

# 具有真实感的三维人脸动画\*

张青山<sup>+</sup>, 陈国良

(中国科学技术大学 计算机科学技术系,安徽 合肥 230026)

## Realistic 3D Human Facial Animation

ZHANG Qing-Shan<sup>+</sup>, CHEN Guo-Liang

(Department of Computer Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

+Corresponding author: Phn: 86-551-3601013, E-mail: zhangqs@hotmail.com; qszhang@mail.ustc.edu.cn

<http://www.ustc.edu.cn>

Received 2001-09-11; Accepted 2001-11-02

Zhang QS, Chen GL. Realistic 3D human facial animation. *Journal of Software*, 2003,14(3):643~650.

**Abstract:** Construction and animation of realistic human facial models is an important research field in computer graphics. How to simulate the motions of human faces on 3D facial models in real-time to generate realistic facial expressions is still a challenge. In this paper, a technique to simulate the human facial animation realistically in real-time is presented. First of all, the 3D facial model is divided into independent parts named functional regions according to facial motion characteristic. Then the motion of each functional region is simulated by a hybrid method based on weighted Dirichlete free-form deformation (DFFD) and rigid body motion simulation. Intercrossed control points are designed to simulate motion affection between different functional regions. The animation of facial models is driven through control points. In order to drive the animation of facial models more efficiently, two high-level methods are proposed, one is based on FAP (facial animation parameters) stream of MPEG-4 standard, and the other is based on muscle model. With these methods, highly realistic facial animation can be achieved in an efficient way.

**Key words:** facial animation; DFFD (Dirichlete free-form deformation); MPEG-4; FAP (facial animation parameter); muscle model

**摘要:** 具有真实感的三维人脸模型的构造和动画是计算机图形学领域中一个重要的研究课题.如何在三维人脸模型上实时地模拟人脸的运动,产生具有真实感的人脸表情和动作,是其中的一个难点.提出一种实时的三维人脸动画方法,该方法将人脸模型划分成若干个运动相对独立的功能区,然后使用提出的基于加权狄里克利自由变形 DFFD(Dirichlet free-form deformation)和刚体运动模拟的混合技术模拟功能区的运动.同时,通过交叉的运动控制点模拟功能区之间运动的相互影响.在该方法中,人脸模型的运动通过移动控制点来驱动.为了简化人脸模型的驱动,提出了基于 MPEG-4 中脸部动画参数 FAP(facial animation parameters)流和基于肌肉模型两种高层驱动方法.这两种方法不但具有较高的真实感,而且具有良好的计算性能,能实时模拟真实人脸的表情和

\* Supported by the National Research Foundation for the Doctoral Program of Higher Education of China (国家教育部博士点基金资助项目)

第一作者简介:张青山(1975—),男,重庆人,博士生,主要研究领域为计算机图形学,计算机视觉.

动作.

关键词: 人脸动画; DFFD(Dirichlet free-form deformation); MPEG-4; 脸部动画参数; 肌肉模型

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

具有真实感的三维人脸动画有着广泛的应用领域,可以用来制作虚拟现实环境中的各种虚拟人物;可以用来制作和传输网络媒体,如虚拟播音员、可视电话、远程网络会议等.另外,它在电影制作、游戏娱乐等方面都有着很好的应用前景.

由于真实感人脸动画应用十分广泛,所以它引起了研究者们极大的兴趣.自从 Frederic I. Parke 在 1972 年开创这个研究领域以来<sup>[1]</sup>,20 多年中,研究者们在该领域做了大量的研究工作,并取得了很大的进展.近些年来,随着计算能力的飞速提高和网络应用的蓬勃发展,这一领域再次成为研究的热点<sup>[2,3]</sup>.

### (1) 已有的工作

真实感三维人脸动画的最大难点是如何在三维人脸模型上实时地模拟真实人脸的各种表情和动作.由于人脸生理结构十分复杂,所以建立和计算人脸的物理模型十分困难,而且由于人们对人脸的外观十分敏感,要真实地模拟人脸上细微的表情变化也十分困难.

