

1-8-2019

Mesh Morphing Process for Facial Plastic Surgery Simulation

Jinfang Li

1. *School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;;*

Rifu Li

1. *School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;;*

Hanwu He

1. *School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;;*

Junlong Xu

2. *Guangzhou Shouyuan Information Technology Co., LTD, Guangzhou 510006, China;*

See next page for additional authors

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.

Mesh Morphing Process for Facial Plastic Surgery Simulation

Abstract

Abstract: In order to present the result of facial plastic surgery accurately, we propose a *mesh morphing process method based on the grayscale texture* in this paper. A grayscale texture is created by selecting the region of interest (ROI), and a set of texture coordinate is computed for the vertices in real time to establish the mapping relationship between the vertices and the grayscale texture. In order to make the morphing smooth, we blur the grayscale texture with the mean blurred processing algorithm and control the blur effect by the number of iterations. The advantages of this algorithm are as follows: *The morphing information of the mesh is stored in the grayscale texture, so that the morphing information and the model's geometric information are independent of each other; Direct operation of grid vertices can control the morphing effect of the mesh accurately; There is no need to preprocess the 3D model.*

Keywords

mesh morphing, grayscale texture, blurred processing, plastic surgery

Authors

Jinfang Li, Rifu Li, Hanwu He, Junlong Xu, Jiayuan Liu, and Li Hang

Recommended Citation

Li Jinfang, Li Rifu, He Hanwu, Xu Junlong, Liu Jiayuan, Li Hang. Mesh Morphing Process for Facial Plastic Surgery Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(7): 2453-2458.

脸部整形手术仿真中的网格变形处理

李晋芳¹, 李日福¹, 何汉武¹, 许军龙², 刘家远¹, 李航¹

(1. 广东工业大学机电工程学院, 广东 广州 510006; 2. 广州首源信息科技有限公司, 广东 广州 510006)

摘要: 为精确呈现术后容貌, 提出了一种基于灰度纹理的网格变形算法。通过选取目标区域构建一张灰度纹理, 为网格顶点实时计算一组纹理坐标, 建立模型顶点与灰度纹理的映射关系。为使目标区域的变形平滑过渡, 采用了均值模糊处理技术对灰度纹理进行模糊处理, 通过迭代次数来控制模糊效果。该算法优点如下: 将网格的变形信息存储在灰度纹理中, 使得变形信息与模型的几何信息相互独立; 对网格顶点进行直接操作, 能够准确控制网格的变形效果; 无需对三维模型进行预处理。

关键词: 网格变形; 灰度纹理; 模糊处理; 整形手术

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 07-2453-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201807003

Mesh Morphing Process for Facial Plastic Surgery Simulation

Li Jinfang¹, Li Rifu¹, He Hanwu¹, Xu Junlong², Liu Jiayuan¹, Li Hang¹

(1. School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Guangzhou Shouyuan Information Technology Co., LTD, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to present the result of facial plastic surgery accurately, we propose a mesh morphing process method based on the grayscale texture in this paper. A grayscale texture is created by selecting the region of interest (ROI), and a set of texture coordinate is computed for the vertices in real time to establish the mapping relationship between the vertices and the grayscale texture. In order to make the morphing smooth, we blur the grayscale texture with the mean blurred processing algorithm and control the blur effect by the number of iterations. The advantages of this algorithm are as follows: *The morphing information of the mesh is stored in the grayscale texture, so that the morphing information and the model's geometric information are independent of each other; Direct operation of grid vertices can control the morphing effect of the mesh accurately; There is no need to preprocess the 3D model.*

Keywords: mesh morphing; grayscale texture; blurred processing; plastic surgery

引言

自 2011 年以来, 国内医美市场迎来了高速的发展, 从消费数量到从业人员都有显著的提高。据中国经济时报报道, 2011-2015 年, 国内医美行业

一直保持着年增速 20%以上的高速增长且复合增长率高达 22.68%。2016 年相关数据显示, 医美市场的规模达到了 7 963 亿元, 并预计 2019 年将突破万亿元^[1]。究其原因可归结为如下 3 点: 1、随着国民生活水平的不断提高, 越来越多的人开始注意个人形象以及精神面貌的提高; 2、最近几年, 职场上悄然出现了一个新的评价指标——“美商 (BQ)”, 并且越来越多的公司在选拔或提升人才的时候 BQ 都会出现在评价范畴中; 3、国内的青少



