

人脸特征约束点的三维表情合成 *

胡 勇, 王国胤, 杨 勇

(重庆邮电大学 计算机科学与技术研究所, 重庆 400065)

摘 要: 针对目前很多三维表情合成算法计算量大、方法比较复杂、真实感不强的特点, 结合人脸分布特征, 提出了一种基于 Delaunay 三角剖分的三维表情合成新算法。该方法通过对人脸特征点集的快速三角剖分避免了病态三角网格, 有效提高了合成后人脸表情的真实度, 降低了算法复杂度。大量实际人脸表情合成的实验结果表明, 该算法通过少量的特征点生成的三维人脸表情更加真实, 可有效快捷地合成各种真实的人脸表情。

关键词: 三维人脸表情合成; Delaunay 三角剖分; 特征点; 三维人脸模型; 纹理映射

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)02-0754-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.094

New three-dimensional expression synthesis based on facial feature constraints points

HU Yong, WANG Guo-yin, YANG Yong

(Institute of Computer Science & Technology, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Aiming at a lot of three-dimensional facial expression of the synthesis method calculation was very large, complex and realistic not strong, this paper proposed the distribution characteristic of the face on the basis of a new Delaunay triangulations on three-dimensional expression synthesis method. The method was through a set of features to face rapid triangulations to avoid pathological triangular mesh. It could effectively improve the realism of facial expressions and reduce the complexity of the algorithm. A lot of actual face expression synthesis experiment results show that the proposed algorithm through a small amount of feature point generates three-dimensional facial expression more real, which can effectively fast synthesis of various real face expression.

Key words: 3D facial expression synthesis; Delaunay triangulation; feature points; 3D face model; texture mapping

人脸是人类喜、怒、哀、乐等复杂表情和语言的载体,也是人们相互之间进行交流的重要渠道。近年来,伴随着电影特技、电脑游戏、虚拟现实的迅速发展以及广泛的商业应用,合成具有真实感人脸三维表情的研究已经在计算机视觉和图形学领域成为一个非常热门的研究课题,具有广泛的应用价值。

人脸表情合成通常是以中性表情为基础,采用合成方法使人脸模型产生整体或者局部的形变,以达到模拟人脸表情为目的。自 20 世纪 70 年代初,Parke 等人^[1]设计出世界上最早的可以做表情的人脸之后,三维人脸的造型和表情合成技术方面的研究吸引了众多研究人员的目光,并得到了长足的发展,涌现出了诸多有效的合成方法。Bianz 等人^[2]利用统计分析得到了三维人脸表情的一般特征,实现了真实感较好的人脸表情合成,但该方法由于外观特征与表情特征都是经过统计分析得出的,所以时间和空间复杂度较高。Matthew 等人^[3]用非线性的统计模型对三维人脸表情进行统计分析,可以较普遍地进行表情模拟,但工作量比较繁重。龚勋等人^[4]在三维重建的基础上,基于高维稠密网络实现了对人脸的表情合成,但该方法需要大量的计算且人脸真实度不够。常江龙等人^[5]对三维人脸形状样本进行双线性分析,实现了人脸表情的模拟,但该方法对表情现行子空间描述能力较弱,人脸真实感不足。Delaunay

三角剖分利用其良好的性质,能有效地避免病态三角形的出现,使生成的三角网格能更准确地描述人脸的各种复杂表情。逐点插入的 Lawson 算法^[6]是 Lawson 在 1977 年提出的,该算法思路简单,首先建立一个大的三角形把所有的点都包围起来,然后向其中插入一点,将该点与包含它的三角形的三个顶点相连,生成三个新的三角形,同时用 Lawson 设计的局部优化过程(LOP)确保生成的三角形是 Delaunay 三角形,迭代上述过程。从上述 Lawson 算法可以看出,该算法思路简单,能使合成的表情真实自然,有效避免表情失真的情况出现,但当这种构网算法的点集较大时会花费大量时间在三角形的构建上,势必严重影响算法效率。

1 Delaunay 三角剖分

Delaunay 三角剖分算法是俄国数学家于 1934 年提出的,其基本定义如下:

假设 V 是二维实数域上的有限点集,每一点 P_i 对应一个区域:

$$\{V_i\} = \{P_i : \|P - P_i\| \leq \|P - P_j\|, \forall j \neq i\} \quad (1)$$

如果 V_i 内的点到 P_i 的距离不大于到 P_j 的距离,连接全部相邻的 Voronoi 多边形生成点所构成的三角网格称为 Delaunay

收稿日期: 2011-07-03; **修回日期:** 2011-08-15 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61073146);重庆市杰出青年科学基金资助项目(2008BA2041);重庆市高等教育教学改革研究项目(09-1-004)

