

脸部动画中的肌肉和皮肤动态模型

詹永照¹, 宋顺林², 张建明², 余江峰²

(1. 江苏理工大学计算机科学系, 镇江 212013; 2. 南京大学软件新技术国家重点实验室, 南京 210093)

摘要: 本文提出了以脸部组织学、解剖学和生物力学特点为基础的脸部肌肉和皮肤运动的动态模型, 该模型以分层设计的规则逻辑网格构造脸部轮廓, 以脸部动作编码系统的运动单元为依据建立分层仿真的组织模型, 采用肌肉的动力和弹力性能及皮肤层的体保持力和位恢复力性能控制脸部组织运动, 从而产生相应的脸部表情的动画。

关键词: 脸部造型; 脸部动态模型; 脸部表情; 脸部动画

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 02-0124-03

Research on Dynamic Muscle and Skin Model in Facial Animation

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

(1. Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212013, China;

2. State Key Lab. for Novel Software Technology, Nanjing Univ., Nanjing 210093, China)

Abstract: This paper presents a dynamic muscle and skin model based on the characteristics of facial anatomy, histology and biomechanics. In this model, facial outline facet is constructed with regular logical lattices which are designed in layers. Layered synthetic tissue model is created in accordance with the Action Unit (AU) of Facial Action Coding System (FACS). Facial tissue motion is controlled by muscle force, muscle spring force and volume preservation force and position restoration force of the skin layer and thus the facial expression animation is generated.

Key words: facial surface modeling; dynamic facial model; facial expression; facial animation

1 引言

在计算机人体动画研究中, 脸部表情动画的研究, 由于其脸部结构复杂, 脸部表情表示集心理学、解剖学、组织学和生物力学为一体, 难度最大。近年来, 有不少人提出了脸部表情动画的模型^[1~3]。这些模型的优点是: 脸部表情动画不仅考虑了脸部的组织结构, 而且还考虑了脸部组织的力学性能, 能较真实地表示脸部表情动画; 其缺点是: 脸部的轮廓模型是由激光扫描来建立, 难以创造虚构的角色, 此外, 若各层组织的运动均按动力学模型求解, 算法复杂, 难以适应动画图像的实时或快速生成。为此本文提出以分层设计的规则逻辑网格构造脸部轮廓, 以脸部动作编码系统的运动单元为依据建立分层仿真的组织模型, 采用肌肉的动力和弹力性能及皮肤层的体保持力和位恢复力性能控制脸部组织运动, 从而产生相应的脸部表情的动画。

2 脸部轮廓造型

分层设计的规则逻辑网格的脸部轮廓造型法的思想是: 沿 x 轴和 y 轴根据脸部的特征进行左半部或右半部轮廓的网格点的设计, 常以分列或分行逐步设计网格点。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, 之后采用局部细分方法, 得到更加

光滑和细致的脸部轮廓, 可以证明细分后的部脸轮廓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^[4]。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。头顶一点为特殊点, 另行设计。眼睛由眼白和眼珠组成, 可以用球体来表示它, 眼白和眼珠各以白、黑不同颜色加以区别。牙齿也可逐一进行形状设计, 最后通过平移、旋转等变换将其定位到口中。此外, 也提供了在三维图形中动态地移动网格线交叉的捕捉点, 交叉地增减 x, y, z 值, 修改编辑轮廓形状。

3 脸部肌肉和皮肤的动态模型

本文采用在脸部轮廓表面置入分层仿真的组织模型, 并通过肌肉和皮肤的动态变形来表示各种脸部表情动画。

3.1 分层仿真的组织模型

脸部组织可分为六层: 即表皮层、真皮层、皮下脂肪层、筋膜层、肌肉层和骨骼层。脸部的骨骼除了下颌骨有转动功能外, 均是固定不变的; 而脸部肌肉是表情变化的动力原, 富有弹性; 表皮、真皮、皮下脂肪和筋膜有形体易变性, 但弹性不强。故为了既能较真实地反映脸部组织性能, 又能简化计算、快速生成动画图像, 可把脸部组织结构归为三层: 皮肤层、肌肉层和骨骼层, 即表皮、真皮、皮下脂肪和筋膜统归为皮肤层。

