

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 12
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年12月 第17卷 第12期(总第200期)

目次

综述

高斯混合模型、求解算法及视觉应用综述..... 管涛,李玲玲(1461)

图像处理和编码

基于曲波变换和色度模型的彩色图像去噪..... 张云强,张培林,王国德,卓洪波(1472)

子矢量排序的渐进不相似度逼近算法..... 李阳,潘志斌,吴鑫鹏(1478)

稀疏梯度先验模型的正则化图像复原..... 刘伟豪,梅林,蔡烜(1485)

高精度亚像素全局运动估计的上采样梯度互相关算法..... 余应淮,王锦荣(1492)

图像分析和识别

点到弦距离累加的自适应角点检测..... 王万良,金亦挺,赵燕伟,胡峰俊(1500)

最大子分类间隔准则的核函数优化..... 张静,杨智勇,于红芸,孙晓燕(1509)

核典型相关性鉴别分析..... 陈伟琦,程强(1516)

小波变换和特征加权融合的人脸识别..... 赵焕利,王玉德,张学志,薛乃玉(1522)

具有身份标识的多目标跟踪..... 安国成,肖坦(1528)

图像理解和计算机视觉

用于圆锥体位姿测量的曲面标记..... 李蒙,谌德荣,周广铭,蒋玉萍,高翔霄(1534)

计算机图形学

基于特征识别的3维人脸动画模型自动构造…………… 徐明, 乔宁博, 文振焜, 曾新, 采振祥(1540)

3D GIS 环境下雨雪天气实时仿真…………… 李欢, 樊红, 冯浩(1548)

医学图像处理

结合马尔可夫随机场与模糊 C-均值聚类的脑 MRI 图像分割…………… 余黎煌, 钟华, 张石(1554)

遥感图像处理

面向遥感影像镶嵌的 SVR 色彩一致性处理…………… 吴炜, 骆剑承, 李均力, 杨海平, 沈占锋(1561)

遥感影像投影寻踪回归分类模型…………… 张正健, 李祚泳, 秦宁生, 刘志红, 巴桑(1568)

《中国图象图形学报》2012 年第 17 卷总目次…………… (1)

志谢…………… 封2

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 12 期

2012 年 12 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa.ac.cn

电话:010-64807995 010-82614429

网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,

CAS China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational

Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board

of Journal of Image and Graphics

(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)

E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation

(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTXFZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 12 December 2012

Contents

Review

Overview of Gaussian mixture models, solving algorithms and visual applications Guan Tao, Li Lingling(1461)

Image Processing and Coding

Denoising method for color images based on chrominance model and curvelet transform
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Wang Guode, Zhuo Hongbo(1472)

Improved incremental dissimilarity approximations algorithm using sub-vector sorting Li Yang, Pan Zhibin, Wu Xinpeng(1478)

Regularized image restoration algorithm on sparse gradient prior model Liu Weihao, Mei Lin, Cai Xuan(1485)

High accuracy sub-pixel global motion estimation based on upsampled gradient cross-correlation algorithm
..... Yu Yinghuai, Wang Jinrong(1492)

Image Analysis and Recognition

Adaptive corner detection based on chord-to-point distance accumulation
..... Wang Wanliang, Jin Yiting, Zhao Yanwei, Hu Fengjun(1500)

Kernel optimization approach based on maximum subclass margin criterion
..... Zhang Jing, Yang Zhiyong, Yu Hongyun, Sun Xiaoyan(1509)

Kernel discriminant analysis based on canonical correlation Chen Weiqi, Cheng Qiang(1516)

Face recognition based on wavelet transform and weighted fusion of face features
..... Zhao Huanli, Wang Yude, Zhang Xuezhi, Xue Naiyu(1522)

Multi-target tracking algorithms with identification label An Guocheng, Xiao Tan(1528)

Image Understanding and Computer Vision

Curved surface marker used for cone pose measurement
..... Li Meng, Chen Derong, Zhou Guangming, Jiang Yuping, Gao Xiangxiao(1534)

Computer Graphics

The approach to automatically construct animation models based on 3D facial geometry and texture features recognition
..... Xu Ming, Qiao Ningbo, Wen Zhenkun, Zeng Xin, Cai Zhenxiang(1540)

Real-time snow and rain rendering in 3D GIS environment Li Huan, Fan Hong, Feng Hao(1548)

Medical Image Processing

Fuzzy C-means clustering algorithm combined with markov random field for brain MR image segmentation
..... She Lihuang, Zhong Hua, Zhang Shi(1554)

Remote Sensing Image Processing

Support vector regression color normalization method for image mosaic
..... Wu Wei, Luo Jiancheng, Li Junli, Yang Haiping, Shen Zhanfeng(1561)

Remote sensing image classification model based on projection pursuit regression Zhang Zhengjian, Li Zuoyong, Qin Ningsheng, Liu Zhihong, Ba Sang(1568)

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)12-1540-08

论文引用格式: 徐明, 乔宁博, 文振焜, 曾新, 采振祥. 基于特征识别的3维人脸动画模型自动构造[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(12): 1540-1547.

