

脸部表情动画建模方法的研究与实现^{*}

詹永照 宋顺林 余江峰 张健明

(江苏理工大学计算机科学系 镇江 212013)

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)

摘要 本文提出了一种分层设计的规则逻辑网格的脸部轮廓造型法,同时,以脸部动作编码系统 FACS (facial action coding system) 为依据,以脸部解剖学和生物力学特点为前提,提出了研制各种肌肉运动的调节器,通过合理使用和协调有关肌肉调节器产生相应的脸部表情的动画。

关键词 计算机图形学,脸部造型,肌肉调节器,脸部表情,脸部动画。

中图法分类号 TP391

近年来,计算机人体动画的研究已成为计算机图形学领域的热门课题。人体动画中的躯干建模,人体行走等算法已获得突破性进展。而作为计算机人体动画研究的一部分,脸部表情动画的研究由于其脸部结构复杂,脸部表情集心理学、解剖学和生物力学为一体且最为人们所关注,因此难度最大。近年来,有不少人提出了脸部表情动画的模型,这些模型各有优缺点。如:Parke 于 1982 年提出的参数化脸部动画模型,通过给定不同的参数生成一幅幅脸部动画关键帧画面^[1];Keith Waters 于 1987 年为三维脸部表情动画提出了一种人体脸部的三维拓扑结构,同时提出一种肌肉模型来控制拓扑网格变形^[2],最终产生脸部表情动画,此后这个模型还不断得到了发展。^[3-4]纵观这些模型,有以下几个特点:①脸部表面均采用不规则的三角形面片来构造,一般说来脸部难以交互构造,要创建一个角色还需有模特的支持,采用相应的输入设备,建立角色模型;②若得到的三角形网格较粗而难以更细致地表现角色的某些表情时,就较难以控制其三角形片的细化。针对这些问题,本文提出了一种分层设计的规则逻辑网格的脸部轮廓造型法,同时,以著名心理学家 Paul Ekman 和 Wallace V. Friesen 等人研究的脸部动作编码系统 FACS (facial action coding system) 为依据^[5],以脸部解剖学和生物力学特点为前提,研制各种肌肉运动调节器,通过合理使用和协调有关肌肉调节器产生相应的脸部表情动画。

1 脸部造型与局部细分

1.1 脸部造型

用三角形片构造头部轮廓可以根据脸部组织的粗细不同,选用不同大小不同数目的三角形面片,较为真实地再现脸部轮廓。但它的缺点也是显而易见的,脸部难以交互造型,这在很大程度上限制了创造想象中的不同角色的可能性;此外,若得到的三角形面片太粗,难以细致地表现角色的某些特性,如某局部的皱纹表示,很难控制其三角形的合理细化。在此我们采用了一种分层设计的规则逻辑网格的脸部轮廓造型法。

分层设计的规则逻辑网格的脸部轮廓造型法的具体实现方法是:由于正常人脸部的左半部和右半部的对称性,构造脸部的轮廓仅需构造脸部的右半部或左半部即可,而另一半可通过镜像的方式得到,左半部、右半部是以鼻尖、人中等为中心线而将脸部分成两半的,可设为 $x=0$ 的平面将其分成两半。这样我们可以设 y 轴垂直向上, z 轴指向脸的正前方, x 轴指向脸的左侧,在设计脸的轮廓时可对脸的左半部或右半部进行设计。屏上的界面分成 4 个视图区,分别为正视图区、俯视图区、侧视图区和立体透视图区。以高度方向即 y 轴方向作为分层设计的依据,可从头顶开始逐层向下在俯视图区上逐一设计网格点,网格点的数目固定为 m ,每一网格点的高度亦可在正视图区中加以修正。设计的合理性可从立体视图区上看出,直至该层网格点设计完毕及设计合理,再进行下一层的网格点的设计。对眼窝、鼻孔和口等

* 本文研究得到国家自然科学基金和南京大学计算机软件新技术国家重点实验室资金资助。作者詹永照,1962年生,副教授,在职博士生,主要研究领域为计算机图形学,分布式系统。宋顺林,1947年生,教授,主要研究领域为计算机图形学,软件工程。余江峰,1969年生,助理工程师,主要研究领域为 CAD 和 CG。张健明,1964年生,讲师,主要研究领域为 CAD 和 CG。

