

11-20-2019

3D Mesh Editing Method for Virtual Double Eyelid Surgery

Guan Tong

National Laboratory of Pattern Recognition Institute of Automation Chinese Academy of Sciences , Beijing 100190, China;

Juntao Ye

National Laboratory of Pattern Recognition Institute of Automation Chinese Academy of Sciences , Beijing 100190, China;

Guanghai Ma

National Laboratory of Pattern Recognition Institute of Automation Chinese Academy of Sciences , Beijing 100190, China;

Xiaopeng Zhang

National Laboratory of Pattern Recognition Institute of Automation Chinese Academy of Sciences , Beijing 100190, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

3D Mesh Editing Method for Virtual Double Eyelid Surgery

Abstract

Abstract: A virtual cosmetic surgery system involves lots of human-computer interactions, and the achieved effects rely on the skills of the operator. Virtual double-fold eyelid surgery is a function that is either missing or implemented with less accuracy in commercial software. To solve these problems, we propose an algorithm that can automatically generate virtual double-fold eyelid path taking advantage of geodesic line. In terms of algorithms, this method adopts a self-adaptive subdivision strategy to avoid losing shapes of the deformation outcomes. Results of experiments show stability, high efficiency and usability of our method.

Keywords

virtual surgery, geometric feature, mesh editing, crest lines, geodesic lines

Recommended Citation

Guan Tong, Ye Juntao, Ma Guanghui, Zhang Xiaopeng. 3D Mesh Editing Method for Virtual Double Eyelid Surgery[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(3): 486-493.

面向双眼皮虚拟手术的三维网格编辑技术

管桐, 叶军涛, 马光辉, 张晓鹏

(中国科学院自动化研究所 模式识别国家重点实验室, 北京 100190)

摘要: 虚拟美容外科手术仿真系统, 模拟手术过程都严重依赖人机交互操作, 这个过程非常繁琐, 而且效果因操作者的技能水平而异。虚拟双眼皮手术对精确程度有很高的要求, 人机交互操作难以准确完成操作。针对这个问题, 提出了一种基于人脸几何特征, 通过测地线自动地生成虚拟双眼皮的算法。在算法中, 采用了自适应细分策略来避免变形结果的走样, 通过限定区域运算提升效率。实验结果表明, 该算法具有稳定性、高效性和易用性。

关键词: 虚拟手术; 几何特征; 网格编辑; 谷脊线; 测地线

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 03-0486-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17DEA-008

3D Mesh Editing Method for Virtual Double Eyelid Surgery

Guan Tong, Ye Juntao, Ma Guanghui, Zhang Xiaopeng

(National Laboratory of Pattern Recognition Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: A virtual cosmetic surgery system involves lots of human-computer interactions, and the achieved effects rely on the skills of the operator. Virtual double-fold eyelid surgery is a function that is either missing or implemented with less accuracy in commercial software. To solve these problems, we propose an algorithm that can automatically generate virtual double-fold eyelid path taking advantage of geodesic line. In terms of algorithms, this method adopts a self-adaptive subdivision strategy to avoid losing shapes of the deformation outcomes. Results of experiments show stability, high efficiency and usability of our method.

Keywords: virtual surgery; geometric feature; mesh editing; crest lines; geodesic lines

引言

双眼皮手术是整形美容手术中出现频率最高的一类手术, 尤其在亚洲人群中广受欢迎。目前市场上的虚拟美容手术仿真系统, 要么没有切割双眼皮的功能, 要么是靠非常初级的人机交互来实现。即靠人工拖动鼠标画出一条手术切割线, 然后计

算机实现凹陷操作。这个过程非常繁琐, 而且效果因人而异。我们发现其实根据人眼部位的解剖结构, 实现自动化或者半自动化的双眼皮切割仿真是可能的。本文提出了一个方法达到这样的效果: 用户通过鼠标指定双眼皮的起始点和终止点, 计算机自动完成双眼皮切割的效果, 无论从几何上还是着色上都达到逼真的效果。

在算法中我们基于上眼睑轮廓线长且比较明显的特征, 借助经典提取谷脊线算法提取与上眼睑轮廓线吻合的谷脊线。并通过设置阈值筛掉短小的谷脊线段, 达到过滤谷脊线的效果。因为过滤无法保



收稿日期: 2016-07-30 修回日期: 2017-01-11;
基金项目: 国家自然科学基金(61379096);
作者简介: 管桐(1990-), 男, 山西, 硕士, 研究方向为计算机图形学; 叶军涛(1972-), 男, 山东, 博士, 副研究员, 研究方向为计算机图形学。