基于特征识别的3维人脸动画模型自动构造

徐明^{1,2}, 乔宁博¹, 文振焜², 曾新³, 采振祥¹

1. 深圳大学信息中心, 深圳 518060; 2. 深圳大学计算机与软件学院, 深圳 518060;

3. 中南大学信息可视艺术与设计研究中心, 长沙 410083

摘要: 针对3维人脸动画应用中, 需要手工事先标定肌肉模型的控制点、工作区域和设置各种计算参数, 造成工作量大、修改困难、移植性差等弊端, 提出自动构造各种肌肉模型及确定它们计算参数的方法。研究工作包括: 综合运用法向量变化率、高斯曲率、高斯纹理模型等参数研究3维人脸几何及纹理特征的快速检测方法; 设计基于邻域生长和候选点聚类分析的识别算法来识别人脸五官部位的特征点; 在此基础上, 自动确定各种肌肉模型的位置结构、工作区域和计算参数, 实现人脸动画所需的肌肉模型构造和装配的自动化。应用工作结果表明, 基于特征识别的3维人脸动画肌肉模型自动构造方法移植性好、精度较高, 提高了动画建模工作的效率。

关键词: 人脸动画; 人脸特征识别; 肌肉模型构建; 自动标定

The approach to automatically construct animation models based on 3D facial geometry and texture features recognition

Xu Ming^{1,2}, Qiao Ningbo¹, Wen Zhenkun², Zeng Xin³, Cai Zhenxiang¹

1. Information Center, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

2. College of Computer Science and Software Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

3. Information Visualization and Design Center, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract: Considering the work needed for constructing muscle models artificially, setting their control nodes, and adjusting their computer parameters, we present a method to construct the muscle model automatically and to generate the model calculation parameters for 3D facial animation. We developed a robust facial features recognition algorithm to extract the geometry and texture feature vertices. In the geometry feature recognition process, we adopt synthetically several constraints related to the Gaussian curvature and surface normal value to extract the candidate vertices. In the texture feature recognition process, we use the Gaussian Mixture Model of CrCb to extract the feature vertices. Then, clustering procedures are applied to gain the final feature vertices. Finally, using the 13 geometry feature vertices and 8 texture feature vertices extracted by the recognition algorithm, we automatically construct the muscle models for the real-time facial animation. The experimental results demonstrate a matching rate over 90% compared with the landmark vertices made by an artist. The application work indicates that the process of automated muscle model construction based on the feature recognition algorithm fit in with different human head geometries very well. On this basis, we synthesize a group of characteristic facial expressions and mouth shapes with higher realism in real time.

Key words: facial animation, facial feature recognition, automatic animal modeling, automatic vertex tagging

收稿日期: 2012-02-10; 修回日期: 2012-06-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(61170326, 60873189); 深圳市基础研究项目(JC200903120088A, JC201005250084A, JC201005250052A)

第一作者简介: 徐明(1967—), 男, 副教授, 2001年于武汉大学获计算机应用技术专业硕士学位, 主要研究方向为计算机图形与实时动画、模式识别等。E-mail: xuming@szu.edu.cn

0 引言

动漫游戏应用中,为了缩短周期,降低美工成本,适应各种不断变化的场景,急需各种高真实感的实时图形动画技术的支持,3 维人脸表情与口型实时动画技术就是其中的一项重要技术之一。从 20 世纪 90 年代开始,人脸实时动画技术的研究经历了基于几何插值的方法^[1]、基于变形的方方法^[2-3]、基于参数的方法^[4]、基于纹理图像变形的方方法^[5]、基于生理模型^[6-11]的人脸动画方法等。其中,基于生理模型的人脸动画方法根据解剖学知识,引入肌肉模型对人脸生理结构及运动进行模拟。具体思路是将人脸组织简化成皮肤、肌肉和骨骼 3 个层次,表情运动主要通过肌肉层的弹性作用进行控制,通过皮肤层来表现^[6-9],这样动画的真实感得到了保障。代表性的工作有:Platt 和 Badler 的质点弹簧系统,采用 38 条肌肉块作用于人脸的弹性网格结构使之产生变形,生成人脸动作。Waters 通过向量域的方向、原点和插入点位置来定义人脸肌肉向量,将其嵌入在 3 维人脸网格的特定位置,构造圆锥形类似于高度场的空间^[10]。后来发展出了多层弹性网格肌肉模型、基于物理皮肤和肌肉的综合模型等方法^[11]。然而这类方法组合了多种动画控制模型,造成工作参数多,权重确定过程复杂,需要手工设置和调试操作,而且所建立的综合性生理模型难以移植到新的人脸网格上。

实际应用中,上述基于生理模型的动画方法取得了较好的实时性和较高的真实感。其中,Waters 分别定义了线性肌和括约肌模型的拓扑结构和计算参数^[10],在此基础上实现的人脸表情及口型动画实时性能突出,真实感较高,应用得较为普遍。但是 Waters 肌肉模型方法在应用中的难点是需要事先在人脸网格上进行精确的肌肉定位和参数调节,这部分工作目前都是由美工人员手工设定,工作内容包包括:在 3D MAX 等制作工具中打开待处理的人脸网格,在五官部位手工标定肌肉模型的工作端点,建立起肌肉模型的基本结构;然后,根据人脸表面形状初步建立肌肉模型的控制区域和工作参数,还需要手工设置区域内顶点的运动权重;最后,设计 3D MAX 插件将各肌肉模型的位置、结构参数、控制区域以及受控顶点的运动权重等数据保存成外部文件供动画驱动算法使用。

