 ΔA 合并归类为与之相邻的共有边界最长的区域;

[0098] 本实施例中,步骤403中异常区域 ΔA 的面积阈值 $0.004\text{mm}^2 \leq \delta \leq 0.006\text{mm}^2$;

[0099] 如图4和图5所示,根据区域生长及融合,将牙冠牙合面合并成所述区域I、所述区域II或所述区域III,所述区域III与所述区域I相邻的共有边界长度为 $l_1 + l_2$,所述区域III与所述区域II相邻的共有边界长度为 $l_3 + l_4$,其中,所述区域III与所述区域I相邻的共有边界长度大于所述区域III与所述区域II相邻的共有边界长度,将所述区域III合并归类为所述区域I。

[0100] 步骤404、牙冠类型的确定:处理器2设定所述区域II的相对面积阈值 s ,当步骤403调整后的所述区域II的相对面积阈值 $s_{II} > s$ 时,说明该牙冠为切牙牙冠,同时处理器2分别设定上颌中切牙的冠宽的阈值 d_1 、下颌中切牙的冠宽的阈值 d_2 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 d_3 和下颌侧切牙的冠宽的阈值 d_4 ,步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌中切牙的冠宽的阈值 d_1 、下

颌中切牙的冠宽的阈值 d_2 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 d_3 和下颌侧切牙的冠宽的阈值 d_4 进行差值计算,得到差值最小值并确定切牙牙冠类型;否则,该牙冠为除切牙外的其他类型牙冠,处理器2根据步骤403调整后的所述区域I的数量确定除切牙外的其他类型牙冠:当所述区域I的数量为一个时,说明该牙冠为尖牙牙冠,同时处理器2分别设定上颌尖牙的冠宽的阈值 d_5 和下颌尖牙的冠宽的阈值 d_6 ,步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌尖牙的冠宽的阈值 d_5 和下颌尖牙的冠宽的阈值 d_6 进行差值计算,得到差值最小值并确定尖牙牙冠类型;当所述区域I的数量为两个或三个时,说明该牙冠为前磨牙牙冠,同时处理器2分别设定上颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_7 、下颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_8 、上颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_9 和下颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_{10} ,步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_7 、下颌第一前磨牙的冠宽的阈值 d_8 、上颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_9 和下颌第二前磨牙的冠宽的阈值 d_{10} 进行差值计算,得到差值最小值并确定前磨牙牙冠类型;当所述区域I的数量为四个或五个时,说明该牙冠为磨牙牙冠,同时处理器2分别设定上颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{11} 、下颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{12} 、上颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{13} 、下颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{14} 、上颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{15} 和下颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{16} ,步骤一中获取的冠宽 d 分别与上颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{11} 、下颌第一磨牙的冠宽的阈值 d_{12} 、上颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{13} 、下颌第二磨牙的冠宽的阈值 d_{14} 、上颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{15} 和下颌第三磨牙的冠宽的阈值 d_{16} 进行差值计算,得到差值最小值并确定磨牙牙冠类型;

[0101] 本实施例中,步骤404中上颌中切牙的冠宽的阈值 $d_1=8.47\text{mm}$ 、下颌中切牙的冠宽的阈值 $d_2=5.53\text{mm}$ 、上颌侧切牙的冠宽的阈值 $d_3=6.95\text{mm}$ 、下颌侧切牙的冠宽的阈值 $d_4=5.99\text{mm}$ 、上颌尖牙的冠宽的阈值 $d_5=7.73\text{mm}$ 、下颌尖牙的冠宽的阈值 $d_6=6.85\text{mm}$;根据实际调查、测量以及恒牙的大数据库得到各个恒牙的冠宽阈值,前磨牙和磨牙在实际测量与统计中与切牙和尖牙的冠宽阈值获取方法相同,每类恒牙的冠宽均在 $\pm 0.5\text{mm}$ 上下浮动,处理器2根据激光三维扫描仪1获取牙冠的冠宽 d 与各个类型的牙冠的冠宽阈值进行比较,将差值最小的作为依据,判断牙冠类型;

[0102] 步骤五、判断牙根类型是否为单根:处理器2根据步骤404得到的牙冠类型判断牙根个数:当步骤404得到的牙冠类型为上颌中切牙牙冠、下颌中切牙牙冠、上颌侧切牙牙冠、下颌侧切牙牙冠、上颌尖牙牙冠、下颌尖牙牙冠、下颌第一前磨牙牙冠、上颌第二前磨牙牙冠或下颌第二前磨牙牙冠时,该牙冠对应的牙根为单根,执行步骤六;否则,该牙冠对应的牙根为多根,执行步骤七;

[0103] 步骤六、构建单根牙的牙齿模型,具体过程如下:

[0104] 步骤601、对单根牙的牙齿建立三维笛卡尔坐标系 O_1 :首先,处理器2确定单根牙的牙冠牙合面的中心点,三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴垂直穿过牙冠牙合面的中心点;然后,穿过牙冠底部且垂直于三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴确定二维笛卡尔坐标系 o_1 ,三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴穿过二维笛卡尔坐标系 o_1 的坐标原点,其中,二维笛卡尔坐标系 o_1 中的 x 轴为三维笛卡尔坐标系 O_1 中的 x 轴且指向牙冠的唇舌方向,二维笛卡尔坐标系 o_1 中的 y 轴为三维笛卡尔坐标系 O_1 中的 y 轴且指向牙冠的近远中方向,牙冠位于三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴正方向上,牙根位于三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴负方向上;

[0105] 步骤602、确定单根牙的牙根长度 z'_{\max} 和单根牙的牙颈曲线:首先,根据公式

$z'_{\max} = \frac{c}{\alpha}$ 计算牙根长度 z'_{\max} , 牙根长度 z'_{\max} 与三维笛卡尔坐标系 O_1 的 z 轴相交于控制点 E_0 ; 然后, 根据公式 $y'_{\max} = \beta d$ 计算牙齿的颈宽 y'_{\max} , 在牙冠的冠宽所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 O_1 相交的位置处确定颈宽 y'_{\max} 的位置, 其中, 牙齿的颈宽 $y'_{\max} = y'_{+} + |y'_{-}|$ 且 $y'_{+} = |y'_{-}|$, y'_{+} 为三维笛卡尔坐标系 O_1 的 y 轴正方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_1 的 x 轴最大垂直距离, $|y'_{-}|$ 为三维笛卡尔坐标系 O_1 的 y 轴负方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_1 的 x 轴最大垂直距离, 根据公式 $x'_{\max} = \gamma h$ 计算牙齿的颈厚 x'_{\max} , 在牙冠的冠厚所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 O_1 相交的位置处确定颈厚 x'_{\max} 的位置, 其中, 牙根颈厚 x'_{\max} 与三维笛卡尔坐标系 O_1 的 x 轴相交且 $x'_{\max} = x'_{+} + |x'_{-}|$, $\frac{x'_{+}}{x'_{-}}$ 与 $\frac{x_{+}}{x_{-}}$ 同比, x'_{+} 为与三维笛卡尔坐

标系 O_1 的 x 正向轴相交的点, $|x'_{-}|$ 为与三维笛卡尔坐标系 O_1 的 x 负向轴相交的点, x_{+} 和 x_{-} 分别为牙冠牙合面上冠厚位置两端点的 x 坐标; 最后, 处理器 2 将三维笛卡尔坐标系 O_1 中 x'_{+} 、 x'_{-} 、 y'_{+} 和 y'_{-} 所在的位置设定为控制点 A_0 、控制点 B_0 、控制点 C_0 和控制点 D_0 , 对控制点 A_0 、控制点 B_0 、控制点 C_0 和控制点 D_0 采用三次样条插值方法确定一条封闭的单根牙的牙颈曲线;

[0106] 如图 6 所示, 单颗牙在三维笛卡尔坐标系 O_1 中, 根据冠根比得出牙颈的宽度和厚度, 牙颈的宽度控制点 C_0 和控制点 D_0 落在冠宽位置投影在二维笛卡尔坐标系 O_1 中的位置处, 牙颈的宽度与三维笛卡尔坐标系 O_1 的 y 轴平行且被 y 轴平分, 根据牙冠牙合面上中心位置到牙冠的厚度两侧的距离比确定牙颈的厚度控制点 A_0 和控制点 B_0 落在三维笛卡尔坐标系 O_1 的 x 轴上的位置;

[0107] 步骤 603、构建单根牙的牙根纬线, 过程如下:

[0108] 步骤 6031、单根牙的牙根长度方向上牙根厚度与牙根宽度的线性拟合: 处理器 2 分别对步骤 602 中的控制点 A_0 、控制点 E_0 、控制点 B_0 和控制点 C_0 、控制点 E_0 、控制点 D_0 进行二次多项式拟合得到牙根厚度拟合曲线 T_r 和牙根宽度拟合曲线 W_r , 其中, r 为单根牙的牙根长度变量且 r 满足: $0 < r \leq z'_{\max}$;

[0109] 步骤 6032、单根牙的牙根上控制点的获取: 处理器 2 随机选取步骤 6031 中牙根厚度拟合曲线 T_r 和牙根宽度拟合曲线 W_r 上牙根长度变量 r 的多个不同取值, 得到控制点集 $\{A_r, C_r, B_r, D_r\}$;

[0110] 步骤 6033、单根牙的牙根纬线的形成: 处理器 2 采用三次样条插值方法对步骤 6032 中同一牙根长度变量 r 上的四个控制点进行曲线拟合, 得到单根牙的多个牙根纬线;

