

基于面分块的人脸造型技术研究

邹北骥^{1,3}, 彭永进², 伍立华¹, 彭群生³

(1. 湖南大学计算机科学系, 湖南长沙 410082; 2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南长沙 410082;
3. 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 浙江杭州 310027)

摘 要: 人脸面部是一个极其复杂的曲面, 若将其作为一个整体进行人脸造型则使问题复杂化. 本研究在总结前人研究工作的基础上, 提出了一种将人脸面部分为若干块、分别进行处理的人脸造型方法, 同时将人脸表面形变模拟成弹性体的形变, 并为其建立了弹性形变模型, 实现了从一般人脸模型到特定人脸模型的造型, 算法效率高、交互操作少, 结果令人满意.

关键词: 面分块; 人脸模型; 几何造型

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 11-1533-03

Research on Human Face Modeling Based on Face Subdivision

ZOU Bei-ji^{1,3}, PENG Yong-jin², WU Li-hua¹, PENG Qun-sheng³

(1. Dept. of Computer Science, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China;
2. School of Electric Engineering and Information, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China;
3. State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: Human face is a complicated curved surface. It may be more difficult to take a human face as a whole during face modeling. So in this paper we put forward a new method by which the surface of a human face is divided into some parts and every part is individually manipulated. At the same time, we take the human face as an elastomer and set up metamorphosable model for them. By this method we also have created a system in which a specific face model can be generated. And the algorithm we used in this system is characterized by higher efficiency and less interactive operations. Some satisfactory results from the system are given in this paper.

Key words: face modeling; face subdivision; solid modeling

1 引言

计算机生成三维特定人脸(又称人脸造型)是计算机图形学研究领域中的一项重要课题,它在虚拟技术中有广阔的应用前景,如可视电话中待传输的人脸视频图像可利用计算机生成的单帧三维真实人脸图像及其产生的人脸表情动画来代替完成,从而降低网络带宽要求.但由于人脸面部十分复杂,曲面特殊,因此人脸造型技术中的许多问题仍在探索之中.

计算机生成三维特定人脸的一种常用做法是:先用三维造型软件建立一般人脸模型,然后在此基础上根据特定人脸照片进行交互修改后获得特定人脸的三维模型.所以,特定三维人脸造型过程实际上就是对一般人脸模型的修改过程,其关键问题是要建立一个好的模型,设计一个好的算法,使这一修改过程简便、效率高、质量好.

文献[1]介绍了一种较好的方法:先用通用软件建立一般人脸三维模型,接着进行一次粗的整体变换,使一般人脸头型、五官位置与特定人脸头型和五官位置大体一致,然后将整个人脸面部作为一个弹性体表面,覆盖在特定人脸照片上,交

互式移动特征点后使其与特定人脸吻合.该方法直观,易理解,但由于将整个人脸表面作为一个弹性体,因而建立的平衡方程复杂,计算量大,移动一个特征点会涉及多个特征点的变化,交互式操作多,效率不高.文献[2]采用另一种方法:将带有纹理的一般三维人脸模型与二维特定人脸图像进行比较,以修改人脸表面各点座标及纹理参数,从而产生真实感较强的三维特定人脸.该方法因匹配算法复杂而使效率变低.文献[3]提出了不经过模型修改而由二维人脸图像直接获得三维特定人脸的算法,它通过两台参数不同的摄像机摄入同一人脸的两张图像,并在上面定义二维网格,利用小孔成像和极线几何原理,求得二维网格的三维信息,最终生成特定人脸三维模型.这种方法交互操作仍然过多,通用性和实用性受到限制.

本文在文献[1]的基础上提出了一种基于面分块的交互式修改人脸模型算法,即根据人脸的生理特点将其分成八个部分,每一部分为一个小的曲面片,对每一个小曲面片应用弹性形变模型进行交互式修改,使其与特定人脸吻合,经可视化处理后,产生具有真实感的三维特定人脸.

收稿日期:2000-12-22;修回日期:2001-04-08

基金项目:教育部国家重点实验室访问学者基金资助

2 基本原理

2.1 人脸特征

由生理知识可知,人脸由头骨、肌肉和皮肤三个层次的要素组成.头骨的大小和形状决定人脸的基本轮廓,肌肉的丰满程度决定了人脸的外部特征,并可产生动作而使入富有表情,皮肤仅体现人脸表面的色泽而反映入的衰老程度.从正面看,人脸的基本形状近似于一椭圆,双眼在椭圆的对称轴上,眉心、鼻尖和下巴尖点位于另一轴上,人脸的基本形状及五官之间的位置存在着称之为“三庭五眼”的比例关系^[8],如图 1 所示.