作者简介: 胡勇(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为智能信息处理、模式识别、图形图像处理、情感计算等(5102800212@qq.com); 王国胤(1970-),男,教授,博导,主要研究方向为智能信息处理、粗糙集、粒计算、网络安全; 杨勇(1976-),男,副教授,硕导,博士,主要研究方向为智能信息处理、模式识别与人工智能。

三角剖分(其中, V_i 是 P_i 的 Voronoi 多边形, P_i 是 Voronoi 多边形 V_i 的生成点)。

由于这种方法具有一系列特有的性质,所以在计算机图形图像处理、三维人脸等方面得到了广泛的应用。

Delaunay 三角的外边界是一个凸多边形,它由连接所有点所形成的凸集形成,通常称为凸壳。Delaunay 三角具有两个非常重要的性质:

a)空外接圆性质。在 Delaunay 三角剖分中,每个三角形的外接圆均不包含其他任意点。

b)最大最小角性质。在由点集所能形成的三角网中,Delaunay 三角网中的三角形的最小角度是最大的。

由于有以上两个性质,决定了 Delaunay 三角网格具有广泛的应用价值。经过长期研究表明,所有 Delaunay 三角形互不重叠,因此能有效地避免病态三角形的出现,从而使合成效果更加真实,是最优的三角剖分算法之一。针对传统逐点插入算法存在时间效率比较低的问题,本文用改进的逐点插入法来生成 Delaunay 三角网格,通过对表情图像区域进行分块,从而加快三角网格的生成效率。

假设特征点集 M 所覆盖的矩形区域的高度和宽度分别是 h 和 l ,被均匀地划分为 p 行、 q 列个块。其中每个块之间的宽度为 Δs ,特征点的总数为 n ,每个块中特征点期望值为 N 。此时对于整个矩形区域来说,点的面密度的期望值为

$$\rho_1 = n / (hl) \tag{2}$$

对于每个块中点的面密度的期望值为

$$\rho_2 = N / (\Delta s)^2 \tag{3}$$

设特征点集 M 总体上服从随机均匀分布,则 $\rho_1 = \rho_2$,由式(2)(3)得

$$\Delta s = \sqrt{hlN/n} \tag{4}$$

又因为 $h = \Delta s \times p, l = \Delta s \times q$,故

$$p = \sqrt{hn/IN}, q = \sqrt{nl/hN} \tag{5}$$

设所有特征点的横、纵坐标的最大、最小值分别是 $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 、 $y_{\max}$ 、 $y_{\min}$,则有

$$h = y_{\max} - y_{\min}, l = x_{\max} - x_{\min} \tag{6}$$

由于行列为整数,整理式(5)(6)后得:

$$p = \left\lceil \frac{\sqrt{(y_{\max} - y_{\min})n}}{\sqrt{(x_{\max} - x_{\min})N}} \right\rceil + 1 \tag{7}$$

$$q = \left\lceil \frac{\sqrt{(x_{\max} - x_{\min})n}}{\sqrt{(y_{\max} - y_{\min})N}} \right\rceil + 1 \tag{8}$$

虽然所选择的特征点集并不总是服从随机均匀分布,但这不影响其他网格对三角形的查找。

2 基于特征约束点的表情合成

本文采用的三维人脸模型是中性人脸网格模型,表情图像为正面人脸照片,基本流程如图 1 所示。

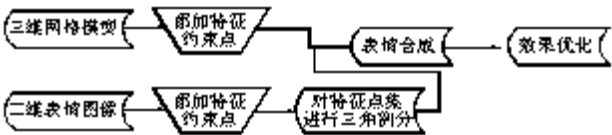


图 1 算法流程

2.1 特征约束点的选取

三维人脸表情合成中的关键是找到三维模型上所有顶点在表情图像上的对应位置,从而进行表情纹理映射合成。本文

根据人脸结构分布特征,对特征比较明显的区域(眼角和眉毛、鼻翼、嘴唇)建立映射关系(图 2)。一般来说,约束点的个数由模型的复杂程度决定,约束点越多,则合成的表情越真实,但时间相对越慢。本文手动选取 23 个特征点(图 3),通过与中性人脸模型的特征点(图 4)建立三维网格与表情图像之间的对应关系后,实现它们之间表情的合成。