[0111] 如图 7 所示, 控制点 A_0 、控制点 E_0 、控制点 B_0 进行二次多项式拟合得到牙根厚度拟合曲线 T_r , 控制点 C_0 、控制点 E_0 、控制点 D_0 进行二次多项式拟合得到牙根宽度拟合曲线 W_r , 不同的牙根长度上可得到四个控制点, 每个根长度上得到四个控制点均进行三次样条插值确定一条封闭的牙根纬线;

[0112] 步骤 604、确定单根牙的牙根经线: 根据步骤 6033 中的单根牙的多个牙根纬线搭建牙根经线;

[0113] 如图 8 所示, 搭建密集的牙根经线, 保持牙根的光滑;

[0114] 步骤 605、单根牙完整牙齿根部模型的形成: 处理器 2 以相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补三角形面片, 得到单根牙完整牙齿根部模型;

[0115] 步骤 606、单根牙的牙齿模型的整合: 处理器 2 将步骤 605 中得到单根牙完整牙齿根

部模型与处理器2采集的牙冠模型进行合并,得到单根牙的牙齿模型;

[0116] 如图9和图10所示,本实施例中,获取单颗中切牙的牙冠数据,形成单根牙完整牙齿根部模型,将单根牙完整牙齿根部模型与牙冠模型进行合并,得到单颗中切牙的牙齿模型,通过显示器4将处理器2得到的牙齿模型显示出来,并与实际牙齿模型进行比较,如图11和图12所示,单颗中切牙模型的正视图和侧视图与实际牙齿模型相似性高;

[0117] 步骤七、构建多根牙的牙齿模型,具体过程如下:

[0118] 步骤701、确定多根牙的牙齿根部分叉数:当步骤404得到的牙冠类型为上颌第一前磨牙牙冠、下颌第一磨牙牙冠、下颌第二磨牙牙冠或下颌第三磨牙牙冠时,该牙冠对应的根部分叉数为两个;当步骤404得到的牙冠类型为上颌第一磨牙牙冠、上颌第二磨牙牙冠或上颌第三磨牙牙冠时,该牙冠对应的根部分叉数为三个;

[0119] 步骤702、多根牙的牙齿根部分叉距离和根尖距的确定:处理器2分别设定上颌第一前磨牙、下颌第一磨牙、下颌第二磨牙、下颌第三磨牙、上颌第一磨牙、上颌第二磨牙和上颌第三磨牙的牙齿根部分叉距离为 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 、 p_6 和 p_7 ;处理器2分别设定上颌第一前磨牙、下颌第一磨牙、下颌第二磨牙、下颌第三磨牙、上颌第一磨牙、上颌第二磨牙和上颌第三磨牙的牙齿根部根尖距为 q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 和 q_7 ;

[0120] 所述牙齿根部根尖距为近远中根间水平面上的投影距离;

[0121] 本实施例中,步骤702中上颌第一前磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_1=14.24\text{mm}$ 、下颌第一磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_2=8.56\text{mm}$ 、下颌第二磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_3=8.80$ 、下颌第三磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_4=9.14$ 、上颌第一磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_5=9.65\text{mm}$ 、上颌第二磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_6=9.44\text{mm}$ 和上颌第三磨牙的牙齿根部分叉距离 $p_7=9.63\text{mm}$;步骤702中上颌第一前磨牙的牙齿根部根尖距 $q_1=8.05\text{mm}$ 、下颌第一磨牙的牙齿根部根尖距 $q_2=7.52\text{mm}$ 、下颌第二磨牙的牙齿根部根尖距 $q_3=5.18\text{mm}$ 、下颌第三磨牙的牙齿根部根尖距 $q_4=4.63\text{mm}$ 、上颌第一磨牙的牙齿根部根尖距 $q_5=2.24\text{mm}$ 、上颌第二磨牙的牙齿根部根尖距 $q_6=1.72\text{mm}$ 和上颌第三磨牙的牙齿根部根尖距 $q_7=1.23\text{mm}$;

[0122] 步骤703、根据公式 $\zeta_\sigma = z_{\max,\sigma} + p_\sigma - L_\sigma$,计算多根牙的牙根上分叉位置距离根颈的距离 ζ_σ ,其中, σ 为多根牙的牙齿类型数量且 σ 为1~7, L_σ 为牙齿全长且 $L_\sigma = C_\sigma + z_{\max,\sigma}$, C_σ 为多根牙牙齿牙冠的冠长, $z_{\max,\sigma}$ 为多根牙的牙根长度且 $z_{\max,\sigma} = \frac{c}{\alpha}$;