模拟真实人脸运动的方法很多,有插值的方法<sup>[4]</sup>、参数化的方法<sup>[5]</sup>、自由变形的的方法<sup>[6]</sup>、肌肉模型的方法<sup>[7]</sup>、弹性网格的方法<sup>[8]</sup>、有限元的方法<sup>[9]</sup>等.1995 年, Lee 等人提出基于人脸解剖学的多层人脸物理模型<sup>[10]</sup>.该模型将人脸模型分为皮肤层(包括表皮、真皮、皮下组织和筋膜)、肌肉层和骨骼层,计算影响人脸运动中的多种力,然后计算人脸模型在力作用下的运动.该模型的运动真实感较好,但计算量较大,难以满足人脸动画实时性的要求.另外,该多层结构模型的构造也较为困难,除了皮肤层可以由仪器扫描得到之外,其余各层的建立以及物理参数的设定都需要较多的工作. Guenter 等人提出的方法<sup>[11]</sup>是实时跟踪真实人脸上预先设定好的采样点的运动,然后对整个人脸模型进行线性插值模拟人脸的运动. Pighin 等人提出的方法<sup>[12]</sup>是从照片上提取人脸上若干的特征点,然后根据特征点的对应关系在人脸各种表情之间对整个人脸模型做三维变形(3D morphing).上述两种方法都需要设置大量的特征点,并跟踪特征点的运动,所以在模拟人脸运动时需要大量的计算或手工工作.

### (2) 本文的方法

本文提出了一种具有真实感的三维人脸动画方法.该方法在保证人脸运动真实感的前提下,极大地降低了模拟运动的计算量,能很好地满足动画的实时性.并且由于本方法的运动控制点较少,所以设计人脸模型的工作量较小,而且人脸运动的控制较为简单.在此基础上,本文提出的两种高层人脸运动驱动方法进一步简化了人脸运动的控制.

本方法采用三维人脸网格模型,根据人脸的运动特点,将网格模型划分为若干运动相对独立的网格片——功能区,采用混合运动模拟方法来模拟功能区的运动:对于具有刚体运动特征的运动,采用刚体运动来模拟;对于复杂的肌肤运动,采用加权 DFFD(Dirichlet free-form deformation)技术来模拟.在模拟肌肤运动时,使用功能区内部的主动控制点控制各功能区的运动;使用功能区之间交叉的被动控制点模拟相邻功能区之间的连带运动.用加权 DFFD 计算控制点对模型网格点的运动影响系数.驱动主动控制点,根据运动影响系数计算各网格点的运动位移,从而驱动人脸模型的运动.

在上述基础上,本文提出了两种高层的运动控制方法:基于 MPEG-4 标准中 FAP(facial animation parameters)<sup>[13]</sup>流的运动控制方法和基于 Waters 肌肉模型<sup>[7]</sup>的运动控制方法.基于 FAP 流的运动控制方法将 FAP 中各项参数的值映射为各主动控制点的运动位移,驱动人脸模型运动.基于肌肉模型的运动控制方法计算肌肉收缩时肌肉影响范围内主动控制点的运动位移,然后计算出整个人脸模型的运动状况.

本文第 1 节介绍三维人脸网格模型及其功能区的划分.第 2 节介绍混合的运动模拟方法,包括刚体运动模拟和加权 DFFD 变形技术.第 3 节介绍模型中运动控制点的设计,包括主动控制点和交叉的被动控制点的设计.第 4 节介绍两种高层的运动控制方法.第 5 节将给出结论以及将来进一步的工作.

## 1 三维人脸模型

### 1.1 建立三维网格模型

本方法采用的三维人脸网格模型是通过三维激光扫描仪扫描真实人脸得到的.扫描仪围绕人头部旋转 $360^{\circ}$ 进行扫描,得到人脸的三维几何信息和纹理信息,然后构造出具有纹理的三维人脸网格模型<sup>[10]</sup>.三维网格模型由若干三维网格点(vertex)和网格点围成的多边形面片(facet)构成,网格模型的规模(模型中网格点和面片的数量)决定了网格模型的真实感和细腻程度,同时,网格模型的规模也会影响模拟运动的计算量.本文采用如图 1 所示的中等规模的三维人脸网格模型作为示例,该模型具有 1 294 个网格点和 2 403 个面片.

### 1.2 功能区划分

人脸复杂的表情和动作是由眼、耳、鼻、口、眉毛、额头、脸颊、牙齿、下颚等多个器官的运动共同构成,不同器官具有不同的运动特征:某些器官的运动主要体现出刚体运动的特征,而某些器官的运动主要体现出肌肤运动的特征,需要采用不同的技术进行模拟.本方法将网格模型划分成若干个网格片——功能区,分别代表不同的器官,然后在各功能区上模拟相应器官的运动.