以上人工装配肌肉模型的方法需要花费大量的人力和时间,由于经验问题会出现遗漏,也不能一次就得到模型的较优参数,往往要反复修改才能得到好的动画效果。这个过程,需要美工和计算机人员一起配合数周时间才能完成。再者,肌肉模型包含作用起点、终点和作用区域等手工设置数据,只反映当前人脸网格的情况,不能适合新人脸的表面特征,不具有移植性。实际工作中,还经常遇到所设计的模型输出插件跟不上 3D MAX 版本更新的麻烦。针对这些状况,本文提出基于人脸五官部位特征点识别自动建立肌肉模型思路,研究手工建模过程中所涉及的各个肌肉工作端点的识别方法,实现自动的肌肉建模和自动设置肌肉的控制区域,满足实际应用的需要。

1 3 维人脸特征检测

在 3 维人脸,嘴角、眼角、鼻翼、耳根等处几何形状变化剧烈,而嘴唇、眉毛等处的纹理特征明显。提取出这些几何或纹理特征参数,检测出相应特征点的位置,就可为各肌肉模型自动定位其关键控制点,免去人工建立这些肌肉模型的工作量。

1.1 几何特征的提取

嘴角、眼角、鼻翼、耳根等处的几何特征突出表现在顶点法向量和曲率的变化上。因此,可以根据人脸网格上顶点法向量的变化率判别曲面的变化情况,再结合曲率的变化情况进行鉴别。曲面上某点的高斯曲率是该点两个主曲率的乘积,它反映了曲面局部的弯曲程度。实际应用中,三角网格曲面离散高斯曲率有快速的估算方法。文献[12]对国内外 4 种典型方法进行了比较,其中,2002 年 Meyer 等人提出的 Voronoi 方法对高斯曲率和平均曲率的估算效果较优^[13],估算方法为

$$K = \left(2\pi - \sum_j \theta_j \right) / A \quad (1)$$

式中, A 为曲面上顶点 V_j 周围小邻域的 Voronoi 面积,具体定义如图 1 所示^[13]。其中 V_j 是人脸网格上的当前顶点, V_1 至 V_n 是与其相邻的全部顶点。所构造出的 Voronoi 邻域包含且仅包含当前顶点 V_j ,Voronoi 多边形的各边都分别与顶点 V_j 与其各相邻顶点的连线垂直。

在实际应用中,对于密度极不均匀的人脸网格,式(1)估算出来的各点高斯曲率不具有可比性。这

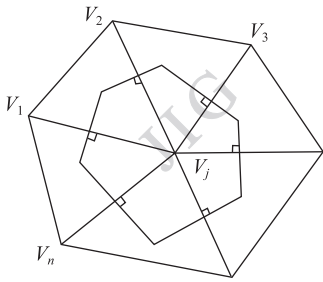


图 1 Voronoi 邻域结构示意图

Fig. 1 The Voronoi region on a triangulated surface

种情况下,可忽略 Voronoi 面积的影响,通过高斯曲率值的正负进行曲面变化判断。通过实验,本文先计算各顶点的单位法向量,并依次计算当前点与其相邻各顶点的单位法向量的差向量。当该差向量的模大于预设的阈值时,再计算当前点的高斯曲率,根据高斯曲率的符号变化进行特征点判别。

1.2 纹理特征检测

嘴唇、眉毛等处的纹理特征十分明显,根据人脸网格上顶点的纹理颜色值进行判别。借鉴人脸肤色检测方法^[14-15],为嘴唇和眉毛的纹理颜色分别设置一个分类空间。由于 RGB 颜色空间中 R、G、B 各分量均包含了亮度信息,它们之间存在着很大的相关性,对光照变化敏感,不利于纹理颜色的检测和分割。本文将 RGB 颜色空间转换到亮度和色度分离的颜色空间,采用 CrCgCb 颜色空间建立了纹理颜色高斯模型,以增强纹理检测的适应性。其中,Cr 分量是红色分量 R 与亮度 Y 的差,Cg 采用绿色分量 G 与亮度 Y 的差,Cb 分量是蓝色分量 B 与亮度 Y 的差。高斯纹理模型的概率密度函数为

$$P(c) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^3 |\Sigma|}} \times \exp\left[-\frac{1}{2}(c - \mu)^T \Sigma^{-1}(c - \mu)\right] \quad (2)$$

式中, $c = [c_r, c_g, c_b]^T$ 为顶点纹理 CrCgCb 三分量的列向量, $\mu = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_j$ 为 3 维均值向量, $\Sigma = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (c_j - \mu)(c_j - \mu)^T$ 是 3×3 的协方差矩阵。

训练嘴唇或者眉毛对应的高斯纹理模型时,事先选取若干人脸图像,将嘴唇或者眉毛部分分割出来,形成训练集。式(2)中, μ 由训练样本均值代替, Σ 由训练样本方差代替。纹理检测时,对当前搜索到顶点,通过其纹理坐标获取它的纹理颜色 RGB