[0123] 步骤704、对多根牙的牙齿建立三维笛卡尔坐标系 O_2 :首先,处理器2确定多根牙的牙冠牙合面的中心点,三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴垂直穿过牙冠牙合面的中心点;然后,穿过牙冠底部且垂直于三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴确定二维笛卡尔坐标系 o_2 ,三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴穿过二维笛卡尔坐标系 o_2 的坐标原点,其中,二维笛卡尔坐标系 o_2 中的x轴为三维笛卡尔坐标系 O_2 中的x轴且指向牙冠的唇舌方向,二维笛卡尔坐标系 o_2 中的y轴为三维笛卡尔坐标系 O_2 中的y轴且指向牙冠的近远中方向,牙冠位于三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴正方向上,牙根位于三维笛卡尔坐标系 O_2 的z轴负方向上;

[0124] 步骤705、分割多根牙牙根:处理器2将多根牙的牙根从上之下分为根颈部、根颈分叉部和支根部,所述根颈部为牙颈至牙根上分叉位置区域且所述根颈部长度为 ζ_σ ,所述根颈分叉部为牙根上分叉位置下 ΔL 长度的区域,所述支根部的长度为 $\Delta L'$ 且 $\Delta L' = z_{\max,\sigma} - \zeta_\sigma - \Delta L$,所述支根部包括两个支根或三个支根;

[0125] 步骤706、构建多根牙的牙根模型,过程如下:

[0126] 步骤7061、构建多根牙的根颈部模型:首先,根据公式 $y_{\max} = \beta d$ 计算牙齿的颈宽 y_{\max} ,在多根牙牙冠的冠宽所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 O_2 相交的位置处确定颈宽 y_{\max} 的位置,其中,牙齿的颈宽 $y_{\max} = y_+ + |y_-|$ 且 $y_+ = |y_-|$, y_+ 为三维笛卡尔坐标系 O_2 的y轴正方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴最大垂直距离, $|y_-|$ 为三维笛卡尔坐标系 O_2 的y轴负方向上牙冠底部边缘距离三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴最大垂直距离,根据公式 $x_{\max} = \gamma h$ 计算牙齿的颈厚 x_{\max} ,在多根牙牙冠的冠厚所在的剖面与二维笛卡尔坐标系 O_2 相交的位置处确定颈厚 x_{\max} 的位置,其中,牙根颈厚 x_{\max} 与三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴相交且 $x'_{\max} = x''_+ + |x''_-|$, $\frac{x''_+}{x''_-}$ 与 $\frac{x''_+}{x''_-}$ 同比, x''_+ 为与三维笛卡尔坐标系 O_2 的x正向轴相交的点, $|x''_-|$ 为与三维笛

卡尔坐标系 O_2 的x负向轴相交的点, x''_+ 和 x''_- 分别为多根牙的牙冠牙合面上冠厚位置两端点的x坐标;然后,处理器2将三维笛卡尔坐标系 O_2 中 x''_+ 、 x''_- 、 y_+ 和 y_- 所在的位置设定为控制点 A'_0 、控制点 B'_0 、控制点 C'_0 和控制点 D'_0 ,对控制点 A'_0 、控制点 B'_0 、控制点 C'_0 和控制点 D'_0 采用三次样条插值方法确定一条封闭的多根牙的牙颈曲线;最后,在所述根颈部长度 ζ_0 范围内填补多个纬线并在多个纬线上搭建多条经线,以相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补四边形面片,得到多根牙的根颈部模型;

[0127] 步骤7062、构建多根牙的根颈分叉部模型:首先,处理器2获取多根牙的根颈部模型底部切面,当步骤701中确定多根牙的牙齿根部分叉数为两个时,在多根牙的根颈部模型底部切面所在的平面上对称的绘制两个椭圆且两个椭圆靠近多根牙的根颈部模型底部切面边缘沿近远中方向排列;当步骤701中确定多根牙的牙齿根部分叉数为三个时,在多根牙的根颈部模型底部切面所在的平面上对称的绘制三个椭圆,三个椭圆中的一个椭圆靠近多根牙的根颈部模型底部切面边缘的唇侧,三个椭圆中的另两个椭圆靠近多根牙的根颈部模型底部切面边缘的舌侧且沿近远中方向对称排列;然后,处理器2以各个椭圆边界点为拖拽点,以多根牙的根颈部模型底部切面边界点和位于多根牙的根颈部模型底部切面内各个椭圆边界点之间的点为不动点,采用Laplace变形算法在 ΔL 长度上得到多根牙的根颈分叉部模型;

[0128] 如图13和图14所示,本实施例中,多根牙的采用上颌第三磨牙为例,判断牙齿根部分叉数为三个,多根牙的根颈部模型底部切面的边缘绘制三个椭圆,唇侧绘制一个近似圆三角的椭圆,舌侧在近远中方向对称的绘制两个椭圆,在MATLAB的仿真环境下,以多根牙的根颈部模型底部切面边界点和位于多根牙的根颈部模型底部切面内各个椭圆边界点之间的点为不动点,采用Laplace变形算法在 ΔL 长度上得到多根牙的根颈分叉部模型;