收稿日期: 2017-11-29 修回日期: 2018-02-05;
基金项目: 国家自然科学基金(61300106), 广东省协同创新与平台环境建设项目(2016A04043108);
作者简介: 李晋芳(1975-), 女, 山西晋城, 博士, 副教授, 研究方向为虚拟现实、增强现实。

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

• 2453 •

年团体深受韩国流行文化的印象^[2]。虽然随着医疗技术和整形手段的不断提高,整形手术的风险变得越来越小,但由于存在各种不确定的因素,整形手术的风险依然不可忽视。加上社交媒体曝光的一些负面报告,无疑增加消费者对整形手术的顾虑。这种顾虑的产生主要是由于医学知识的不对称以及消费者自我保护意识的提高造成的。这种顾虑往往会使医务人员与患者之间产生比较严重的信任危机,导致医患关系相对紧张。为了消除这种顾虑,医患之间需要有良好的术前沟通,让患者了解具体情况,达成共识,并对医生产生信任感。目前,整形行业的医疗纠纷大部分就是由于医生与消费者之间的审美观点不同而造成的。为了消除这种由于审美观点不同而造成的纠纷,常见的解决方法是使用数字图像、手绘等方法与消费者进行交流以达成共识^[3]。随着计算机技术的发展,计算机图形学技术被广泛地应用到了各行各业。将外科整形手术与现代计算机技术结合逐渐成为了行业内的研究重点与热点。

对于外科整形手术仿真系统,最为常见的就是基于二维图像的仿真系统,如法国 Kaeria EURL 公司的 Plastic surgery simulator, 加拿大 Pixineers 公司的 FaceTouchUp, Adelson 等^[4]开发的鼻部整形手术仿真系统以及邹北骥等^[5]研发的人脸整形手术系统。这类系统均是采用图像处理技术对病人图像进行交互操作,使图像达到整形后的效果。不过二维图像模拟不具备三维空间的深度信息,不能随意观看各个角度的整形效果。针对这个问题,有学者研究了基于 FFD 自由变形技术的整形手术系统。如 Gao J 等^[6]研发的整形仿真系统以及 Z Kavagiou 等^[7]研发的仿真系统。自由变形技术的本质是将网格模型嵌入到一个由控制网格控制的变形空间中,使得变形效果受到控制网格的控制。其优点是变形计算量小,不过由于其变形效果受到控制网格的影响,因此很难得到准确的变形效果。此外,不少学者研究基于质子弹簧模型^[8]和有限元的方法^[9]。质

子弹簧模型常见的模型结构有 LEM(Long Elements Method) 网格和 REM(Radial Elements Method) 网格,它们的区别在于啮合的策略。LEM 网格由三组质子弹簧模型组成,且分别与笛卡尔坐标轴平行。而 REM 网格只有一组质子弹簧模型,由网格内部的一个顶点与网格表面的顶点连接构成,呈辐射状分布^[8]。质子弹簧模型的优点是计算量较小,可以进行实时的交互操作,缺点是变形结果精度较差。有限元方法可以提供真实感超强的变形模拟,但是其计算量大,难以实现实时交互。为了实现有限元的实时性,有学者采用了区域划分的方法,将模型分为交互区与非交互区并采取不同的有限元模型,使得有限元法做到了实时处理^[10]。随着微分域网格变形算法的实现,越来越多的学者将目标转移到了微分域的方向。其中最具代表性的算法是基于 Laplacian 的网格变形算法^[11]以及基于梯度场的网格变形算法^[12],如胡燕瑜等^[13]开发的隆鼻手术仿真系统以及 Li J 等^[14]开发的整形系统。微分域网格变形算法相对自由变形算法具有非常突出的优点,但它依旧需要对网格模型进行预处理,将网格模型存储到特定的数据结构中,并计算目标区域模型顶点的微分域坐标。

综合分析,在整形手术仿真技术领域的研发中,当前所有的技术方案各有优缺点,在实际项目开发过程中该选择哪种技术方案要根据实际需求而定。在网格变形算法上,本文提出了一种新的基于灰度纹理的网格变形算法。该算法首先根据用户输入构建一张灰度纹理,该纹理存储了网格模型的变形信息,然后建立网格顶点与纹理之间的映射关系,根据网格顶点在灰度纹理上对应的像素点的灰度值判断该顶点是否为目标顶点,最后用户通过鼠标拖动实现网格变形。该算法有如下优点:1、将网格的变形信息存储在灰度纹理中,使得变形信息与模型的几何信息相互独立;2、直接对网格顶点进行操作,能够准确控制网格的变形效果;3、无需对三维模型进行预处理。