<http://www.china-simulation.com>

证将短小分叉谷脊线段完全剔除,我们将提取到的脊点利用 Dijkstra 算法串联,进行第二次筛选。然后,抬高筛选出的脊线特征点来影响测地线轨迹。追踪获得的测地线轨迹就是拟定的双眼皮手术切割轨迹。沿着切割轨迹进行重新网格化,丰富完善网格信息。最后沿手术切割路径进行凹陷和顶点着色,仿真双眼皮的几何透视关系、明暗关系。

1 相关工作

1.1 虚拟手术领域的研究

近年来,世界各国给予了医疗卫生行业更多的关注。计算机技术已逐渐应用于现代医学领域,特别是越来越多的新技术应用于外科手术。借助计算机图形学、计算机图像处理分析方法,使用数据可视化技术,选取合适的数学模型对人体器官三维重建,继而仿真出病症部位的三维构造,使基于三维数据的模型具有实际对象的物理属性。虚拟现实(VR)技术,使外科医师能够在计算机环境下规划整个操作过程,在虚拟环境中对施加手术部位、角度进行模拟计算和测试,大大提高手术的成功率。对选择最佳手术入路,减少手术损伤,减少对邻近组织的损伤,提高定位的准确性,进行复杂的外科手术,提高手术成功率具有重要意义。对于虚拟手术的研究大多是依赖于人机交互实现的,以鼠标模拟手术刀,鼠标的输入信息来模拟手术的切割过程。这类型的相关工作交互式虚拟外科手术的仿真,以及物理特性的仿真如文献[1]。在虚拟手术领域的另一个主要研究内容是虚拟外科手术中的实时碰撞检测,这项工作见参考文献[2],一些最近几年在虚拟外科手术中的经典研究见参考文献[3-4]。

1.2 曲面变形与编辑方法

曲面变形与编辑方法主要可分为 4 类,包括 Barr 变形、约束变形方法、基于曲面细分、基于空间均匀网格的自由变形。

其中 Barr 变形是由 Barr 在文献[5]中提出的变

形方法,通过定义映射函数,得到了空间中物体进行仿射变换和变形。Barr 方法的局限性在于难以产生任意形变。Sederberg 等^[6]于 1986 年提出自由变形方法,即通过控制对物体所嵌入的栅格变形,将形变过程传播到物体本身。之后, Hsu 等^[7]1992 年提出根据变形后物体的偏移量来反向求解栅格顶点,进而实现对物体变形的直接操纵,此方法的局限性在于需要求解一个大型的广义逆矩阵。Borrel 等^[8]提出了简单的约束变形法,利用了与 Hsu 类似的变形控制方法,约束点和由用户定义的使用影响半径来控制变形。Ji Xiaogang 等^[9]则讨论了基于元球的点约束变形问题。基于 FFD 方法的基本思想,变形方法推广, Feng^[10]提出基于参数曲面控制的变形方法。2001 年, Hu 等^[11]采用与 Feng 类似的思想,提出了一个方法可以直接操作 FFD 变形,这种方法的优点是,它不需要解决伪逆矩阵。

1.3 谷脊线和测地线的研究

我们知道,艺术家们通常能很好地抓住物体的表面特征,用很少的几个笔画,就可以表现出物体的形状。这也是图形学中值得研究的课题。近年来,多项研究中探究了定义曲面上满足特定性质曲线的概念与方法,我们认为可将其归结为 2 大类:与视线有关的曲线、与视线无关的曲线。

谷脊线检测的主要思路如下:利用拟合思想,从原始网格重建连续曲面,然后借助连续曲面上相应顶点的微分值进一步分析。运用这一思想的关键是:如何构造连续曲面,现有的工作主要包括引入隐式曲面的思想^[12],利用引入局部多项式提高效率^[13],以及谷脊线在指纹提取方面的应用,跟眼睑提取关系相近^[14]。

三角网格模型两点间的测地线计算是计算几何中的一个基本问题,现有计算方法可按计算精度区别为近似计算和精确计算两类^[15],或按是否连续分为离散测地线^[16-17]和连续测地线 2 类。其中精确算法需要较高的时间复杂度和空间复杂度,而近似算法在损失部分精度的情况下,可以较迅速