[0129] 步骤7063、构建多根牙的支根部模型,过程如下:

[0130] 步骤I、获取椭圆的四个控制点:处理器2获取步骤7062中一个椭圆的四个边界点 A'_0 、 B'_0 、 C'_0 和 D'_0 作为四个控制点;

[0131] 步骤II、获取根尖控制点:处理器2根据牙齿根部根尖距、多根牙的牙根长度和多根牙牙冠的冠宽所在的剖面确定多根牙的牙齿根部分叉数为两个时的根尖控制点 E'_0 和 E''_0 ;处理器2根据牙齿根部根尖距、多根牙的牙根长度、多根牙牙冠的冠宽所在的剖面和多根牙牙冠的冠厚所在的剖面确定多根牙的牙齿根部分叉数为三个时的根尖控制点 E'_0 、 E''_0 和 E'''_0 ;

[0132] 步骤III、支根椭圆与取根尖控制点的匹配:处理器2通过取根尖控制点与支根椭圆的四个控制点进行距离均值计算,距离均值计算结果最小的匹配成功;

[0133] 步骤IV、牙根支根的长度方向上支根厚度与支根宽度的线性拟合:处理器2分别对步骤III中匹配成功的控制点进行二次多项式拟合得到支根厚度拟合曲线 $T_{r'}$ 和支根宽度拟合曲线 $W_{r'}$,其中, r' 为支根的牙根长度变量且 r' 满足: $0 < r' \leq \Delta L'$;

[0134] 步骤V、牙根支根纬线的形成:处理器2多次随机获取对步骤IV中支根长度变量 r' 的不同值,每个支根长度变量 r' 均采用三次样条插值方法对同一支根长度变量 r' 上的四个控制点进行曲线拟合,得到牙根支根的多个牙根纬线;

[0135] 步骤VI、确定牙根支根经线:根据步骤V中的牙根支根的多个牙根纬线搭建牙根经线;

[0136] 步骤VII、牙根支根模型的形成:处理器2以步骤VI中相邻的两条经线以及两条经线之间的纬线为框架填补三角形面片,得到牙根支根模型;

[0137] 步骤VIII、两次或三次重复步骤I~步骤IV完成多根牙的支根部模型的构建;

[0138] 步骤7064、多根牙完整牙齿根部模型的形成:处理器2依次将步骤7061中的构建的多根牙的根颈部模型、步骤7062中构建的多根牙的根颈分叉部模型和步骤7063中构建的多根牙的支根部模型从上至下进行组合,得到多根牙完整牙齿根部模型;

[0139] 步骤707、多根牙的牙齿模型的整合:处理器2将步骤7064中得到多根牙完整牙齿根部模型与处理器2采集的多根牙的牙冠模型进行合并,得到多根牙的牙齿模型。

[0140] 如图15所示,本实施例中,由于牙齿根部根尖距为近远中根间水平面上的投影距离,上颌第三磨牙的牙根舌侧在近远中方向对称的两个椭圆变形后与牙根的两个支根整合,两个支根的根尖也对称于三维笛卡尔坐标系 O_2 的x轴,上颌第三磨牙的牙根唇侧的一个椭圆变形后与牙根的另一支根整合,通过显示器4将处理器2得到的牙齿模型显示出来,上颌第三磨牙的多根牙的牙齿模型与实际牙齿模型进行比较,如图16所示,上颌第三磨牙的多根牙的牙齿模型与实际牙齿模型相似性高,且实现步骤简单,使用效果好。

[0141] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明作任何限制,凡是根据本发明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效结构变化,均仍属于本发明技术方案的保护范围内。