1 目标区域的选取与处理

网格变形操作的第一步工作是选择目标区域, 构建一张存储了网格变形信息的灰度纹理。由于脸部不同部位的形状轮廓差别较大, 为了让用户在实际操作过程中能够简单方便地选择准确的部位, 本文目标区域的选取方式主要有圆形选取、椭圆选取、扇形选取以及任意形状的自由选取, 图 1 所示为嘴唇部位的选取。为了使目标区域显示更加直观, 同时为实现后续的网络变形做准备, 本文通过 OpenCVSharp 开发包动态生成一张灰度纹理, 接着将动态生成的纹理投影到网格模型上, 这样使得目标区域与非目标区域区别开, 如图 1 所示, 此过程在下文将做详细介绍。

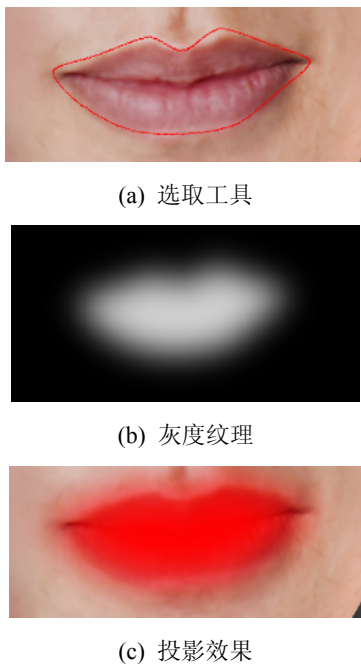


图 1 选取工具、灰度纹理以及投影效果
Fig. 1 Selection tools, grayscale textures and projection effect

1.1 计算纹理坐标

在构建灰度纹理完毕后, 下一步需要建立网格顶点与灰度纹理之间的映射关系, 这需要实时地为网格模型计算一组纹理坐标 UV_{proj} 。综合考虑, 本文决定采用基于视线的线性纹理坐标计算方法为模型顶点实时计算一组纹理坐标, 基本思路见图 2。

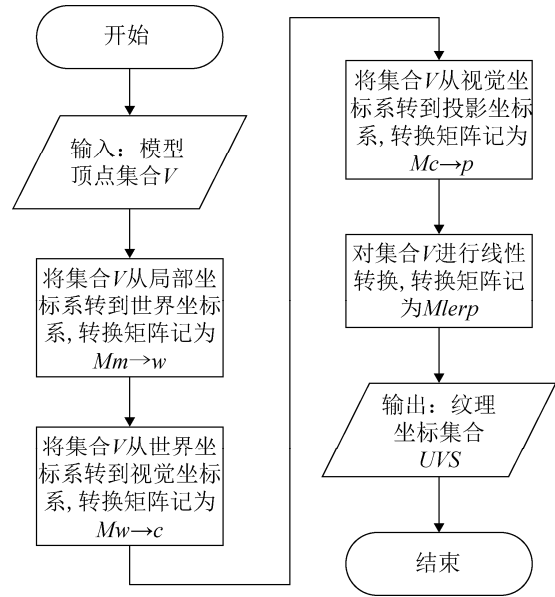


图 2 纹理坐标计算流程图
Fig. 2 Texture coordinates calculation process

设 M 为所有变换的集合, 则

$$M = M_{lerp} M_{c \rightarrow p} M_{w \rightarrow c} M_{m \rightarrow w} \quad (1)$$