地获得三角网格表面测地线的近似值,所以普遍应用于重新网格化、曲面变形、地理信息系统、三维模型识别等诸多方面。

2 算法概述

本文算法要解决的问题是如何在给定的两点间计算得到一条切割线,核心思想是:首先,在选定区域借助经典提取谷脊线算法提取与上眼睑近似的一簇脊线(眼睑部分的特征点均为脊点,因此不考虑谷点的情况),并通过设置阈值筛掉短小的脊线段,提取得脊点。接着,将提取得到的脊点利用 *Dijkstra* 算法沿网格的边串联,剔除未被串联的脊点。然后,抬高脊线特征点对应的网格顶点,在抬高模型上追踪测地线轨迹。最后,将测地线轨迹映射到原模型,从而确定手术路径。依照选定的手术路径进行网格编辑,着色变化仿真术后效果。在算法中,我们还采用了自适应细分策略来避免变形结果的走样,通过选定区域减少了需要计算的点面数据量极大提升了效率。

具体地,双眼皮手术路径的起始点和终止点由用户指定。然而,手术路径的选择并没有一个通用的准则。根据真实双眼皮的特征可知,双眼皮线的弧度和双眼皮的宽度都依赖于上眼睑。因此,根据上眼睑影响起始点与终止点之间轨迹确定手术路径是我们工作的思想。

如图 1 所示,测地线在三维模型上的效果符合我们追踪起始点到终止点轨迹的需求。由微分几何中的定理可知,测地线是连接两点的最短路径。显然,直接计算两点间的测地线轨迹,测地线的轨迹不会考虑眼睛区域的几何特征和噪声因素,效果并不能达到预期。基于测地线表征两点间最短欧式距离和双眼皮线依赖于上眼睑的特性。通过提取上眼睑轮廓线,对轮廓线上的特征点进行抬高,以此影响测地线的路径。就好比筑起一堵“墙”,保证测地线路径绕过眼睛。

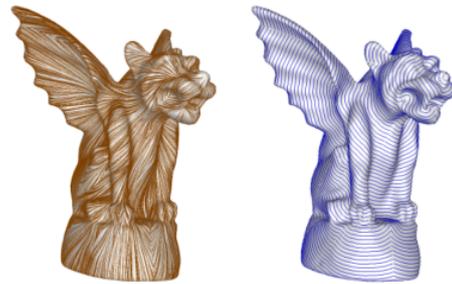


图 1 测地线应用效果图

Fig. 1 Geodesic line rendering

3 上眼睑轮廓线的提取及抬升

那么如何定位这堵“墙”的位置?针对这个问题,我们通过交互操作框选出大致的眼睛区域,在选择区域检测 Crest Lines,提取近似上眼睑的脊线,对过滤后的脊点抬高作为墙。通过选定限制区域不仅提高了脊线的准确性,而且大大提升了算法效率。本节我们首先介绍一下 Crest Lines 快速检测方法^[12-13],这是本文算法的一个重要部分。接着,重点介绍本文算法的工作流程和实现细节。

3.1 Crest Lines 介绍

基于谷点(valley)和脊点(ridge)的定义,将脊点定义为正截面的主方向,对应于主曲率的极值点。

$$e_{\max} = \frac{\partial k_{\max}}{\partial t_{\max}} = \frac{\partial k_{\min}}{\partial t_{\min}} \quad (1)$$

式中:对于一个光滑的曲面 S ,指定 k_{\max} 与 k_{\min} 分别为主曲率的最大值和最小值, t_{\max} 和 t_{\min} 为相应的主方向。

关于 Crest Lines 提取主要包含 2 个操作,分别为谷点(valley)、脊点(ridge)检测和提取谷脊线。眼睑部分的特征点均为脊点,因此在接下来的工作中不考虑谷点的情况。

3.1.1 谷点、脊点检测

考虑主曲率沿相应主方向的导数 $e_{\max} = \frac{\partial k_{\max}}{\partial t_{\max}}$ 和 $e_{\min} = \frac{\partial k_{\min}}{\partial t_{\min}}$,注意到 e_{\max} 与 e_{\min} 局部的定义在非脐点的领域内。相应的曲率方向上的主曲率极值为 e_{\max} 与 e_{\min} 的零交叉点处的值,谷脊线分别具有以下 3 个特征:

$$\text{脊线: } e_{\max} = 0, \frac{\partial k_{\max}}{\partial t_{\max}} < 0, k_{\max} > |k_{\min}| \quad (2)$$

$$\text{谷线: } e_{\min} = 0, \frac{\partial e_{\min}}{\partial t_{\min}} < 0, k_{\min} < -|k_{\max}| \quad (3)$$