本文通讯联系人:宋顺林,镇江 212013,江苏理工大学计算机科学系

本文 1997-08-22 收到原稿,1997-10-22 收到修改稿

有凹陷部位的设计是将网格点设计在凹陷部位的里面. 设计时, 对于轮廓分明的部位可较详细地构造, 较为光滑和平坦的部位可加大网格间距进行粗略的轮廓造型, 其后采用局部细分方法, 得到更加光滑和细致的脸部轮廓. 当左半部脸或右半部脸轮廓的网格点设计好时, 另一半就可由镜像原理得到, 即其中一半的脸部网格点为 (X_i, Y_i, Z_i) ($1 \leq i \leq n$), 另一半的脸部网格点为 (X_j, Y_j, Z_j) , $X_j = -X_i, Y_j = Y_i, Z_j = Z_i$, ($1 \leq j \leq n$). 头顶一点为特殊点, 另行设计. 眼睛和牙齿可设计成构件以供使用. 眼睛由眼白和眼珠组成, 可以用球体来表示, 眼白和眼珠各以白、黑不同颜色加以区别. 通过点取眼睛构件把它定位到眼眶中. 牙齿是由多边形组成的实体, 点取牙齿构件, 最后通过平移、旋转等变换将其定位到口中. 交互设计中的线画立体图如图 1 所示, 眼睛定位后的真实感图如图 2 所示.

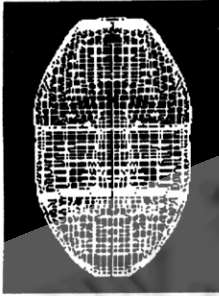


图 1 线画立体图



图 2 眼睛定位后的真实感图

若设计得到的脸部效果图还不美观或另一半有特殊的形状, 我们也提供了在三维图中动态地移动纵横网格线交叉的捕捉点, 交互地增减其 x, y, z 值的方法, 以达到修改形状之目的.

1.2 脸部的局部细分方法

在脸部轮廓设计时, 对于较光滑和较平坦的部位, 我们可以粗略估计轮廓的方式进行设计, 但若在这些部位上表现更细致的细节, 如皱纹等, 这种粗略的网格点是难以胜任的. 在此, 我们可以采取局部网格细分法, 细分脸部网格点.

设某网格点的形式如图 3 所示, 通过一次切角细分分别得到新网格点: $P'_{i-1}, P'_i, P'_{i+1}, P'_{i+2}$, 其计算公式为:

$$P'_{i-1} = \frac{3}{4}P_i + \frac{1}{4}P_{i-1}, \quad P'_i = \frac{3}{4}P_i + \frac{1}{4}P_{i+1}, \quad P'_{i+1} = \frac{3}{4}P_{i+1} + \frac{1}{4}P_i, \quad P'_{i+2} = \frac{3}{4}P_{i+1} + \frac{1}{4}P_{i+2} \quad (1)$$

即切角细分产生的新网格点为: 原相应相邻网格点按一定权重合成而成, 靠近它的原网格点的权重为 $3/4$, 远离它的原网格点的权重为 $1/4$.

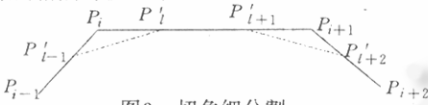


图 3 切角细分

根据该方法, 可以对某些列网格或某些行网格进行局部的切角细分, 也可以先后对某些列网格和某些行网格进行局部的切角细分. 可以证明: 当仅对列网格或行网格细分时, 细分后的网格点将保持原粗略轮廓构造的二次 Bezier 曲线的不变性; 当同时对某些范围的列和行网格进行细分时, 细分后的网格多边形将保持原粗略轮廓特征多边形构造的二次 Bezier 曲面的不变性.