整个过程的数学表达式为:

$$UV_{proj} = MV \quad (2)$$

M_{lerp} 是一个插值变换, 作用是将区间 $[-1,1]$ 变换为 $[0,1]$, 表达式为:

$$M_{lerp} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.2 纹理投射过程

为了将纹理投射到模型上, 本文采用了着色器技术。着色器是渲染管线中可编程的小程序, 通过编写着色器可以获得所期望的屏幕渲染效果。

自定义的着色器输入数据有灰度纹理 T , 动态纹理坐标 UV_{proj} 以及源颜色 C_s 。设模型顶点 v_i 的纹理坐标为 (u_i, v_i) , 该坐标在灰度纹理 T 中的像素为 P_i , 其对应灰度值 G_i 可通过下面的式子计算。

$$G_i = P_i V_{gray} \quad (3)$$

其中, $V_{gray} = (0.229 \ 0.587 \ 0.114)$ 。根据式(3)的计算结果, 屏幕的最后渲染效果由式(4)计算可得。

$$C_r = C_d(1 - G_i) + C_s G_i \quad (4)$$

式中： C_r 表示最终渲染结果； C_d 表示渲染管线颜色缓存区中的颜色；图 1(c) 中 C_s 的颜色为红色。

1.3 灰度纹理的模糊处理

为了使目标区域与非目标区域平滑过渡，本文对灰度纹理进行图像模糊处理，常见的模糊处理算法有均值模糊处理、高斯模糊处理以及中值模糊处理，它们的主要区别是卷积处理所采用的卷积核不同。利用这几种算法对灰度纹理进行实验分析如表 1 所示，实验所采用的卷积核大小为 13×13 。

表 1 不同模糊处理算法的实验对比结果
Tab. 1 Experimental results of different fuzzy algorithm

模糊算法	迭代次数/n		
	0	20	40
均值模糊处理			
高斯模糊处理			
中值模糊处理			

卷积核通常是一个四边形网格结构，该区域内每个方格都有一个权值。当对图像中的某个像素进行卷积时，会计算核中每个元素与其所覆盖的像素的乘积并求和，得到的结果就是该位置的新像素值。对于卷积核为 $n \times n$ 大小的均值模糊处理，核内每个元素的值为 $1/(n \times n)$ 。高斯模糊的卷积核成为高斯核，每个元素的大小基于高斯方程：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

式中： σ 为标准方差 x 和 y 分别对应当前位置到中心的整数距离。中值模糊处理则是选取卷积核中像素的中值作为新的像素值。经实验对比，均值模糊处理能够完美处理边界模糊问题，且纹理中的最高亮度值衰减量较小，符合实际期望的结果。图 3 为各种模糊处理算法在实际运用中的效果，从左到右分别为原始效果、均值模糊处理、高斯模糊处理和中值模糊处理，不难发现中值模糊处理效果最差，目标区域与非目标区域的交界处在变形后不能

平滑过渡。均值和高斯模糊处理均能很好地解决这个问题。但在控制变量变形幅度 Range 一定的情况下，高斯模糊处理结果的最大变形顶点的幅度并没有达到预期幅度值，而均值模糊处理结果更加接近预期结果。综合考虑，决定采用均值模糊处理算法。

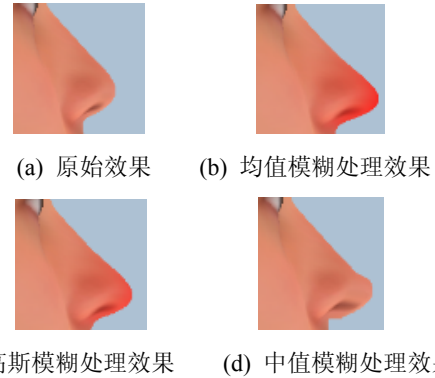


图 3 模糊算法对网格变形影响

Fig. 3 Influence of blur algorithm on the mesh deformation

2 网格变形算法思路与实现

本文网格变形算法的本质是根据纹理坐标 UV_{proj} 来读取在 1.1 节中构建的灰度纹理的灰度值 G ，灰度值 G 即为对应网格顶点的变形权重，算法流程如图 4 所示。设 $V(D)$ 为目标区域的点集的原始坐标， $V'(D)$ 为目标区域的点集变形后的新坐标，最大变形矢量为 D ，则新坐标的计算公式为：