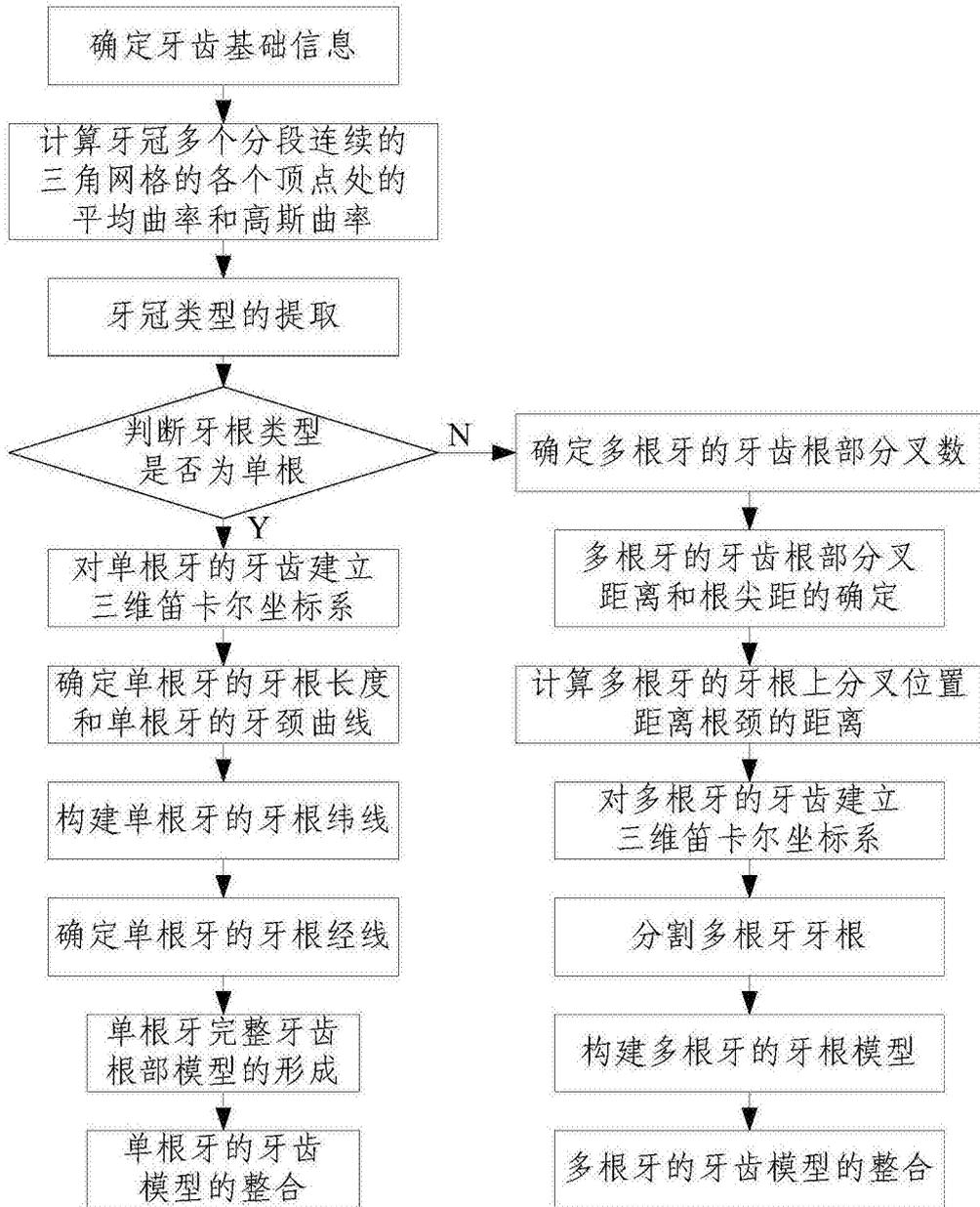


图1

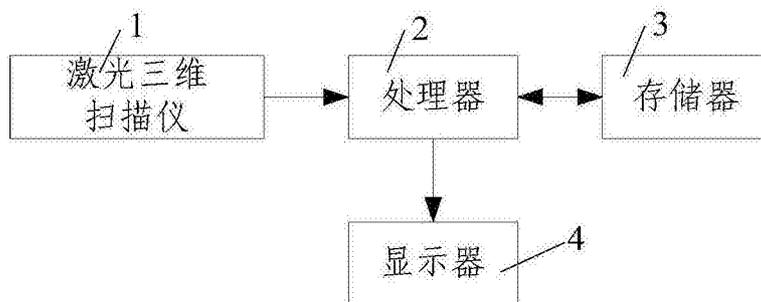


图2

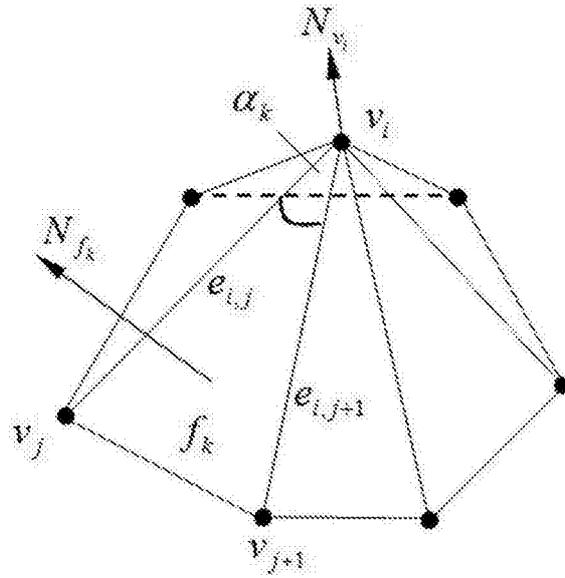


图3

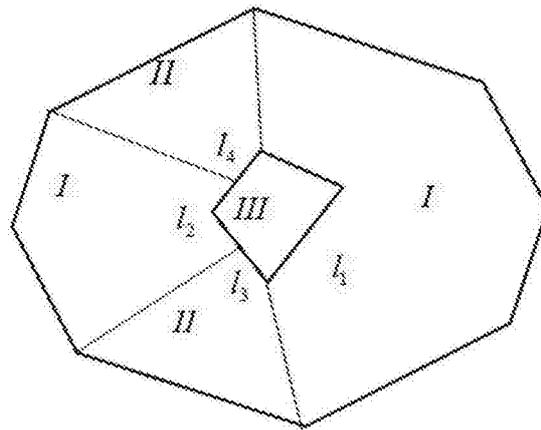


图4

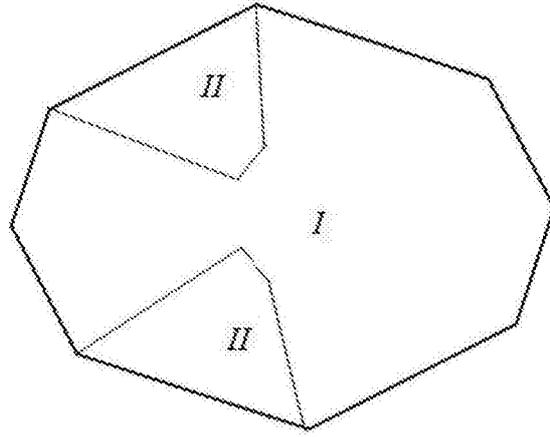


图5