图 2 特征区域分布



图 3 表情特征点分布



图 4 三维中性人脸模型特征点分布

2.2 特征约束点的三角剖分

关于三角剖分算法,已有一套较为完整的算法理论。本文针对传统逐点插入算法存在时间效率比较低的问题,在 Lawson 算法的基础上对特征点优化排序分块处理并提出了一个改进的逐点插入方法。该逐点插入法的基本步骤如下:

a)生成初始化网格,用一个能覆盖特征点集 M 的最小矩形,形成初始化的 Delaunay 三角网。

b)将 a)中的矩形区域按式(7)(8)所提供的行列数进行分块,并将矩形区域内生成的三角网格与每一块之间建立索引关系。

c)通过堆排序方法对特征点集 M 中的点按 x 坐标从小到大排序,若 x 坐标相同则按 y 值从小到大排序,删除其中重复的点。

d)从划分的每一块区域中取出点 v ,在当前的三角网中找出包含该新点的全部三角形,并把 v 与三角形的所有顶点相连,生成新的三角形。

e)用局部优化过程(LOP)算法优化三角网,如果其中任意一个三角形的外接圆包含另一个三角形除公共顶点外的第三顶点,则交换公共边。这样可以保证生成的最终三角网是 Delaunay 三角网。

f)返回到步骤 d),从各个划分的块中轮流取点 v_i 加入到三角形中,直到所有特征点全部插入完毕为止,此时删除最初形成的矩形框。

本文运用逐点插入法,最终完成对表情图像特征点的 Delaunay 三角剖分,如图 5 所示。为了使 Delaunay 三角网能覆盖特征点集 M ,本文在原有的 23 个特征点的基础上在三角网外增加了人脸边缘点。

2.3 表情纹理合成

通过对表情图像的三角剖分,得到了表情图像特征点和三维模型之间特征点的对应关系,因此合成后的网格顶点纹理坐标就是它们对应的表情图像上特征点的坐标。对于特征点以外的其他顶点,可以通过它们在 Delaunay 三角区域中的质心坐标来计算出在表情图像上对应的纹理坐标 W_i 。其具体步骤如下:选取一个顶点 V_i ,如果能找到一个 $\triangle ABC$,它的质心坐标为 (U, V, W) ,其中 U, V, W 都在 $(0, 1)$ 之间,使得 V_i 位于这个三角形内,则保存 $\triangle ABC$ 的三个顶点和质心坐标作为 V_i 在三角网格中的相对位置。因此对于非特征点的顶点,它们所对应的纹理坐标 $S_i = U \times A_1 + V \times B_1 + W \times C_1$,其中 A_1, B_1, C_1 为表情图像上与 A, B, C 对应的三个特征点;否则 V_i 落在网格区域

以外。由于选取的特征比较明显,依靠这些特征点建立了覆盖整个人脸区域的三角网络,所以可以保证所有的顶点都被覆盖于网格之中。

3 实验结果和分析

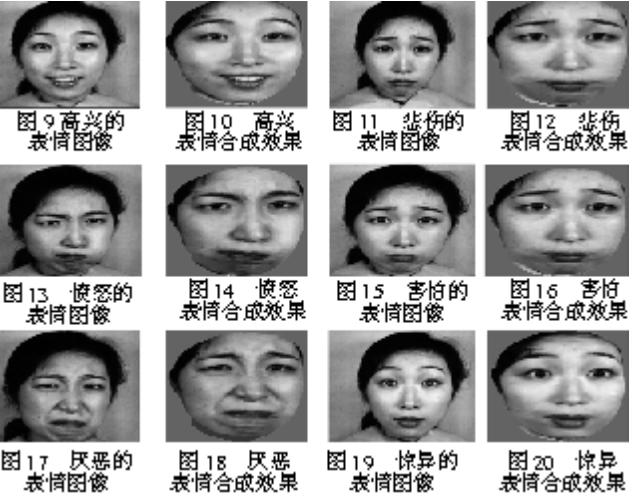
本文采用基于特征约束点的三维表情合成方法,在 Windows 平台下使用 VC++、MATLAB 和 OpenGL 开发包编程实现。为了验证本算法的有效性,分别进行了以下两组实验。

1) 表情合成的对比 本文使用加州理工大学的正面人脸数据库(由 27 人的 450 幅图像组成,每人展示不同的表情、照明、背景,均为 896×592 的彩色图像),从中选取一幅(图 6)。从图 7 和 8 可以看出,本文合成后的效果比文献[4]具有更高的真实感。