功能区划分遵循下述原则:某个功能区对于相邻的其他功能区具有一定的运动独立性或不同的运动特征.在如图 2 所示的功能区划分中,网格模型被划分成前额、鼻子、左右眼球、左右脸颊、上下嘴部、上下颚牙齿以及剩余部分等功能区.

功能区的划分具有灵活性.为了精确模拟人脸某个器官的运动,可以将相应的功能区进一步细分.功能区细分还能够加权 DFFD 算法的计算量,从而有效地减少整个系统的计算量,这一点将在第 3 节给出详细分析.

同时,人脸是一个有机的整体,虽然各器官具有一定的运动独立性,但它们的运动又会相互影响,产生连带运动.为模拟人脸运动的整体性,在功能区之间设置交叉的运动控制点,通过它们来模拟器官间运动的相互影响.关于交叉控制点的设计,第 3 节将会详细叙述.

功能区的划分具有通用性.对于不同形状、不同规模的人脸模型,可以使用大致相同的方法进行划分.

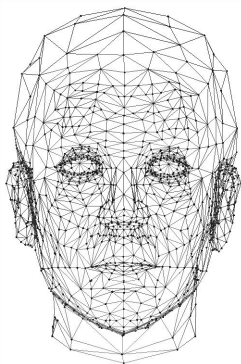


Fig.1 3D face mesh model

图 1 三维人脸网格模型

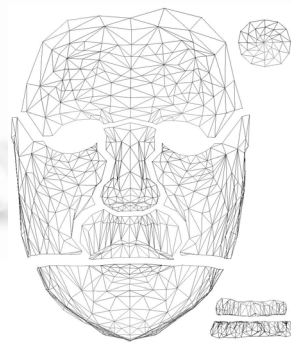


Fig.2 Subdivision of functional regions

图 2 功能区的划分

## 2 混合人脸运动模拟技术

人脸器官的运动大致可以分为两类:一类是较为简单的刚体运动,如头部、眼球转动,牙齿、下颚张合等;另一类是比较复杂的肌肤运动,如前额、眉毛、脸颊、嘴唇的运动等.肌肤运动是人脸表情中最具有表现力的因素,也是人脸运动模拟的重点和难点.这两类运动有时交织在一起.如眼睑的张合,既有围绕眼球旋转的刚体运动,又有眼睑收缩和舒张的肌肤运动;又如下嘴唇既有随下颚旋转的刚体运动,又有嘴唇的肌肤运动.

本方法提出一种混合人脸运动模拟技术:采用加权 DFFD 变形技术模拟复杂的肌肤运动,采用刚体运动模拟技术模拟简单的刚体运动,采用两种技术的混合方法模拟兼有上述两种特征的人脸运动.

## 2.1 加权 DFFD 变形算法

自由变形(free-form deformation,简称 FFD)是一种几何造型技术,通过移动控制格点,使位于控制盒中的三维物体表面发生光滑的变形.与基本的 FFD<sup>[14]</sup>相比,Farin 提出的 DFFD<sup>[15]</sup>具有以下优点:首先,它是一种局部变形技术;其次,它对控制盒的拓扑结构没有限制;最后,它可以获得直接变形和间接变形的效果.本方法将具有上述良好特性的 DFFD 变形算法经过改造,引入到人脸肌肤运动的模拟中.

DFFD 使用 Sibson 局部坐标,物体表面上的点只受其 Sibson 邻居的控制点的控制.设  $P$  是控制点集合,  $P_s = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ ,  $P_s \subseteq P$  是物体表面上点  $v$  的 Sibson 邻居集合,用  $p_1, p_2, \dots, p_N$  的线性组合来表示  $v$ :  $v = \sum_{k=1}^N x_k p_k$ , 其中  $x_k \geq 0$ ,  $\sum_{k=1}^N x_k = 1$ .  $(x_1, x_2, \dots, x_N)$  即是  $v$  相对于其 Sibson 邻居集合  $P_s$  的局部坐标.计算点  $v$  的 Sibson 坐标分为以下两个步骤:(1) 对控制点集进行 Delaunay 图划分,计算点  $v$  的 Sibson 邻居;(2) 对点  $v$  及其 Sibson 邻居点集进行 Voronoi 图划分,计算点  $v$  的 Sibson 坐标.