现以列网格的细分来说明该性质. 设第 l 段二次 Bezier 曲线的控制点为 $Q_0 = (P_{i-1} + P_i)/2, Q_1 = P_i, Q_2 = (P_i + P_{i+1})/2$, 第 l 段 Bezier 曲线方程为:

$$C(t) = \sum_{i=0}^2 Q_i \cdot B_{i,2}(t) = (1-t)^2 Q_0 + 2t(1-t)Q_1 + t^2 Q_2, \quad 0 \leq t \leq 1 \quad (2)$$

当 $0 \leq t \leq 1/2$ 时, $C(t)$ 即表示第 l 段二次 Bezier 曲线的前半段曲线, 此时, 令 $t = u/2$, 则:

$$\begin{aligned} C\left(\frac{u}{2}\right) &= \left(1 - \frac{u}{2}\right)^2 Q_0 + u\left(1 - \frac{u}{2}\right)Q_1 + \frac{u^2}{4}Q_2 \\ &= Q_0 - uQ_0 + \frac{u^2}{4}Q_0 + uQ_1 - \frac{u^2}{2}Q_1 + \frac{u^2}{4}Q_2 \\ &= Q_0 - 2uQ_0 + u^2Q_0 + uQ_1 - u^2Q_0 + uQ_1 - u^2Q_1 + \frac{u^2}{4}Q_0 + \frac{u^2}{2}Q_1 + \frac{u^2}{4}Q_2 \\ &= (1-u)^2 Q_0 + u(1-u)(Q_0 + Q_1) + u^2\left(\frac{1}{4}Q_0 + \frac{1}{2}Q_1 + \frac{1}{4}Q_2\right) \\ &= (1-u)^2 Q_0 + 2u(1-u)\frac{1}{2}(Q_0 + Q_1) + u^2\left[\frac{1}{2}(Q_0 + Q_1) + \frac{1}{2}(Q_1 + Q_2)\right], \quad 0 \leq u \leq 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{而这里} \quad \frac{1}{2}(Q_0+Q_1) &= \frac{3}{4}P_i + \frac{1}{4}P_{i-1} = P'_{i-1}, \quad \frac{1}{2}(Q_1+Q_2) = \frac{3}{4}P_i + \frac{1}{4}P_{i+1} = P'_i, \\ \frac{1}{2}\left[\frac{1}{2}(Q_0+Q_1) + \frac{1}{2}(Q_1+Q_2)\right] &= \frac{1}{2}(P'_{i-1}+P'_i), \end{aligned}$$

$$\text{令} \quad C_i(u) = (1-u)^2Q_0 + 2u(1-u)P'_{i-1} + u^2\frac{1}{2}(P'_{i-1}+P'_i), \quad 0 \leq u \leq 1$$

即由控制点 Q_0, P'_{i-1} 和 $\frac{1}{2}(P'_{i-1}+P'_i)$ 所构成的二次 Bézier 曲线与由原控制点 Q_0, Q_1, Q_2 所构成的二次 Bézier 曲线的前半段完全等价。同理, 由控制点 $\frac{1}{2}(P'_{i-1}+P'_i), P'_i$ 及 Q_2 所构成的二次 Bézier 曲线与由原控制点 Q_0, Q_1, Q_2 所构成的二次 Bézier 曲线的后半段完全等价。

2 脸部肌肉调节器

2.1 脸部组织与脸部动作编码系统

人的脸部组织结构主要由颅骨、头肌和皮肤组成。颅骨决定了脸部造型的形状, 除了下颌骨的转动决定口的张闭外, 颅骨是固定不变的; 肌肉控制脸部造型的变形, 皮肤是脸部表情的最终体现。所以人的脸部表情主要是大脑经由头部神经控制脸部肌肉的运动引起皮肤表面的形变而产生的, 脸部肌肉作为产生脸部表情的动力系统, 在表情仿真的研究中占据着极为重要的地位。