值,转换到 CrCgCb 颜色空间,然后由式(2)计算出该点对某高斯纹理模型的概率。最后,通过一个由实验确定的阈值来判断该顶点是否属于某高斯纹理模型,从而完成顶点纹理特征的检测。

2 基于邻域生长的特征识别算法

2.1 特征区域的搜索过程

为了识别出 3 维人脸上的所有几何及纹理特征点,保证算法的性能,需要组织一个有效的搜索过程,完成对特征点周围所有顶点的搜索并进行特征参数判别。本文确定了一种基于搜索种子点的邻域生长特征搜索方法,逐轮对搜索出来的顶点进行特征判别。邻域生长的搜索及特征识别过程如图 2 所示,其标出了一个初始种子点,它周围粗线边指向的是一轮生长过程中产生的所有邻接点集,新搜索出来的邻接点都需要进行特征检测。嘴角部分深颜色的点是按此方式判别出来的目标点集。

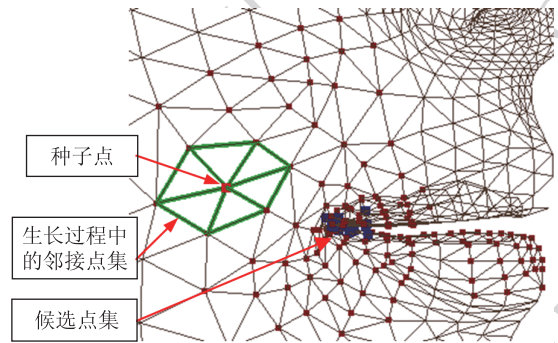


图 2 基于邻域生长的特征识别过程

Fig. 2 The recognition process based on the adjacency propagation algorithm

首先是对 3 维人脸网格进行初始分析,计算出面颊间的宽度 h_x 、头顶和下巴间的高度 h_y 、头部的最大深度 h_z (以右手坐标系为例),Z 值最大的顶点作为鼻心,然后根据“三庭五眼”的人脸先验知识所决定的区域比例关系,确定左右脸颊、鼻心、眉心和额头等处种子点的初始位置及其大致作用区域。

对于几何特征,从某种子点出发,在其作用半径范围内,采用邻域生长的方法逐轮次进行顶点搜索。对每轮新搜索出来的顶点,逐点进行法向量和高斯曲率分析,确定 3 维人脸几何特征候选点。特征分析包括两方面:首先,计算该种子点相邻的各网格面片的单位法向量,并两两计算相邻单位法向量的差向量。其次,当 3 维表面变化较大,差向量的模大于几何差

异阈值时,认为该点是一个可能的几何特征候选点,这时计算该处的高斯曲率,根据高斯曲率的符号变化,确定该点就是几何特征候选点,还是一个需要剔除的顶点。一个轮次搜索出来的顶点处理完毕后,启动新一轮次生长,将搜索起点向外扩散到当前点集中的每一个顶点,重复上一步的计算过程,直到超出作用半径范围为止。最后,得到几何特征候选点集。

对于纹理特征,采用相同的搜索方法,对新搜索出来的顶点进行纹理分析,确定纹理特征候选点。纹理分析过程就是根据 1.2 节中说明的方法,对每一轮搜索出来的顶点逐一计算其纹理颜色对纹理模型的概率,结合颜色阈值,判断它所处的颜色空间。例如,从额头种子点出发,采用这种邻域生长搜索方式,根据每个顶点的纹理颜色和黑色纹理模型的阈值,搜索出眉毛区域的纹理特征候选点。从鼻心种子点向下生长,利用红色纹理模型的阈值,搜索嘴唇区域的纹理特征候选点。

2.2 候选点聚类方法

由于几何特征点周围小区域的顶点具有相似的几何特征,通过邻域生长搜索方法得到是该特征点的候选目标顶点集合 T 。加上人脸网格的建模途径不同,网格表面并不光滑,存在几何上的干扰。所以在邻域生长搜索过程后,因此需要对候选点集合 T 进行处理,以便排除掉无用的野点,提取出其中的最优点作为特征点。

针对 3 维空间顶点的聚类算法,建立一种基于迭代和收敛判断的聚类过程。采用这种聚类分析方法,对几何特征候选点进行处理,挑选出最优者作为特征点。具体作法是:首先,把候选点集 T 中的每一个顶点作为一个单独的集合,两两计算集合之间的欧拉距离。然后,把欧拉距离小于合并阈值的两个集合合并成一个新集合,重新计算新集合的重心,并用重心之间的欧拉距离作为集合之间的距离。重复以上步骤,直到子集合的总个数不再变化时为止。这时,迭代过程结束,可以取包含顶点数最多的子集合作为最终的特征集,与该子集重心位置最近的顶点就作为识别出的几何特征点。

2.3 识别算法工作流程

在人脸初始分析基础上,确定用于几何或纹理特征检测的几个种子点及其作用域。对于每个用于几何特征搜索的种子点,在其作用区域内采用邻域生长法对每轮找到的每个顶点进行几何特征分析,得到一个候选点集。对候选点进行聚类分析,确定