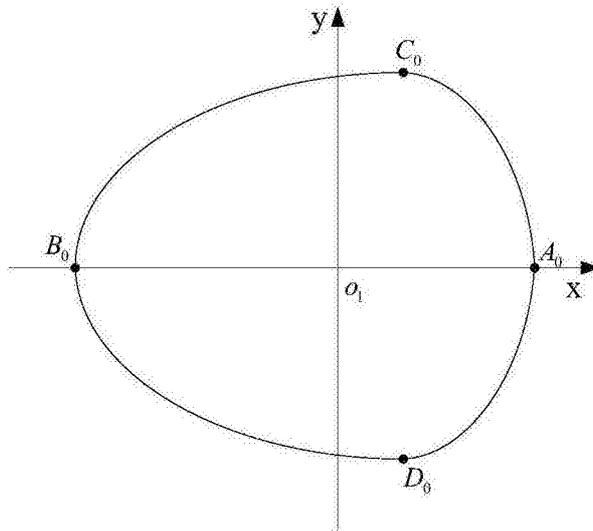


图6

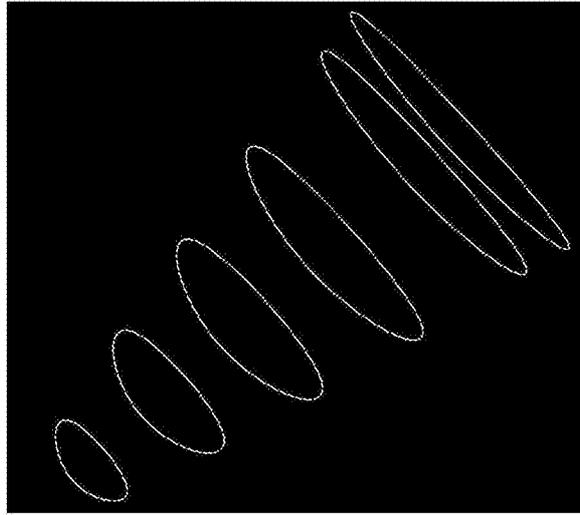


图7

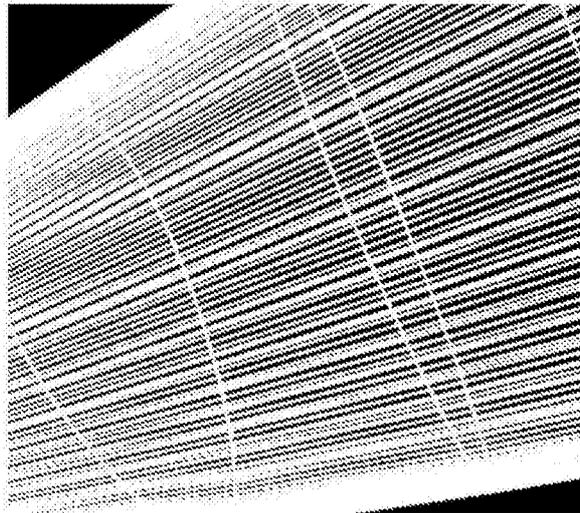


图8

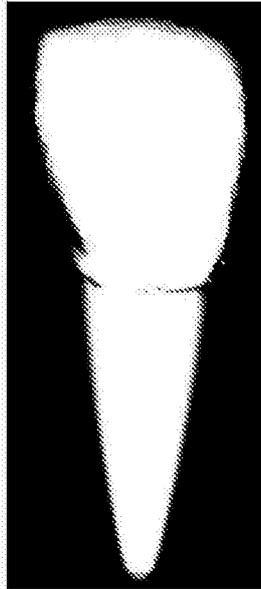


图9

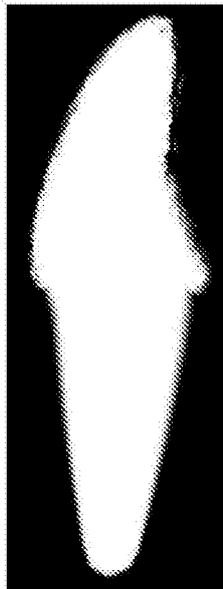


图10

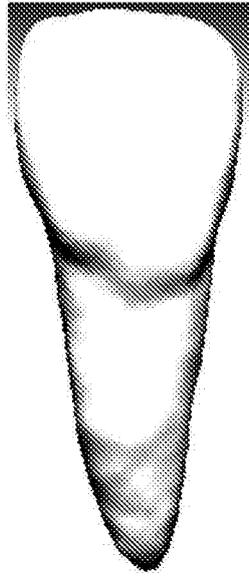