如式(2)~(3)所示, 当主方向上的曲率一阶导为零时, 主曲率存在极值。第二个条件, 保证了这条线是谷线, 假如曲率的二阶导数小于零证明主曲率具有极大值, 也保证了这个线是脊线, 否则证明主曲率具有极小值; 第三个条件为附加条件, 确保一个点检测结果是脊点也是谷点的情况不会发生, 排除了脊线和谷线的交点的情况。

3.1.2 生成脊线:

根据检测得到脊点生成一簇脊线的问题可以视为已知网格上的两个顶点, 寻找连接这两点的一条路径。连线规则是根据找到每一个三角形中脊点数。因为计算的过程中误差不可避免和模型本身的特点, 连线算法构造出的脊线中, 会有许多短小的分叉线。为了得到理想的效果, 有必要进行一些网格的平滑处理和设置阈值剔除分叉线等优化处理。

3.2 过滤脊线

获得一簇脊线以后, 我们可以看到脊线在视觉上的不同, 一些脊线比较明显, 另一些脊线则不明显, 还有的脊线比较短小。相对短小的脊线大多是由模型本身的缺陷形成的, 这些脊线本身并不是脊线。不清晰可见的脊线是没有明显特征的区域。以上两种类型的脊线都不符合我们的需求, 消除这些不必要的脊线, 根据脊线视觉上的清晰程度, 即脊线的强度优化滤波得到最显著的脊线。

通过 k_{\max} 在谷脊线上的积分来计算脊线的强度, 使用积分的梯形近似, 计算公式为

$$\int k_{\max} \approx \sum_i \frac{k_{\max} p_i + k_{\max} p_{i+1}}{2} \|p_i - p_{i+1}\| = T \quad (4)$$

式中: p_i 是理论脊点; T 是用来确定脊线强度阈值。增加 T 值, 筛选出上眼睑区域最显著的脊线。

T 的变化对获取谷脊线的影响如图 2 所示, 可知 T 值越大得到的脊线越少也越来越显著。在本研究中, 目的是提取三维模型中近似上眼睑的脊线,

而不希望提取无关的脊线。为达到此目的, 对参数 T 进行多次调节试验, 在尽可能少获取无关谷脊线的同时提取最能近似上眼睑的脊线。

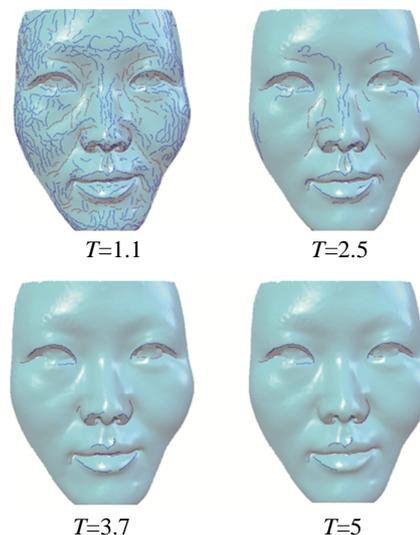


图 2 不同 T 值提取得脊线效果图
Fig. 2 Illustration of different extracted ridge lines with different T values

通过实设置阈值筛选的方法可以有效的定位上眼睑轮廓, 提取得到的脊点效果如图 3 所示。

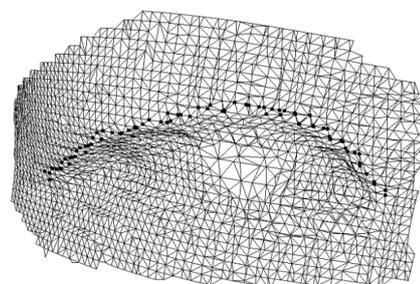


图 3 提取得到脊点示意图
Fig. 3 Illustration of extracted ridge points

3.3 提取上眼睑

上述方法获得的脊线, 是按照每一个三角网格中所含脊点个数确定连线规则, 生成脊线。通过阈值法进行一次过滤, 筛选出的脊线无法保证短小的分叉线段完全被剔除, 也无法确定筛选出的是一条连续脊线。因此我们对脊点进行串联, 对脊点进一步筛选, 并通过改变网格的拓扑结构使脊线连续。对图 4 中获得的脊点, 依据算法 1 进行串联, 形成