脸部组织结构如图 1 所示。由于皮肤层的厚度大致相等, 因此筋膜表面点很容易地从表面轮廓点中沿法向量反方向缩进一个厚度单位来确定, 而骨骼层的点可在设计肌肉形状时加以确定。这样脸部组织的动态性能可近似地从肌肉的弹性力学的性能及皮肤层的体保持力和位恢复力性能方面加以考虑。

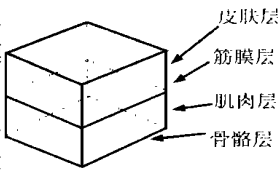


图 1 脸部组织结构

3.2 肌肉和皮肤运动的动态模型

当在脸部相应部位上置入分层仿真的组织模型时, 筋膜表面各点到肌肉从骨骼上长出的点之间就相应地组成了一个弹簧。弹簧的运动服从弹性力学运动模型。在这个模型中应考虑肌肉的弹力、肌肉的作用力、皮肤层的体保持力和位恢复力、阻尼系数和加速度等动态因素。

设第 j 条肌肉的始点即从骨骼表面长出的点为 x_j , 倔强系数为 c_j , 则第 j 条肌肉对筋膜点 x_i 所产生的弹力为:

$$g_i = c_j (l_j - l_j^f) s_j \quad (1)$$

其中 $l_j = \|x_j - x_i\|$ 是弹簧 j 的当前长度, l_j^f 为弹簧 j 变形后的长度, $s_j = (x_j - x_i)/l_j$ 是弹簧 j 的方向向量。

通常一条表情肌和许多筋膜点相系连, 而仅固定在一些骨骼点上, 因此肌肉的收缩就引起了脸部组织的运动。可根据脸部的组织结构和解剖学知识, 指定各部位的表情肌的头端和尾端, 随着这条表情肌纤维由尾端向头端方向作收缩运动, 使筋膜点乃至皮肤点也产生运动, 如图 2 所示。这时表情肌施加在筋膜点 x_i 的作用力可近似地按下式来计算:

$$f_i = k_j \sin(\xi_i \pi / 2) \cos(w_{ji} \pi / 2 w_j) m_j \quad (2)$$

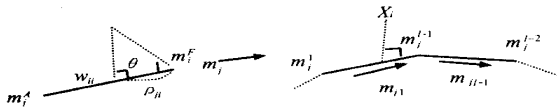


图 2 表情肌纤维

图 3 轮匝肌纤维

$$\text{其中 } \cos \theta = \frac{(m_j^F - x_i) \cdot (m_j^A - m_j^F)}{\|m_j^F - x_i\| \cdot \|m_j^A - m_j^F\|},$$

$$\xi_i = \frac{\cos \theta \cdot \|m_j^F - x_i\|}{\|m_j^A - m_j^F\|} = \frac{\rho_{ji}}{\|m_j^A - m_j^F\|}$$

为筋膜点 x_i 相对于肌肉长度比率, m_j^F 为肌肉条 j 的始端点, m_j^A 为肌肉条 j 的末端点, $w_{ji} = \|m_j^F - x_i\| \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$, w_j 为第 j 条肌肉的半径, k_j 为第 j 条肌肉力的大小系数, m_j 为第 j 条肌肉的单位矢量。

除了表情肌外, 脸部表情表示还需模拟嘴周围和眼眶周围的轮匝肌运动性能。轮匝肌可看成是多段条形肌组成的形式。第 j 条轮匝肌纤维如图 3 所示。设 m_j^{l+1} , m_j^{l+2} 为肌肉条的中心点, m_{jl} 和 m_{jl+1} 为肌肉段方向向量, 则点 x_i 相对于肌肉的长度比率 ξ_{ji} 的计算式为:

$$\xi_{ji} = \frac{(m_j^{l+1} - x_i) \cdot m_{ji+1} + \sum_{k=1}^N \|m_j^{k+1} - m_j^k\|}{\sum_{k=1}^N \|m_j^{k+1} - m_j^k\|} \quad (3)$$