图11

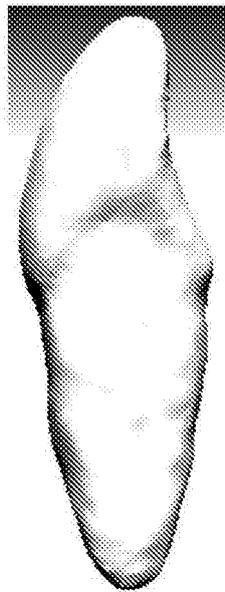


图12

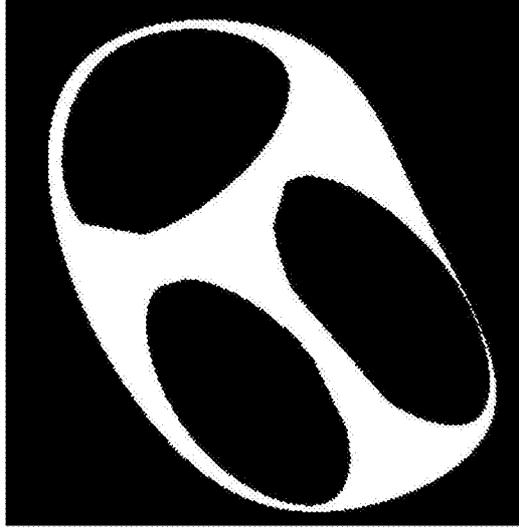


图13

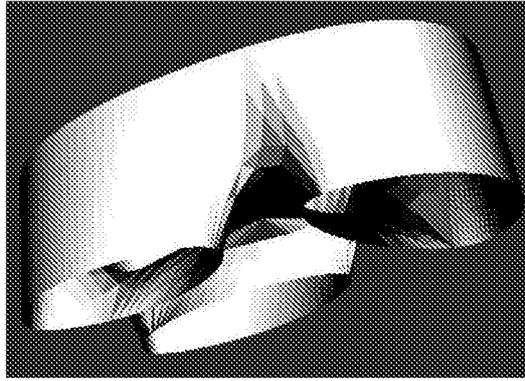


图14

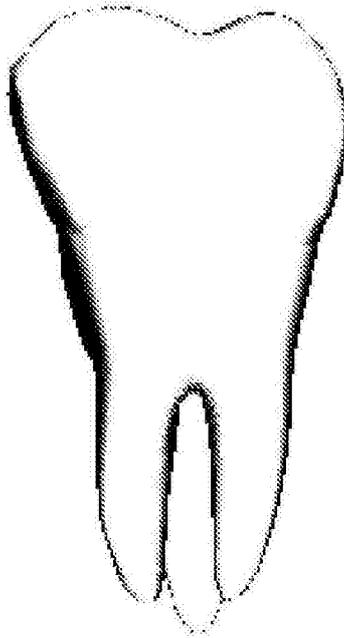


图15

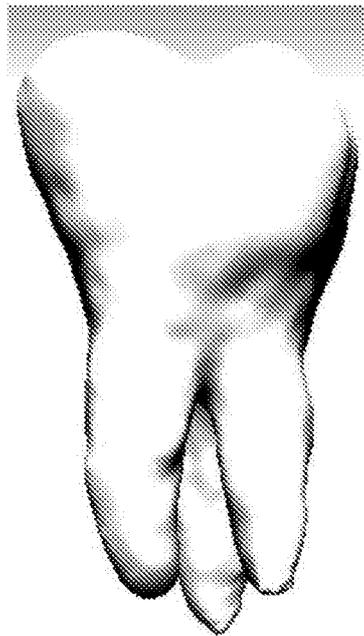


图16