最终特征点。对于用于纹理特征搜索的种子点,在其作用区域内仍采用邻域生长法对每轮找到的每个顶点进行纹理检测,得到一个候选点集。对候选点进行一形态学的腐蚀和膨胀计算,确定最终的特征轮廓及端点。整个几何及纹理特征点识别算法的工作流程如图 3 所示。

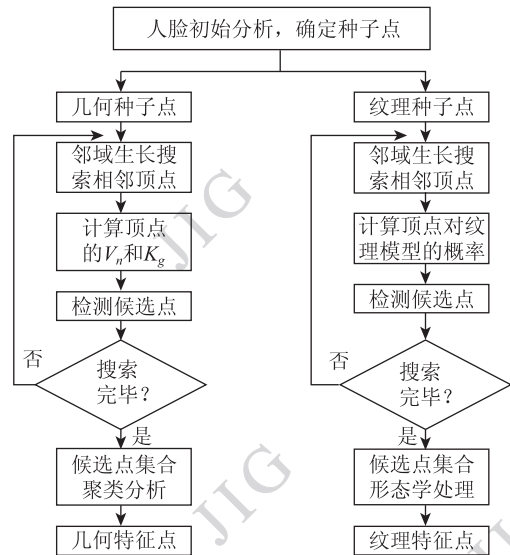


图 3 基于邻域生长的几何及纹理特征识别算法流程
Fig. 3 Flow chart of the geometry and texture features recognition based on adjacency propagation algorithm

3 肌肉模型的自动构建

根据生理学知识,控制人脸面部运动的肌肉主要分为线性肌和括约肌两大类。Waters 等人的工作,利用线性肌肉构造出圆锥形类似于高度场的空间,肌肉被赋予张力的时,高度场内顶点随之运动;利用括约肌构造出椭球形控制域,模拟口轮匝肌、眼轮匝肌的挤压和收缩作用,使区域内顶点向中心点进行收缩^[8-10]。本文主要研究这两类肌肉动画模型的自动构造并确定其计算参数的方法。

3.1 线性肌肉动画模型的构造

线性肌工作模型及参数定义如图 4 所示^[10],其关键工作参数包括肌肉矢量起点 V_1 、终点 V_2 、肌肉矢量与皮肤的交点 V_{start} 以及锥形作用域的顶端夹角 θ 。根据识别出的几何特征点和纹理特征点,可以自动建立该肌肉模型,包括确定它的空间起始位置、建立形如图 4 的拓扑结构以及各种计算参数。

以左颧大肌动画模型为例,根据识别出的嘴角、鼻翼和耳根中部特征点,可以建立该线性肌肉模型

拓扑结构,并确定模型的计算参数。耳根中部特征点作为线性肌肉的起点 V_1 ,则嘴角特征点作为该线性肌肉的终点 V_2 ,该模型的圆锥形作用范围由鼻翼特征点 V_r 限制,即圆锥的夹角就是空间直线 V_1V_2 与 V_1V_r 的夹角,而该模型对人脸表面网格的作用起始点 V_{start} 可以推算出来,计算方法是 $\|V_1V_{start}\| = c\|V_1V_2\|$,其中 c 为常数,采用实验的方法确定。同样的方法,根据识别出的成对眉毛端点,可以建立控制眉毛运动的额肌、次额肌等线性肌肉模型拓扑结构,并确定模型的计算参数;根据识别出的鼻翼与鼻尖特征点,可以建立控制鼻翼运动的鼻侧肌等线性肌肉模型拓扑结构,并确定模型的计算参数。

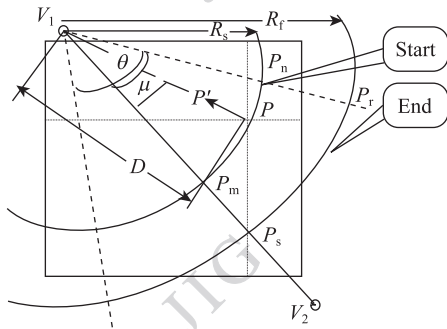


图 4 线性肌肉工作模型及参数定义
Fig. 4 Linear muscle model

3.2 括约肌肌肉动画模型的构造

括约肌工作模型及参数定义如图 5 所示,其椭圆形工作区域由模型的两个端点决定,计算参数即椭圆的工作轴,也由这几个端点直接计算出。根据识别得出的几何特征点及纹理特征点,可以自动建立括约肌抽象模型,包括确定模型的空间起始位置、建立形如图 5 的拓扑结构以及各种计算参数。对于控制眼睛和嘴部运动的括约肌模型,以口轮匝肌为例,根据识别出来的一对嘴角特征点 M_{left} 和 M_{right} ,以及嘴唇中心上端点 M_{up} ,括约肌受力中心 C 为 $(M_{left} + M_{right})/2$,括约肌的长轴参数为 $l_x = \|M_{left}M_{right}\|/2$,短轴参数为 $l_y = \|CM_{up}\|/2$ 。同样的方法,根据识别出的成对眼角特征点可以计算出眼睛控制模型(眼