在表情仿真研究工作中, 美国心理学家 Paul Ekman 和 Wallace V. Friesen 较早地对脸部肌肉群的运动及其对表情的控制作用做了深入研究。他们根据人体面部的解剖学特点, 将其划分成若干既相互独立又相互联系的运动单元(AU)。这些运动单元被分成上脸部运动单元和下脸部运动单元, 它们包括垂直运动、水平运动、倾斜运动、眼球的运动和混杂运动, 如鼻孔形状、下颌拉下、头和眼的定位等。他们还分析了这些运动单元的运动特征及其所控制的主要区域以及与之相关的表情, 并给出了大量的照片说明。哈尔滨工业大学的高文通过对若干类面部表情图象的分析, 建立了基于部件分解组合的人脸图象模型。^[6] 这些均为从事脸部动画研究工作奠定了基础。我们将以脸部动作编码系统为依据, 以脸部解剖学和生物力学特点为前提, 研制各种肌肉运动的调节器, 通过合理使用和协调有关肌肉调节器产生相应的脸部表情动画。

2.2 脸部肌肉调节器

脸部肌肉调节器是根据肌肉在脸部组织中的位置和肌肉纤维的特征来研制的。在脸部造型后得到的轮廓网格点可认为是脸部表面皮肤点, 轮廓表面即是皮肤表面。肌肉纤维是从骨头表面上开始长出, 并且介于外表面的皮肤层之间。设肌肉 i 从骨头上长出的点为 m_i^b , 它靠近皮肤表面的点为 m_i^s 。由这两点可定义一个肌肉矢量:

$$m_i = m_i^s - m_i^b \quad (3)$$

由于肌肉点 i 的伸缩, 在肌肉点 i 附近的皮肤表面点也将产生一点的变形。皮肤表面点 j 的形变大小为其附近 m 个肌肉点的运动变化对该点影响的加权之和。该皮肤点 j 的原位置为 P_j , 由于肌肉的运动而产生变形时的新位置为 P'_j , 则 P'_j 可按下式计算

$$P'_j = P_j + \sum_{i=1}^m c_i b_i m_i \quad (4)$$

其中 $-1 \leq c_i \leq d_i$, c_i 为伸缩因子, d_i 为肌肉点 i 的最大伸缩系数, 且 $d_i \geq 0$ 。当 $c_i > 0$ 时, 肌肉点 i 产生伸展运动; 当 $-1 \leq c_i < 0$ 时, 肌肉点 i 产生收缩运动; $c_i \geq -1$ 是因为肌肉是在骨以外收缩。 b_i 是肌肉点 i 的弯曲函数, 它表示肌肉条 i 的伸缩对周围皮肤点的影响程度, 若定义 $r_{ij} = m_i^s - p_j$, 则

$$b_{ij} = \begin{cases} \cos\left(\frac{\|r_{ij}\|}{a_i} \frac{\pi}{2}\right), & \text{当 } \|r_{ij}\| \leq a_i \text{ 时} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

其中 a_i 是弯曲函数的影响半径。

实现时可依据脸部动作编码系统所规定的运动单元(AU)来确定肌肉块范围。设肌肉块范围为脸部轮廓网格的第 i_1 行到第 i_2 行、第 j_1 列到第 j_2 列的范围, 定义相应的肌肉纤维所对应骨头点位置及其依附在表皮的下方面点位置, 选择好伸缩系数和弯曲影响半径, 对于肌肉块范围内的表面皮肤点均按(4)式计算出变形后的皮肤点。运动单元 10(AU10)经肌肉调节器作用所产生的效果图如图 4 所示。

3 脸部表情动画生成

每一种脸部表情都可以由一个运动单元的运动或多个运动单元的协调运动来表示,而每个运动单元的运动又可由其相应的脸部肌肉调节器来产生,一般脸部肌肉调节器均由相应的变化系数来控制,这样,每一种脸部表情的动画均可由设置相应的系数而调用相应的肌肉调节器来生成。

设一种表情变化的相应肌肉调节器里各肌肉点的最终伸缩系数为 C_{end} ,而现行伸缩系数为 C_{now} ,且设由现行状态变到最终状态为 t 秒,则动画图象应产生 $t * 24$ 幅,每一幅图象生成时,各肌肉点的伸缩系数变化率为 $C_{delta} = (C_{end} - C_{now}) / (t * 24)$ 。