$$V'(D) = V(D) + WD \quad (5)$$

式中： W 是一个 $k \times 1$ 的矩阵，每个元素 W_i 为每个顶点变形量的权值，且

$$W_i = \text{Gray}(u_i, v_i) \quad (6)$$

Gray 为计算纹理像素灰度值的函数，过程如式(3)所示。

伪代码如过程 1 所述。

过程 1. 网格变形处理。

1. $\text{tex} \leftarrow \text{drawGrayscaleTexture}()$;
2. For $i := 0$ to max iteration//模糊处理
3. $\text{tex} \leftarrow \text{blur}(\text{tex}, \text{size})$;
4. End for
5. DIM local2world, world2view, view2proj, lerp AS matrix4x4;
6. INPUT(vertices);


```

7.   uvs← lerp*view2prop*world2view
   *local2worl*vertices;
8.   TYPE def //定义存储顶点变形权重的 结构
9.   DIM id AS integer;
10.  DIM w AS float
11.  End def;
12.  n← size of (vertices);
13.  DIM deflist[0,...,n] AS array;
14.  FOR i:=0 to n//计算目标区域顶点的权重
15.  gray value←
   gray value (read Pixel(uvs[i]));
16.  If gray value >threshold then
17.  deflist[i]←def(i,grayvalue);
18.  End if
19.  End for
20.  INPUT(director);//输入位移矢量
21.  For i:=0 to size of(deflist)
22.  vertices[deflist[i].id]←
   vertices[deflist[i].id] +
   deflist[i].w*director; //更新目标顶点
23.  End for//结束
    
```

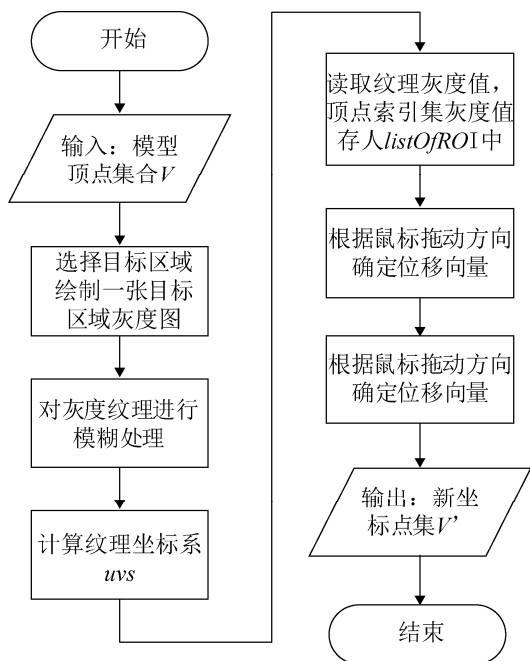


图 4 变形处理算法流程图

Fig. 4 Process of morphing algorithm

3 外科整形手术仿真系统

目前该算法已实际运用于一个人脸整形手术仿真系统的开发, 本系统以 Unity3D 游戏引擎为开发工具, 结合 OpenCVSharp 开发包共同完成, 整

个软件系统和划分为四大功能模块: 整形金库、面部分析、智能整形以及精雕工具。其中, 整形金库包含了客户资料和整形知识两个小模块, 主要功能是存储客户资料和有关人脸整形的资料。

面部分析模块的功能主要是采用人脸识别技术采集脸部的重要特征点, 然后生成客户的脸部尺寸分析评估报告。

智能整形模块包含了丰额注射、抬眉尾、开眼角等 20 个小模块, 采用人脸识别技术自动选择目标区域, 简化用户的操作。

精雕工具模块是对智能整形模块的补充, 用户可自行选择任意目标区域进行变形操作。

如图 5 所示为系统界面。实践证明, 该系统具有良好的整形手术仿真效果, 而且运行效率高, 操作简单。



图 5 系统界面

Fig. 5 System interface

4 仿真结果

通过运行上述仿真系统, 获得了以下一组良好的实验结果。如图 6 所示, 瘦脸仿真实验结果, 图 7 为下巴整形仿真实验结果; 图 8 为隆鼻仿真实验结果。目前, 该系统已在市场中试推使用。