可以直接由边联通的折线段。具体流程如下所示。

算法 1. 利用 Dijkstra 算法生成近似的上眼睑轮廓线。输入为眼睛区域的脊点 V ，输出为沿网格边可以直接联通的脊点。

初始化：初始化各顶点的相互距离 b_{ij} 为 INT_MAX 。

WHILE (TRUE)

(1) 若 V_i 、 v_j 直接连接取权重为 1， $i=j$ 置权重为 0，无法直接连接取权重为 INT_MAX ；构造带权无向图 G ；

(2) 对脊点 $v_n \in V$ 求 G 中顶点 V_i 到 V_j 的最短路径，设其距离为 d_{ij} ；

(3) 对每个顶点 v_i ，若 $a_{ij} < b_{ij}$ ，则 $b_{ij} < a_{ij}$ ；

(4) 跳至步骤(2)，直至所有的边界点都被处理；

(5) 取距离最长且不为 INT_MAX 的 a_{ij} ， V_i 、 v_j 为线段端点，筛选 $0 < d_{ij} < INT_MAX$ ，对应的 V_n 为筛选出折线段上的点；

(6) 将已经筛选出的顶点对应的 d 置为 0；

(7) 跳至步骤(5)，直至 V 中所有点都被处理；

(8) 判断筛选出线段端点位置，选取最近的两个端点相连，连接方式如图 4 所示。剔除 V 中不在折线段上的脊点。

END WHILE//算法结束。

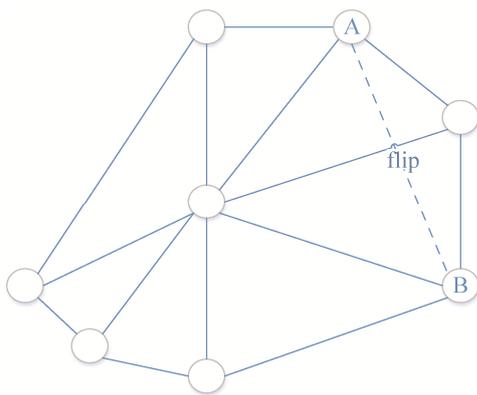


图 4 网格拓扑结构修改示意图

Fig. 4 Schematic diagram of grid topology modification

经过算法 1 处理对脊点进行了二次筛选，剔除造成短小分叉线段的脊点。产生的折线段如图 5 所示，由图可以看出串联成的折线段沿网格的边连

通，不存在缺口，可以较好的近似上眼睑轮廓。

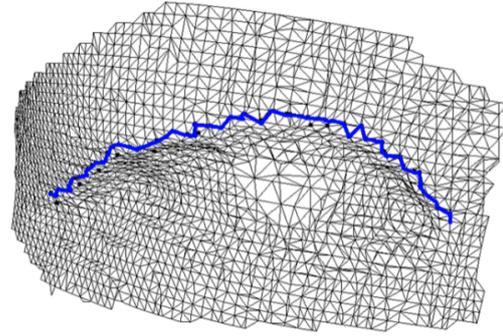
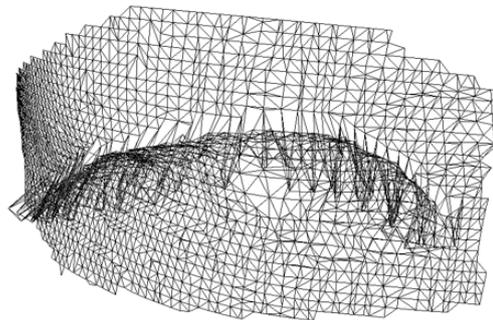


图 5 串联脊点生成折线段示意图

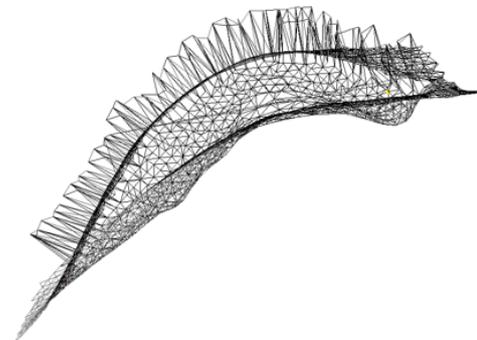
Fig. 5 Illustration of a line generated by a series of ridge points

3.4 抬高上眼睑特征点影响测地线轨迹

测地线是物体在时空结构中的最短距离。根据测地线的特性可知，从起始点到终止点追踪的路径受到人脸模型眼睛区域几何特征的影响，我们得到抬高特征点后的模型如图 6(a)~(b)所示，抬高特征点后的凸起区域就是我们构造的“墙”。