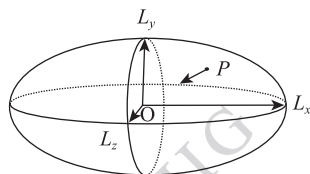


图 5 括约肌工作模型及参数定义
Fig. 5 Sphincter muscle model

眶肌)的受力中心点坐标,通过该点往 Y 轴方向搜索,可以得到眼框上下中心点位置,于是确定出眼部控制模型的结构和计算参数。

3.3 旋转运动控制模型的构造

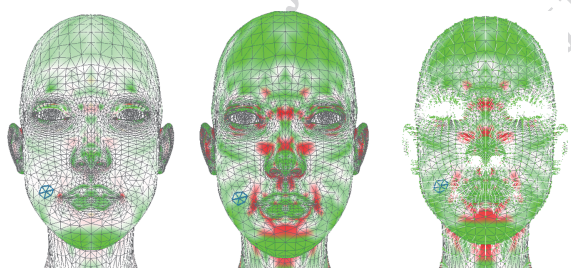
人脸运动还包括张下颚、眨眼睛等对表情生成有影响的旋转运动。利用识别出的几何特征点,可以确定旋转轴位置及控制区域,从而自动建立起旋转运动的控制模型。进一步,需要结合周边的特征点把旋转控制区域内的顶点拣选出来。顶点拣选仍采用邻域生长搜索方法,取区域中心处某点作为搜索起点,开始邻域生长搜索,将几何位置处在控制区域内的顶点都拣选出来予以标记。拣选的同时,还根据每个顶点与中心点的距离远近自动赋予运动权重。以下颚运动控制为例,根据左右耳根下颚处特征点 M 和 M' ,确定下颚绕 MM' 轴旋转,建立起下颚的旋转模型,控制区域的划分方法是: M 和 M' 分别到各自对应嘴角特征点作连线,并通过 MM' 轴确定的面与脸部表面相交,则交线以下区域,以及两个嘴角特征点连线以下的区域就是控制区域。根据这些几何边界,自动拣选出区域内所有的顶点,并为每一个顶点赋予位移权重。对于区域内任意顶点 F_i ,它相近的控制端点是 M_i ,嘴唇中心位置的顶点是 M_c ,则该点的位移权重参数可设为 $w_i = \|M_iF_i\| / \|M_iM_c\|, 0 \leq w \leq 1$ 。

4 实验结果及动画效果

4.1 几何特征检测及识别结果

为直观表现出 3 维人脸上的高斯曲率等几何特征变化情况,直接在 3 维人脸网格上进行可视化显示。图 6 显示的是某人脸网格高斯曲率等几何特征计算情况与可视化效果,图中高斯曲率为正显示为绿色,为负显示为红色,接近于 0 则偏向白色,高斯曲率的绝对值越大,则相应颜色越浓。图 6(a)中,根据式(1)估算出面部各顶点的高斯曲率值,并将这些高斯曲率值转化成对应的颜色和深浅程度,绘制出高斯曲率分布的效果图。由图 6(a)可见,人脸面部的曲率特征表现得不够显著,不利于识别处理。因此,对面部各顶点的高斯曲率值进行直方图均衡处理,图 6(b)显示的是经过均衡处理后的可视化效果,图中每个顶点使用的都是直方图均衡后的高斯曲率数据,深红色的顶点大都集中位于嘴角、眼角、耳根、鼻翼等部位,几何特征突显,便于进行识别处

理。图 6(c)是增加了各顶点单位法向量变化情况的几何特征可视化效果,可见,在人脸五官的边缘区域顶点的单位法向量变化剧烈,是几何特征检测的一个有效指标。



(a) 高斯曲率分布 (b) 直方图均衡后的效果 (c) 法向量变化效果

图 6 高斯曲率等几何特征可视化效果

Fig. 6 The visualization of geometry features based on Gaussian curvature and vertex normal value

为了人脸动画建模的需要,选取了嘴、眼、鼻、耳处的 13 个特征点作为识别目标。基于图 6 所示的几何特征,利用邻域生长搜索及识别算法可以在 3 维人脸上识别出这 13 个特征点,如图 7 所示。利用上述识别算法处理了 8 个 MSH 格式的 3 维人脸,统计了各个特征点的检测误差,结果如表 1 所示。其中,误差计算方法如下:首先,由专业人员手工标定 13 个特征点的位置,记录它们的坐标值;然后,分别计算出每个识别出的特征点与对应标定点之间在 X、Y、Z 3 个坐标轴上的偏差;X 轴上的偏移量除以脸

部的水平宽度值,Y 轴上的偏移量除以脸部的垂直高度值,Z 轴上的偏移量除以脸部 Z 方向的深度值。最后,综合误差取 3 个方向上的偏差率的平方根,结果用百分比表示。表 1 所示,误差率均小于 10%。