2) 常见表情的合成 本文使用日本女性表情库(JAFFE)[7]对上文提到的方法进行实验。

JAFFE 人脸表情静态图像库由 10 人的 213 幅图像组成。每人展示七种表情(生气、厌恶、恐惧、高兴、中性、悲伤、惊讶)各 2~4 幅图像,均为 256×256 的 8 位灰度图像。为了进行有效的实验对比,本文取六种基本表情(高兴、悲伤、愤怒、害怕、厌恶、惊讶)来进行分类。对每一幅人脸表情图像进行逐点插入的三角剖分计算,最后得到六种合成后的三维人脸表情,如图 9~20 所示。



本文利用 Delaunay 三角剖分得到了真实感很强的三维表情。在算法的复杂度方面,本文采用堆排序和分块加点减轻了局部优化的工作量,极大地提高了算法的效率。

若设总的标注特征点数为 n ,则一般的逐点插入法的时间复杂度为 $O(n^3)$,最坏情况为 $O(n^2)$ 。本文提出了一种改进的算法,首先采用堆排序法对特征点进行排序,时间复杂度为 $O(n \log n)$,然后插入一个点并局部优化每一个三角网格。设 k 为每次插入一个点所需要优化的平均三角数,由于 k 远远小

于 n ,所以插入 n 次点的时间复杂度为 $O(n) + kO(n)$,改进后的算法复杂度为 $O(n \log n) + O(n) + kO(n) \approx O(n \log n)$,效率远高于改进前的算法。表 1 显示了本文算法与其他算法在时间复杂度上的比较情况。

表 1 几种算法在时间复杂度上的比较

算法	时间复杂度
文献[8]	$O(nN + (k+n)n^2 + n^3)$
文献[9]	$O((n^2 + m^2)K + (n+m)N)$
本文	$O((n \log n) + (k+1)n)$

由表 1 可见,本文采用的方法把大部分时间用于求解 Delaunay 三角剖分,通过堆排序提高了算法效率。本文算法在时间复杂度方面明显优于文献[8,9]的算法。

4 结束语

本文提出了一种改进的逐点插入的 Delaunay 三角剖分算法,通过在表情图像和三维中性网格模型上添加特征约束点,并根据对表情图像的分块,运用堆排序方法快速生成 Delaunay 三角网格。由于 Delaunay 三角剖分避免了出现病态三角形的可能,所以通过计算得到的纹理坐标误差很小。取得的三维表情合成效果具有很高的真实感。从实验结果来看,本算法能得到较为满意的真实感三维表情,同时算法也比较高效。

实验中由于特征点标记工作繁琐,特征点定位效果不佳,造成对生成三维表情的真实度有一定影响,今后将进一步研究三维人脸模型上的特征点,以提高合成表情的真实度。

参考文献:

[1] PARKE F I, WATERS K. Computer facial animation [M]. Wellesley Natick, MA: A K Peters, 1996: 1-365.

[2] BLANZ V, BASSO C, POGGIO T, et al. Reanimating faces in images and video[J]. Computer Graphics Forum, 2003, 22(3): 641-650.

[3] CHANG Ya, HU Chang-bo, FERIS R, et al. Manifold based analysis of facial expression[C]//Proc of CVPR'04. 2004.

[4] 龚勋, 王国胤. 基于高维稠密网格的三维人脸动画[C]//数字娱乐与艺术暨数字家庭交互应用技术与设计学术研讨会. 2008.

[5] 常江龙, 郑颖, 汪增福. 利用双线性分析的三维人脸表情模拟技术[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(6): 1190-1195.

[6] LAWSON C L. Software for C' surface interpolation[M]//RICE J R. Mathematical Software III. New York: Academic Press, 1977: 161-194.

[7] LYONS M J. The Japanese female facial expression (JAFFE) database [DB/OL]. (1998). <http://www.kasrl.org/jaffe.html>.

[8] GONG Xun, WANG Guo-yin. Automatic 3D face segmentation based on facial feature extraction [C]//Proc of the IEEE Conference on Industrial Technology. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2006: 1154-1159.

[9] JIANG Da-long, HU Yu-xiao, YAN Shui-cheng, et al. Efficient 3D reconstruction for face recognition[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(6): 787-798.

[10] 陈柯, 杜利民, 赵向阳, 等. 基于三角剖分的人脸纹理映射[J]. 微计算机应用, 2007, 28(1): 1-4.

[11] 袁翰, 李伟波, 陈婷婷. 对构建 Delaunay 三角网中凸壳算法的研究与改进[J]. 计算机工程, 2007, 33(7): 70-72.