(a) 抬高上眼睑特征点效果



(b) 抬高上眼睑特征点侧面效果

图 6 抬高上眼睑特征点正面和侧面效果图

Fig. 6 Illustration of the upper and side figure of raising the upper eyelid feature points

4 虚拟双眼皮的构建

4.1 计算近似测地线确定手术路径

在计算近似测地线时我们采用了 Hu 等^[1]给出的快速近似测地线算法, 算法给出了高效地计算从源点指向一个或其他所有点的方法。首先, 该算法正确地描述了 MMP 提出的“单源点多目标点”算法, 并且在运行时间上更加迅速。接下来, 拓展合并操作, 在限定误差内运算更加高效、迅速。最后, 对于计算两个给定的点之间的最短路径情况, 给定下界限制 MMP 算法, 使运算时间更加迅速。

4.2 基于手术路径的网格编辑

首先, 根据测地线在网格模型上的路径, 去掉测地线切割的网格, 添加新的三角网格, 仿真切割工具划过物理表面的情况。这一过程就是对三角形网格的拓扑结构进行修改。图 7 为三角形切割重建的所有样式, 其中红线表示切割线, 蓝线表示重建时新添三角形的边缘。为了保证网格塌陷编辑的平滑性, 对切割重建产生的狭长三角形进行剔除。

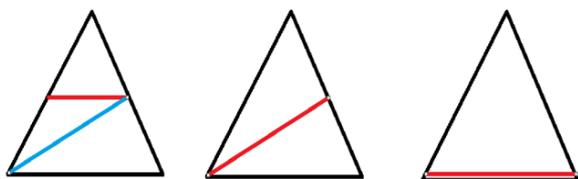


图 7 三角形切割重建的所有样式示意图

Fig. 7 Illustration of all styles of triangle cut reconstruction

然后, 将测点线与网格的交点沿法线方向进行凹陷处理, 对凹陷所牵引的面片进行平滑处理。

4.3 双眼皮的着色效果(shading)

最后, 将模型测地线到上眼睑范围内顶点颜色信息由 RGB 空间转换到 YUV 空间中, 保证 U(Cb) 和 V(Cr) 通道不变的情况下, 对 Y 通道所描述的 Luma 信号进行低通滤波, 再将模型由 YUV 空间转换到 RGB 颜色空间中, 实现明暗的暗化处理, 模拟术后的明暗关系。YUV、RGB 相互转换矩阵如式(6)所示:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.000 & 1.140 \\ 1.000 & -0.395 & -0.581 \\ 1.000 & 2.032 & 0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} \end{cases} \quad (5)$$

根据式(5), 先将 RGB 形式的数字转换为 YUV 形式数据, 然后降低 Y 值, 再将其转换回 RGB 形式。对手术轨迹到上眼睑区域实现一个亮度的渐变。

5 实验结果与讨论

首先, 我们通过实验验证提取的脊点可以很好的近似表示上眼睑, 以及抬高上眼睑特征点有效地影响了测地线轨迹, 该轨迹很好的模拟了双眼皮的切割轨迹, 其次评价算法的效率。最后, 展示本文算法虚拟双眼皮手术后效果。我们采用 C++ 实现本文算法。本文中所有算法的运行时间都是在 3.6 GHZ CPU 和 16G 内存的台式机上获得的。

抬高上眼睑特征点对测地线轨迹影响效果对比:

为了验证提取的脊点可以很好的近似表示上眼睑, 我们通过最小二乘法生成拟合曲线, 将拟合曲线与原图上眼睑进行对比。在具体实现中, 将筛选得到的脊点 v_i 投影到二维平面, 建立二维平面坐标系, 每个脊点对应的坐标值为 $p_i(x_i, y_i)$, 其中 $i=1, 2, \dots, m$ 。得到近似曲线 $y = \Phi(x)$ 。使近似曲线与 $y = f(x)$ 的偏差最小。近似曲线在点 p_i 处的偏差 $\delta_i = \Phi(x_i) - y_i$, 其中 $i=1, 2, \dots, m$ 。按偏差平方和最小的原则选取拟合曲线, 并且采取二项式方程为拟合曲线。表达式为:

$$\min \sum_{i=0}^n \delta_i^2 = \sum_{i=0}^n ((x_i) y_i)^2 \quad (6)$$

拟合曲线如图 8 红线所示。由图中脊点拟合出的曲线与上眼睑的对比可知, 我们提取的脊点分布能很好的近似表征上眼睑。

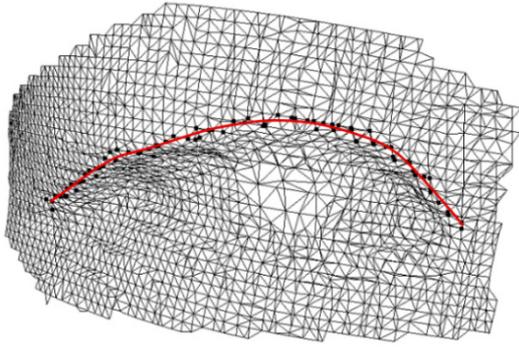


图 8 拟合曲线示意图
Fig. 8 Illustration of curve fitting

图 9 是抬高网格特征点对测地线轨迹的影响展示。图 9(a)中绿线是原网格不进行抬高操作计算得到的测地线轨迹，红线是进行抬高网格操作计算得到的测地线轨迹。图 9(b)是以红线作为手术路径，手术后效果的展示。可以看出通过抬高特征点影响测地线路径能很好表征双眼皮手术切割轨迹。

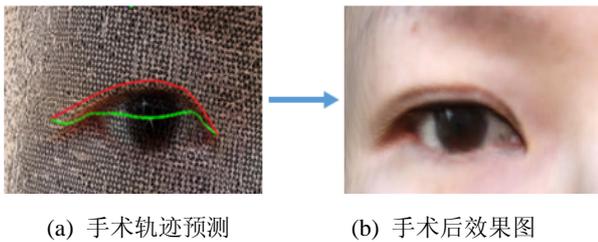


图 9 虚拟双眼皮手术轨迹及手术后效果图
Fig. 9 Illustration of virtual double eyelid surgery trajectory and postoperative results

评价算法的效率:表 1 统计了通过选择出人眼区域与不选择人眼区域检测脊点需要的时间。其中，计算的面片数量 f ，顶点数量 v ，检测脊点所消耗的时间为 t ，单位是 s 。从表中可以看出，通过在选择区域检测脊点确定手术轨迹耗时更少。实验结果说明了本文算法效率更高。

表 1 统计运行时间和运算中的点面信息

Tab. 1 Statistical running time and point information in the operation

名称	f	V	t
Left eye	4 042	2 100	0.193
Right eye	3 908	2 046	0.152
Face	85 775	3 266	0.758

虚拟双眼皮手术后效果:从图 10 虚拟双眼皮手术前后局部对比图中可以看出，经过我们的方法生成的虚拟手术轨迹可以较好的匹配上眼睑轮廓，手术后效果美观自然大方。由图 11 可以看到虚拟双眼皮手术前后整个面部效果对比。

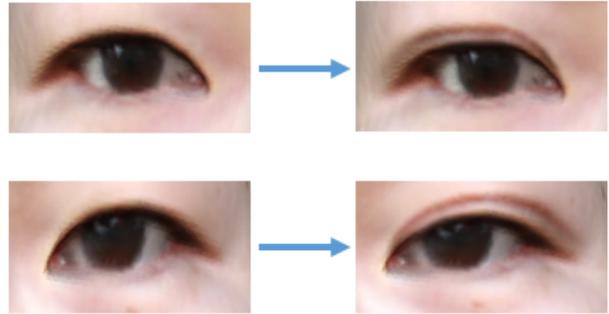


图 10 虚拟双眼皮手术前后局部对比图
Fig. 10 Illustration of local contrast before and after virtual double eyelid surgeries

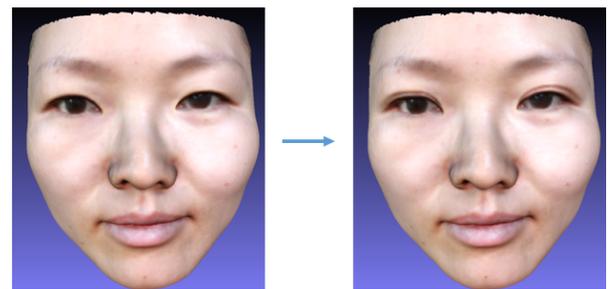


图 11 虚拟双眼皮手术前后面部对比图
Fig. 11 Illustration of facial contrast before and after virtual double eyelid surgeries