4.2 自动建模及标注情况

识别出 3 维人脸的几何特征点和眉毛、嘴唇部位的纹理特征点后,按照 3.1 节和 3.2 节采用的方法,构造出驱动人脸动画的 30 个肌肉模型,如图 8 (a)所示。图 8(a)中人脸的右边部分是为了突显肌肉模型的分布,专门隐藏了人脸网格,左边则是包含人脸网格和肌肉模型的混合显示。图中红色线段表示线性肌肉向量,红色环状区域则表示括约肌模型。图 8(b)显示的是其中构造的左颧大肌动画模型的细节,识别出的嘴角、鼻翼和耳根中部特征点确定了该线性肌肉模型拓扑结构,蓝色线段是肌肉向量,浅绿色区域是该线性肌的作用区域。

4.3 算法性能分析与实验

在人脸网格上自动构建出人脸动画所需肌肉模型的开销主要集中在人脸五官部位几何与纹理特征点的识别过程。对于人脸网格中的某个顶点,进行几何特征计算时采用的是高斯曲率快速估算方法,若是进行纹理特征计算则只需针对事先训练好的高斯纹理模型计算出概率,速度都很快。从各初始种子点出发,通过邻域生长的方法对搜索到的每个顶点进行特征分析,得到候选目标点集,按照红黑树的

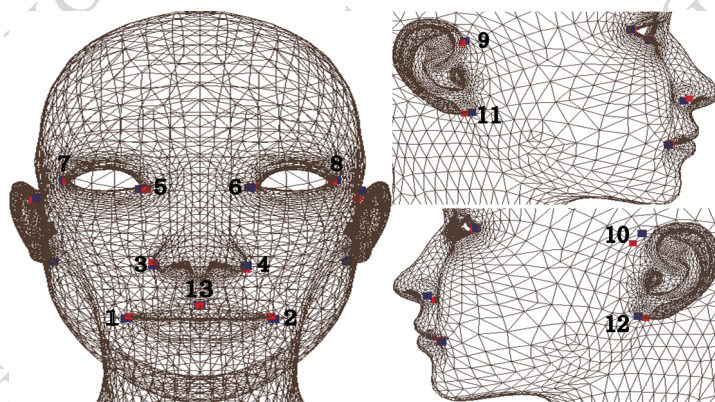


图 7 识别出的特征点情况

Fig. 7 The recognition result of geometry feature vertices

表 1 特征点的检测误差统计

Table 1 The statistics of recognition results of geometry feature vertices

	特征点序号												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
误差率/%	6.3	5.1	5.1	4.9	6.7	5.6	9.2	8.7	4.8	6.8	8.2	6.5	7.7

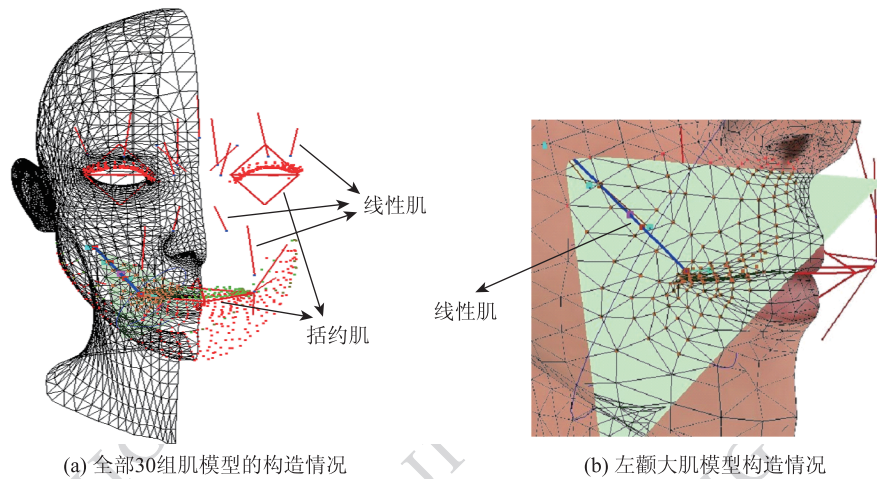


图 8 3 维人脸肌肉模型自动构造情况

Fig. 8 The results of the muscle models automatically constructed

结构进行存储。红黑树的插入及查找的时间复杂度都是 $O(\lg(N))$, N 为候选点个数。随后进行的候选点聚类过程是一种层次聚类方法,其时间复杂度是 $O(N^2)$, N 仍为候选点个数。本文在图 6 所示的人脸网格上进行了基于邻域生长的几何及纹理特征识别算法的性能实验,该人脸面部共有 8 482 个顶点,构成 14 844 个三角形面片。实验环境中, CPU 为 Intel Core(TM)2 Duo 双核,主频为 2.1 GHz,内存为 2 GB,显卡为 NVIDIA GeForce 9500 M。表 2 给出了特征识别算法实施中左脸部分特征点的处理性能数据,其中眉毛和嘴唇部位的候选点搜索完毕后,采用形态学方法进行处理,故耗时较少。

表 2 特征点识别算法性能实验数据

Table 2 The experimental data of the recognition algorithm

	左嘴角	左眼角	左鼻翼	左眉毛	上嘴唇
搜索顶点数	163	257	172	136	123
候选顶点数	23	33	18	34	68
耗时/ms	966	2 373	1 582	406	463