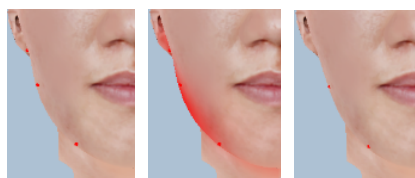


图 6 瘦脸仿真实验结果

Fig. 6 Thin face simulation result

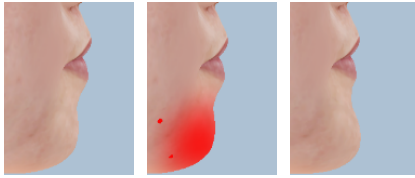


图7 下巴整形仿真实验结果
Fig. 7 Jaw shaping simulation result

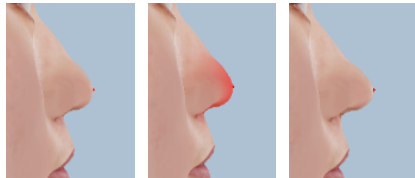


图8 隆鼻仿真实验结果
Fig. 8 Rhinoplasty simulation result

5 结论

本算法基于灰度图像实现了局部网格的变形处理, 涉及内容包括目标区域的选取, 灰度图像的动态绘制以及模糊处理和目标区域的实时变形。该算法有如下优点: 1、将网格的变形信息存储在灰度纹理中, 使得变形信息与模型的几何信息相互独立; 2、直接对网格顶点进行操作, 能够准确控制网格的变形效果; 3、无需对三维模型进行预处理。

参考文献:

- [1] 周雪松. 医美市场仍将保持 20%以上增长速度[N]. 中国经济时报, 2017.
Zhou X S. The plastic surgery market will still grow at more than 20 percent[N]. China Economic Times, 2017.
- [2] Chiu S P, Chuang L W. Analysis on the Difference of Acceptance between Micro Plastic Surgery and Invasive Plastic Surgery among Different Groups[C]/IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan. IEEE, 2017: 403-404.
- [3] 吴新建. photoshop 图像处理软件在颌面部整形美容术中的应用[D]. 南宁: 广西医科大学, 2010.
Wu Jianxin. The Application of Photoshop in Oculofacial Surface Plastic Surgery[D]. Nanning: Guangxi Medical University, 2010.
- [4] Adelson R T. Computer Simulated Imaging in Rhinoplasty[M]. Advanced Aesthetic Rhinoplasty. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 109-118.

- [5] 邹北骥, 吕格峰, 周浩宇, 等. 人脸整形与美容虚拟手术系统的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(6): 898-901.
Zou B J, LV G F, Zhou H Y, et al. Design and Implementation of a Virtual Operation System for Beautifying Lady'S Face[J]. JOURNAL OF SYSTEM SIMULATION, 2003, 15(6): 898-901.
- [6] Gao J, Zhou M C, Wang H, et al. Three Dimensional Surface Warping for Plastic Surgery Planning [C]. 2001 IEEE Int. Conf. Systems, Man, and Cybernetics, 2001, 3: 2016-2021.
- [7] Kavagiou Z, Bello F, Scott G, et al. Facial Plastic Surgery Planning Using A 3D Surface Deformation Tool[J]. Studies in Health Technology & Informatics (S0926-9630), 2005, 111(1): 247.
- [8] Balaniuk R, Costa I, Melo J. Cosmetic Breast Surgery Simulation[C]. Annals of the VIII Symposium on Virtual Reality, 2006: 387-396.
- [9] Georgii J, Eder M, Bürger K, et al. A Computational Tool for Preoperative Breast Augmentation Planning in Aesthetic Plastic Surgery [J]. IEEE Journal of Biomedical & Health Informatics(S2168-2194), 2014, 18(3): 907-919.
- [10] 孙剑, 柴建云, 唐泽圣. 手术模拟中软组织变形的实时有限元新算法[J]. 系统仿真学报, 2000, 12(5): 553-556.
Sun J, Chai J Y, Tang Z S. A Novel Real-time FEM Algorithm for the Deformation of Soft Tissue in Surgery Simulation[J]. JOURNAL OF SYSTEM SIMULATION, 2000, 12(5):553-556
- [11] Sorkine O, Cohen-Or D, Lipman Y, et al. Laplacian Surface Editing[C]/Eurographics/acm SIGGRAPH Symposium on Geometry Processing. ACM, 2004: 175-184.
- [12] Yu Y, Zhou K, Xu D, et al. Mesh Editing with Poisson-based Gradient Field Manipulation[J]. Acm Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 644-651.
- [13] 胡燕瑜, 李进舜, 廖胜辉. 基于体网格拉普拉斯变形的鼻整形手术仿真[J]. 计算机仿真, 2011, 28(11): 366-369.
Hu Y Y, Li J S, Liao S H. Nose Surgery Simulation by Volumetric Laplacian Deformation[J]. Computer Simulation, 2011, 28(11): 366-369.
- [14] Li J, Liao S, Lu R, et al. Realistic Cosmetic Plastic Surgery Simulation Based on the Golden Ratio[J]. Acta Electronica Sinica, 2016, 25(5): 886-891.