6 结论

人脸三维模型通常是非常复杂的，数以万计三角面片的情况很常见。对如此繁杂的网格模型进行编辑时，十分困难。具体到双眼皮虚拟手术，如果手术路径的选择单纯靠人手工拖动鼠标画出一条手术切割线，非常繁琐，而且效果因操作者技能水平而异。因此，这种情况下实现变形与编辑的方法的研究，是一个非常具有挑战的方向。本文给出了一种基于几何特征的变形与网格编辑方法。根据人眼部位的解剖结构，实现自动化或者半自动化的双眼皮切割仿真。用户通过鼠标指定双眼皮的起始点和终止点，计算机自动完成双眼皮切割的效果。通

过实验证明,该算法具有稳定性、高效性和易用性,无论从几何上还是着色上都达到逼真的效果。

本文算法目前只能依赖交互输入双眼皮起始点和终止点,未来,我们计划自动定位出双眼皮起始点和终点,进行规划手术轨迹,并根据输入三维模型不同的构造及眼睛特征虚拟出不同类型的双眼皮效果。

参考文献:

- [1] Müller M, Schirm S, Teschner M. Interactive blood simulation for virtual surgery based on smoothed particle hydrodynamics[J]. *Technology and Health Care (S0928-7329)*, 2004, 12(1): 25-31.
- [2] Lombardo J C, Cani M P, Neyret F. Real-time collision detection for virtual surgery[C]// *Computer Animation, 1999. Proceedings. IEEE, 1999: 82-90.*
- [3] Rozen W M, Garcia-Tutor E, Alonso-Burgos A, et al. Planning and optimizing DIEP flaps with virtual surgery: the Navarra experience[J]. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery (S1748-6815)*, 2010, 63(2): 289-297.
- [4] Duan Z, Yuan Z, Liao X, et al. 3D tracking and positioning of surgical instruments in virtual surgery simulation[J]. *Journal of Multimedia (S1796-2048)*, 2011, 6(6): 502-509.
- [5] Barr A H. GLOBAL AND LOCAL DEFORMATIONS OF SOLID PRIMITIVES[J]. *Acm Siggraph Computer Graphics (S0097-8930)*, 1984, 18(3): 21-30.
- [6] Sederberg T W. Free-form deformation of solid geometric models[J]. *Acm Siggraph Computer Graphics (S0097-8930)*, 1986, 20(4): 151-160.
- [7] Hsu W M, Hughes J F, Kaufman H. Direct Manipulation of Free-Form Deformations[J]. *Acm Siggraph Computer Graphics (S0097-8930)*, 1994, 26(2): 177-184.
- [8] Borrel P. Simple constrained deformations for geometric modeling and interactive design[J]. *Acm Transactions on Graphics (S0730-0301)*, 2012, 13(2): 137-155.
- [9] JIN Xiaogang, PENG Qun sheng. General Constrained Deformations Based on Generalized Metaballs[J]. *Computer & Graphics (S0097-8493)*, 2000, 24(2): 219-231.
- [10] Feng J, Ma L, Peng Q. A new free-form deformation through the control of parametric surfaces[J]. *Computers & Graphics (S0097-8493)*, 2010, 20(4): 531-539.
- [11] Hu S M, Zhang H, Tai C L, et al. Direct manipulation of FFD: Efficient explicit solutions and decomposable multiple point constraints[J]. *Visual Computer (S0178-2789)*, 2001, 17(6): 370-379.
- [12] Kim S K. Extraction of ridge and valley lines from unorganized points[J]. *Multimedia Tools and Applications (S1380-7501)*, 2013, 63(1): 265-279.
- [13] Singh P, Kaur L. Fingerprint Feature Extraction using Ridges and Valleys[J]. *International Journal of Engineering & Technical Research (S2278-0181)*, 2015, 4(6): 2621.
- [14] Pang X, Song Z, Xie W. Extracting Valley-Ridge Lines from Point-Cloud-Based 3D Fingerprint Models[J]. *IEEE Computer Graphics & Applications (S0272-1716)*, 2013, 33(4): 73.
- [15] Xu C, Wang T Y, Liu Y J, et al. Fast Wavefront Propagation (FWP) for Computing Exact Geodesic Distances on Meshes[J]. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626)*, 2015, 21(7): 822-834.
- [16] Zhao J L, Xin S Q, Liu Y J, et al. A survey on the computing of geodesic distances on meshes[J]. *Scientia Sinica Informationis (S1674-7267)*, 2015, 45(3): 313.
- [17] Cheng P, Miao C, Liu Y J, et al. Solving the initial value problem of discrete geodesics[J]. *Computer-Aided Design (S0010-4485)*, 2016, 70(C): 144-152.