这样,对每一种表情变化均可按相应肌肉调节器的伸缩系数的变化率动态地计算各幅动画图象,最后连续播映这些图象即可得到该表情变化的动画。

我们的脸部表情动画模型是在 Windows NT 下,以 Visual C++ 作为开发平台,使用 OpenGL 实现的,在实现真实感图形显示和动画图形生成时,采用了 Z-Buffer 深度缓存技术和双缓存技术,为了动态地生成真实感图形,除了动态计算各表面点外,还必须动态计算表面点的法矢量。由于 OpenGL 的着色处理是采用 Gouraud 明暗处理法,故为了脸部表面的光滑显示,对任何一个多边形顶点的法矢量计算均采用先计算与该点相邻接的多边形法矢,后将这些法矢量累加起来,即求与该顶点相邻接的多边形法矢量的均值,但上眼皮的边缘各顶点的法矢为该行上网格相邻两多边形的法矢量均值,以表现眼皮的边缘。微笑表情动画生成例如图 5(a)~(e) 所示。

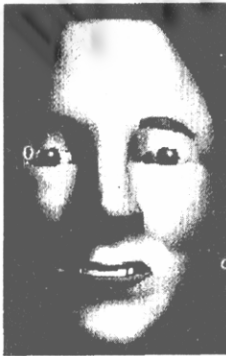


图 4 AU10 的效果



图 5 (a)



图 5 (b)



图 5 (c)



图 5 (d)



图 5 (e)

图 5 微笑表情动画生成例

4 结论

本文提出的一种分层设计的规则逻辑网格的脸部轮廓造型法具有如下特点:(1)脸部轮廓模型可进行交互造型

设计;(2)脸部轮廓网格可以局部光滑细化,便于表现更细致的表情动作。

本文提出的研制脸部肌肉调节器的原理,是考虑到脸部的组织结构的,与 Demetri Terzopoulos 的基于物理的脸部模型相比,该原理不仅考虑了肌肉的收缩,而且还考虑到了肌肉的伸展和隆起,对脸部表情的表示,特别是对特殊的表情的表示具有更大的灵活性,而且,若还从生物力学的角度对肌肉的性质来加以考虑的话,将会产生更加逼真的脸部表情动画。

参考文献

- 1 Frederic I Parke. Parameterized models for facial animation. IEEE Computer Graphics and Applications, 1982,11:61~68
- 2 Keith Waters. A muscle model for animating three-dimensional facial expression. Computer Graphics, 1987,21(4):17~23
- 3 Demetri Terzopoulos, Keith Waters. Physically-based facial modeling, analysis, and animation. The Journal of Visualization and Computer Animation, 1990,1(1):73~80
- 4 Lee Yuencheng, Demetri Terzopoulos, Keith Waters. Realistic modeling for facial animation. In: Proceedings of SIGGRAPH'95. Los Angeles, California, Computer Graphics of the ACM, 1995. 55~62
- 5 Paul Ekman, Wallace V Friesen. Manual for the facial action coding system. Palo Alto, California: Consulting Psychologist Press, 1978
- 6 Gao Wen, Jin Hui. Analysis and recognition of facial expression image. Chinese Journal of Computers, 1997,20(9):782~789

Research and Implementation on the Method of Modeling of Facial Expression Animation

ZHAN Yong-zhao SONG Shun-lin SHE Jiang-feng ZHANG Jian-ming

(Department of Computer Science Jiangsu University of Science and Technology Zhenjiang 212013)

(State Key Laboratory for Novel Software Technology Nanjing University Nanjing 210093)

Abstract In this paper, a method of facial surface modeling in which the facial surface is designed in layers and in normal logical lattices is presented. Furthermore, on the basis of FACS(facial action coding system) and the characteristics of facial anatomy and mechanics of facial tissue, the principle of developing muscle actuators is presented as well as generating facial expression animations by using and coordinating corresponding muscle actuators.

Key words Computer graphics, facial modeling, muscle actuator, facial expression, facial animation.

Class number TP391

© 中国科学院软件研究所 <http://www.jos.org.cn>