图 1 人脸五官相对比关系

2.2 变形模型

人脸表面可视为弹性体,将其分成若干块后,在一定范围内发生形变时,还可看成是一个完全弹性体.因此,其变形是完全弹性形变,进行弹性形变时,满足下列平衡微分方程^[6,7]:

$$\left. \begin{aligned} \partial_x / \partial x + \partial_{xy} / \partial y + \partial_{zx} / \partial z + X &= 0 \\ \partial_y / \partial y + \partial_{zy} / \partial x + \partial_{xy} / \partial z + Y &= 0 \\ \partial_z / \partial z + \partial_{zx} / \partial x + \partial_{zy} / \partial y + Z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中 X, Y, Z 为体力分量, x, y, z 为正应力, xy, zy, zx 为剪应力.

改用位移分量表示形式,设 (u, v, w) 为点 (x, y, z) 沿 X, Y, Z 方向的位移分量,则式(1)可转化为^[6,7]:

$$\left. \begin{aligned} K(G\partial e / \partial x + \nabla^2 u) + X &= 0 \\ K(G\partial e / \partial y + \nabla^2 v) + Y &= 0 \\ K(G\partial e / \partial z + \nabla^2 w) + Z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中 $2K = E / (1 + \mu), G = 1 / (1 - 2\mu), e = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y + \partial w / \partial z, \nabla^2 = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2 + \partial^2 / \partial z^2$, 为拉普拉斯算子.

当人脸各块形变很小时,可视其为均匀弹性形变,所以每一块上各点位移分量 (u, v, w) 是其座标 (x, y, z) 的一阶线性组合^[6],即:

$$\left\{ \begin{aligned} u &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 z \\ v &= b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 z \\ w &= c_0 + c_1 x + c_2 y + c_3 z \end{aligned} \right. \quad (3)$$

当将一般人脸模型转变为特定人脸模型时,需要计算每一块上各点 (x, y, z) 的位移量 (u, v, w) ,从而得到特定人脸模型上的各点座标: $(x, y, z) = (x, y, z) + (u, v, w)$, 记 $\bar{a} = (a_0, a_1, a_2, a_3), \bar{b} = (b_0, b_1, b_2, b_3), \bar{c} = (c_0, c_1, c_2, c_3)$ 依据文献^[7],可将上述向量转化为具有确定物理意义的块体形变参数向量:

$H = (u_0, v_0, w_0, \dots, x, y, z, xy, xz, yz)$, 其中 (u_0, v_0, w_0) 为每一块中心点 (x_0, y_0, z_0) 的刚体位移; (\dots) 为每一块上各点绕其中心点 (x_0, y_0, z_0) 在 xoy, xoz, yoz 平面内的转动弧度; (x, y, z) 为每一块上各点沿 X, Y, Z 方向的法向应变; (xy, xz, yz) 为每一块上各点在 xy, xz, yz 之间的切向应变.此时式(3)就简化为

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & -m & -n & 0 & m/2 & n/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & m & 0 & l & 0 & -n & l/2 & 0 & n/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & n & 0 & l & -m & 0 & l/2 & m/2 \end{pmatrix} \cdot H \quad (4)$$

其中 $l = (x - x_0), m = (y - y_0), n = (z - z_0)$, 可验证:式(3),式(4)满足平衡微分方程式(1)和式(2).

2.3 计算方法

为计算从一般人脸模型到特定人脸模型变形后各点的座标: $(x, y, z) = (x, y, z) + (u, v, w)$, 需先计算位移量 (u, v, w) , 有两种方法:

方法 1 利用式(3). 针对于每一分块用待定系数法, 找到 4 个特征点, 计算它们的位移量, 反求出向量 $\bar{a} = (a_0, a_1, a_2, a_3), \bar{b} = (b_0, b_1, b_2, b_3), \bar{c} = (c_0, c_1, c_2, c_3)$ 后再利用式(3)计算其它点的位移量;

方法 2 利用式(4). 针对于每一分块, 找到 4 个特征点并计算它们的位移量, 再反求 H 中的 12 个参量; H 求出后利用式(4)计算其它点的位移量.

两种方法中,前者较为抽象,后者与具体的物理量对应,有一定的实际意义.

3 算法实现

(1)系统先通过软件 POSER 4.0 产生一般人脸三维模型,经处理后,得到一个共有 6377 个顶点的一般人脸三维模型,如图 2 所示.依据其生理特点将该模型分为八大块,由上到下分别为:额头、两鬓、双眉、双眼、鼻子、嘴巴、脸颊和下巴,每一分块定义了反映该区域脸部特征的特征点(共 43 个),如图 3 所示,这些特征点的位置主要是脸部轮廓线的突变位置.