w_{ji} 及第 j 条肌肉施加在筋膜点 x_i 的作用力的计算均同式 (2)。

在肌肉收缩运动中, 肌肉的尾端的皮肤将引起凹陷, 而靠近肌肉的头端的皮肤则会隆起。由于组织的体积和位置变化, 这些组织单元也将产生体保持力和位置恢复力来阻碍这种变化。设筋膜点 x_i 为中心的单元为 e , 则单元 e 的体保持力为:

$$q_i^e = k_v \cdot (v_e - \tilde{v}_e) \cdot n_i^e \quad (4)$$

其中 v_e 和 \tilde{v}_e 分别为单元 e 的当前和变形后的体积, n_i^e 为皮肤点 i 的法向量, k_v 为体保持力的大小系数。

皮肤点 i 的位置恢复力为:

$$h_i = k_p \cdot (p_i - \tilde{p}_i) \quad (5)$$

其中 p_i 和 \tilde{p}_i 分别为皮肤点 i 的当前和变形后的位置, k_p 为位置恢复力的大小系数。

这样仿真组织中的各结点的运动均可按牛顿运动定律来描述, 这是一个和作用力、体保持力、位置恢复力及单元质量、速度、加速度等有关的二次常微分方程。第 i 结点的运动方程为:

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} + \gamma_i \frac{dx_i}{dt} + g_i + q_i + h_i = f_i \quad (6)$$

其中 m_i 为结点 i 对应单元的质量, γ_i 为阻尼系数, g_i 为结点 i 的弹力, q_i 为结点 i 对应单元的体保持力, h_i 为结点 i 的位置恢复力, f_i 为肌肉施加在结点 i 的作用力。

为了适应动画图像的动态生成, 可采用 Euler 迭代法对式 (6) 进行求解。只要取得足够小, 迭代法一定收敛。迭代式如下:

$$\begin{cases} a_i^t = \frac{1}{m_i} (f_i^t - \gamma_i \cdot v_i^t - g_i^t - q_i^t - h_i^t) \\ v_i^{t+\Delta} = v_i^t + \Delta \cdot a_i^t \\ x_i^{t+\Delta} = x_i^t + \Delta \cdot v_i^{t+\Delta} \end{cases} \quad (7)$$

4 脸部表情动画制作

以脸部运动单元为基础^[5], 在脸部轮廓相应区域中嵌入分层仿真的组织模型, 以皮肤和肌肉运动的动态模型为准则, 研制各种肌肉调节器。如某一脸部运动单元在脸部轮廓网格第 i_1 行到第 i_2 行、第 j_1 列到第 j_2 列的范围内, 定义相应肌肉条始端点和末端点, 对该运动单元内的各结点, 采用式 (7) 研制肌肉调节器。最后通过合理使用有关肌肉调节器产生相应的脸部表情动画。

模型中的各参数取法: 结点 i 的质量 $m_i = 0.5$, 肌肉条 j 的倔强系数 $C_j = 10.0$, 肌肉条 j 的肌肉力的大小系数 k_j 为 $[0, 1]$ 间实数, 如取 $k_j = 0.8$, 各单元的体保持力系数 $k_v = 5.0$, 皮肤点的位置恢复力系数 $k_p = 2.5$, 肌肉条弹性的阻尼系数 $\gamma_i = 30.0$, Δ_t 取为 0.02 。

例如: 假设以 6 幅连续图像来播放完成 AU10+ 11+ 12+ 13 运动单元的表情动作。则按式 (7) 迭代计算达到稳定状态解的最大的时间 t_m , 后分别按式 (7) 迭代计算 t 为 $t_m/6$, $t_m/3$, $t_m/2$, $2t_m/3$, $5t_m/6$, t_m 时该运动单元的脸部表面点位置, 从而生成该组合表情动作动画图像, 其中六帧图像如图 4(a) - (f) 所示。通常迭代次数在 100 以内。忧愁表情的最终图像如

图5所示. 惊讶表情的最终图像如图6所示. 发型的制作按文献[6]所提的方法实现.