由于通过设置种子点的方法对人脸区域做了划分,降低了搜索空间,各候选点集的数目也较小,一般为数十个,故整个人脸动画自动建立肌肉模型的过程性能是有保证的。

4.4 实时动画效果

通过几何及纹理特征点的识别,可以自动建立起人脸动画控制模型,在此基础上实施人脸表情与口型实时动画。在自动构建的全部人脸动画模型的作用下,调节各个模型的参数和权重,综合驱动面部

区域内顶点的运动,就可实现各种基本表情与口型动画。实际设计的人脸实时动画系统在 Visual C++ 环境下开发,在 Pentium 2.16 GHz, 1 G 内存下取得了 57 帧/s 的运算速度。图 9 所示的是该软件按照本文方法实时合成的一组典型表情与口型的动画效果,包括了中性、微笑、惊讶、愤怒、害怕、迷惑、厌恶等基本表情,以及眨眼、张嘴等面部动作。

由于肌肉动画模型是在特征识别的基础上自动构建的,因此这种方法具有可移植性,便于应用到新的人脸网格上。图 10 所示的是该自动建模算法移植到新的人脸模型上实时合成的一组表情动画效果。

5 结论

基于特征识别的 3 维人脸动画模型自动构造方法不依赖于专业的制作工具及美工操作,各种肌肉模型自动建立在人脸网格上,特别适合故事情境驱动的人脸实时动画等应用场合。人脸特征点通过识别的方法得到,自动建立动画模型的方法具有很好的移植性和通用性,不受 3 维人脸个性特征的影响,具有实用价值。在实际应用工作中,也遇到一些新问题:例如,通过 3 维扫描仪建立的人脸网格会存在较强的噪声,专业美工利用 3D Max、Maya 等工具软件建立起的人脸网格往往遗留很多加工痕迹等。这些状况都影响特征识别的精度,对动画建模带来影响。今后的工作将结合更多纹理特征的提取来消除以上几何特征方面的干扰,研究更健壮的 3 维人脸特征识别算法。



图 9 一组实时合成的基本表情及脸部动作效果图

Fig.9 A group of facial expressions real-time synthesized



图 10 算法移植到新人脸模型产生的一组基本表情效果图

Fig.10 A group of real-time facial expressions after the algorithms act on other human face

参考文献 (References)

- [1] Ekman P, Friesen W V. Measuring facial movement[J]. Journal of Nonverbal Behavior, 1976, 1(1):56-75.
- [2] Blanz V, Vetter T. A morphable model for the synthesis of 3D faces [C]//Proceedings of SIGGRAPH'99. Los Angeles, USA: ACM Press, 1999: 187-194.
- [3] Ma W C, Jones A, Chiang J Y, et al. Facial performance synthesis using deformation-driven polynomial displacement maps [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008,27(5): 121-131.
- [4] Parke F I. Parameterized models for facial animation[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1982, 2(9):61-68.
- [5] Breton G, Bouville C, Pelé D. FaceEngine a 3D facial animation engine for real time applications [C]//Proceedings of the Web3D. New York, USA: ACM Press, 2001: 15-22.
- [6] Jorg H, Kolja K, Irene A, et al. Face to face: from real humans to realistic facial animation[C]//Proceedings of the 3rd Israel-Korea Binational Conference on Geometrical Modeling and Computer Graphics. Seoul, Korea: IEEE Xplore, 2001: 73-82.
- [7] Terzopoulos D, Waters K. Physically-based facial modeling, analysis, and animation [J]. Journal of Visualization and Computer Animation, 1990,1(2): 73-80.
- [8] Lee Y C, Terzopoulos D, Waters K. Realistic modeling for facial animation[C]//Proceedings of the SIGGRAPH'95. New York, USA: ACM Press, 1995: 55-62.
- [9] Choe B, Ko H S. Analysis and synthesis of facial expressions with hand-generated muscle actuation basis [C]//Proceedings of IEEE Computer Animation Conference. Seoul, Korea: IEEE Computer Society Press, 2001: 12-19.
- [10] Waters K. A muscle model for animating three-dimensional facial expression[J]. Computer Graphics, 1987, 21(4): 17-24.
- [11] Deng Z, Chiang P Y, Fox P, et al. Animating blend-shape faces by cross mapping motion capture data [C]//ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games. California, USA: ACM Press, 2006: 43-48.
- [12] Fang H L, Wang G J. Comparison and analysis of discrete curvatures estimation methods for triangular meshes [J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(11): 2500-2507. [方惠兰,王国瑾. 三角网格曲面上离散曲率估算方法的比较与分析[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005,17(11):2500-2507.]
- [13] Desbrun M, Meyer M, Schroder P, et al. Discrete differential-geometry operators for triangulated 2-manifolds[J]. Visualization and Mathematics, 2002,3(7): 34-57.
- [14] Kakumanu P, Makrogiannis S, Bourbakis N. A survey of skin-color modeling and detection methods[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(3): 1106-1122
- [15] Zhang Z Z, Shi Y X. Skin color detecting based on YCbCr and YCrCb color space [J]. Computer Engineering and Applications, 2010,46(34):167-170. [张争珍,石跃祥. YCrCb 与 YCbCr 颜色空间的肤色检测[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(34):167-170.]