图 2 一般人脸 图 3 具有特征点的一 图 4 特定人脸的
三维模型 般人脸三维模型 两张照片

(2)系统输入特定人脸的两张照片(正面和侧面),如图 4 所示,将一般人脸三维模型上的特征点对应地显示在这两张照片上,以便后来进行交互式修改而获得与该照片吻合的特定人脸三维模型.

(3)在给定的两张照片上用交互方式测得特定人脸“三庭五眼”的基本数据,求得变换矩阵,对一般人脸的三维模型进行全局变换,使其与特定人的头型基本一致.

(4)对全局变换后的人脸模型实行局部变换,具体做法是:在给定的两张照片上交互式修改特征点,即:在正面照片上修改特征点的 x, y 座标,在侧面照片上修改特征点的 z 座标,使特征点形状分布与特定人脸五官形状基本一致.

(5)对脸部各块所有顶点局部变换后,即可得到一个具有一定特征的人脸模型.为提高效率,对于双眉、双眼和两鬓这种近似对称又各有特征点的区域,可先求某一侧的 12 个位移

不变量,求得新的点后,利用镜像变换即可得到另一侧的点座标。

(6) 光顺处理. 系统采用一种较简单的光顺处理方法, 当相邻网格三角形的法向量相差太大且有一个三角形的某一边长大于某一阈值(0.01)时, 递归地将大三角形的三边中点连接起来, 分成四个小三角形。

(7) 纹理贴图. 系统采用简单的纹理影射法, 针对人脸的正面头像采用正投影, 取特定人脸的三维网格体顶点座标 (x, y, z) 中的二维座标 (x, y) 直接作为纹理映射座标。

4 实验结果

利用本系统, 以特定人脸照片作为输入数据, 实现了特定人脸的造型, 获得了较好的结果. 特别是对输入的照片作一些特殊变形后, 其三维人脸模型也随之变化; 同时我们对获得的特定人脸的三维模型作简单旋转变换后, 可看出它的确是一个良好的三维模型。



图 5 实验结果 1



图 6 实验结果 2

5 结论及未来工作

本项研究的创新点在于将人脸分块, 从而将复杂的问题简单化, 使平衡方程的求解次数大大降低, 与其它算法相比, 有交互操作简单、交互次数少、兼顾局部与整体的优点, 实验结果令人满意. 本项研究为下一步的人脸表情动画等方面的研究提供了重要基础。

参考文献:

- [1] 晏洁. 从一般人脸模型到特定人脸模型的修改 [J]. 计算机工程与科学, 1997, 19(2): 21 - 24.
- [2] Volker Blanz, Thomas Vetter. A morphable model for the synthesis of 3D faces [A]. SIGGRAPH '99 [C]: 187 - 195.
- [3] 梅丽, 鲍虎军, 等. 基于实拍图像的人脸真实感重建 [J]. 计算机学报, 2000, 23(9): 996 - 1002.
- [4] YuenCheng Lee, Demetri Terzopoulos and Keith Waters. Realistic modeling for facial animation [A]. SIGGRAPH '95 [C]: 55 - 62.
- [5] Charles Loop. Smooth spline surface over irregular meshes [A]. SIGGRAPH '94 [C]: 303 - 309.
- [6] 徐艺纶. 弹性力学简明教程(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [7] [美] 石根华著, 裴觉民译. 数值流形方法与非连续变形分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [8] 魏诗国. 素描 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [9] 詹永顺, 宋顺林, 等. 脸部表情动画建模的研究与实现 [J]. 软件学报, 1998, 9(2): 81 - 85.
- [10] 叶豪盛, 陈志森. 利用等级结构模型开发基于脚本的面部表情和讲话系统 [J]. 计算机学报, 1996, 19(增刊): 143 - 152.

作者简介:



邹北骥 男, 1961 年生于江西南昌. 副教授. 1982 年 7 月和 1984 年 12 月分别毕业于浙江大学计算机系(获工学学士学位)和清华大学计算机系(获工学硕士学位). 主要研究领域: 计算机图形学与图像处理, 多媒体技术, 虚拟现实技术. 先后发表论文二十余篇, 出版著作三部, 曾获得过中科院青年奖励研究基金资助项目。



彭永进 男, 1938 年生于湖北长沙. 教授, 博士生导师. 主要研究领域: 离散事件动态系统, 数字图像处理技术与多媒体技术。