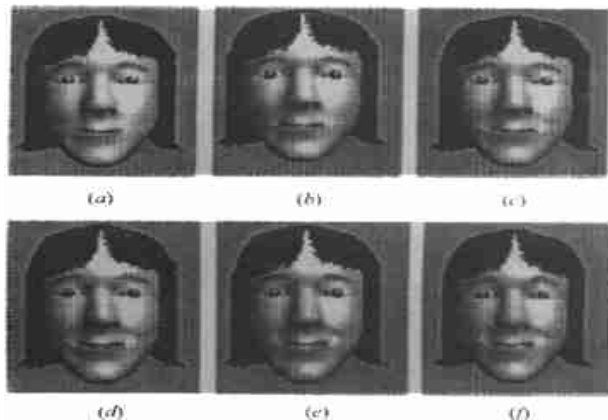


图4 AU10+ 11+ 12+ 13 动画图像

5 结论

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, 该方法可进行脸部表面交互造型设计, 特别是在某一区域脸部轮廓网格较粗时, 该方法便于实现网格局部光滑细化, 便于表现更细致的表情动作. 本文提出的模型是对文献[2, 3]提出的基于物理的脸部模型进行了简化和改进, 主要表现在: 组织结构的简化、调节器范围易确定和模拟函数易计算方面. 该模型既较真实地表现脸部表情动作, 又便于动态实时地显示表情动画图像. 通过在 Windows 95 下采用 Visual C++ 和 OpenGL 开发的研究实验系统的运行结果, 可看出效果较令人满意.



图5 忧愁表情 图6 惊讶表情

参考文献

- [1] Waters K. A muscle model for animating three dimensional facial expression. Computer Graphics, 1987, 21(4): 17~ 23
- [2] Terzopoulos D, Waters K. Physically based facial modeling, analysis, and animation. The Journal of Visualization and Computer Animation, 1990, 1(1): 73~ 80
- [3] Lee Y, Terzopoulos D and Waters K. Realistic modeling for facial animation. In: SIGGRAPH' 95, Los Angeles California: ACM Computer Society, 1995: 55~ 62
- [4] 詹永照, 宋顺林等. 脸部表情动画建模方法的研究与实现. 软件学报, 1998, 9(2): 81~ 85
- [5] Ekman Paul and Friesen w. v. Manual for the Facial Action Coding System. Palo Alto California: Consulting Psychologist Press, 1978
- [6] Zhang Jianming, She Jiangfeng, Song Shunlin et al. Research on hair model. In Proceedings of 5th International Conference on CAD&CG, Beijing: International Academic Publishers, 1997: 350~ 353



詹永照 1962 年生. 副教授. 南京大学计算机科学与技术系博士生. 主要研究方向为: 计算机图形学、分布式计算.



宋顺林 1947 年生. 教授. 1970 年毕业于南京大学数学系数理逻辑专业. 1991 年至 1993 年在日本三重大学从事计算机人体动画研究. 1998 年 10 月到 1999 年 5 月在日本大阪大学从事三维图像检测技术研究. 主要研究方向为: 计算机图形学、软件工程.

哈工大研制成功 VXI 嵌入计算机

哈尔滨工业大学自动化测试与控制研究所研制的“VXI 嵌入计算机”, 于 1999 年 12 月 23 日通过了国防科工委主持的成果鉴定.

VXI 嵌入计算机是 VXI 总线自动化测试系统中重要的控制计算机. 该机选用 PC/104 总线栈接技术, 配备网络接口, 自行设计研制了 VISA 软件库. 本机采用单槽结构, 可配备电子

盘, 也可选硬盘、软盘驱动器选件作双槽的通用开发机.

鉴定委员会认为“VXI 嵌入计算机”技术方案新颖, 研制难度大, 设计先进合理. 软件标准化程度高, 工作稳定可靠, 可广泛用于集成各种总线测控系统. 该项成果处于国内领先地位, 达到当代国际先进水平.

(哈工大自动化测试与控制研究所 韩 萍)