假设经过 Delaunay 图和 Voronoi 图划分之后,得到点  $v$  的 Sibson 邻居集合为  $P_s = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ .用  $(x_1, x_2, \dots, x_N)$  表示其 Sibson 坐标,则

$$x_i = \text{Vol}(V(p_i) \cap V'(v)) / \text{Vol}(V'(v)), i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

其中函数  $V(p_i)$  返回对点集  $P_s$  进行 Voronoi 图划分后点  $p_i$  所在的 Voronoi 单元,函数  $V'(v)$  返回对点集  $P'_s = P_s \cup \{v\}$  进行 Voronoi 划分后点  $v$  所在的 Voronoi 单元,函数  $\text{Vol}(V)$  返回几何体  $V$  的体积.

Sibson 坐标既反应了空间点的 Sibson 邻居与该点之间的空间位置关系,也反应了 Sibson 邻居之间的空间位置关系,具有良好的空间插值特性.因此把 Sibson 坐标作为 Sibson 邻居对点  $v$  的运动影响系数,得到 DFFD 的特例:  $v = v' + \Delta v = v' + \sum_{k=1}^N x_k \Delta p_k$ . 其中,  $v'$  和  $v$  分别是点  $v$  在变形前后的空间位置,  $\Delta v$  和  $\Delta p_i$  分别是点  $v$  及其 Sibson 邻居  $p_i$  的位移.

为了加强或减弱某些 Sibson 邻居对三维空间点的运动影响,本方法给 Sibson 坐标的分量赋以权值  $w_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , 则新的运动影响系数为

$$c_i = w_i x_i / \sum_{k=1}^N w_k x_k, i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

得到如下的 DFFD 算法——加权 DFFD:

$$v = v' + \Delta v = v' + \sum_{k=1}^N c_k \Delta p_k. \quad (3)$$

## 2.2 肌肤运动模拟

上述变形算法在模拟人脸肌肤运动时存在一个严重的问题:控制点的移动会引起所有邻近网格点的运动,破坏了人脸器官的运动独立性.功能区的划分较好地解决了这一问题,通过在各功能区分别运用加权 DFFD 模拟肌肤运动,保证了人脸各部分的运动独立性.

Delaunay 图和 Voronoi 图划分的计算量随着控制点数量的增加呈指数级增长<sup>[16]</sup>,减少控制点能够极大地减少整个算法的计算量.功能区的划分成倍地减少了控制点的数量,从而有效地减少了系统的计算量.另外,功能区划分还有利于算法并行化.

模拟肌肤运动时,首先设置功能区的控制点及其权值,然后用式(2)计算控制点对功能区网格点的运动控制系数,最后移动控制点,用式(3)计算功能区网格点的位移.

设功能区网格点集合为  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ , 控制点集合为  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ . 为了使每个网格点都处于控制区域——控制点的凸闭包中,算法中增加了 8 个临时控制点  $p_{n+1}, p_{n+2}, \dots, p_{n+8}$ , 使所有网格点位于其构成的长方体内,得到新的控制点集合  $P' = P \cup \{p_{n+1}, p_{n+2}, \dots, p_{n+8}\}$ . 根据式(1)可以计算出  $v_i$  相对于其 Sibson 邻居集合  $P'_s$  的 Sibson 坐标  $(x_1^{v_i}, x_2^{v_i}, \dots, x_{N_i}^{v_i})$ , 控制点的权值  $w_k^{v_i}$  ( $k = 1, 2, \dots, N_i$ ) 与控制点对网格点运动影响的强弱成正比,临时控制点的权值为 0. 根据式(2)可以计算出控制点对网格点的运动影响系数  $(c_1^{v_i}, c_2^{v_i}, \dots, c_{N_i}^{v_i})$ .

根据网格点的 Sibson 邻居控制点集合,统计每个控制点  $p_i$  控制的网格点,得到  $p_i$  的受控网格点集合  $V^{p_i} = \{v_1^{p_i}, v_2^{p_i}, \dots, v_{M_i}^{p_i}\}$ . 将  $v_k^{p_i}$  及相应的运动影响系数表示成二元组  $(v_k^{p_i}, c_k^{p_i})$ ,  $k = 1, 2, \dots, M_i$ , 则  $p_i$  的控制信息集合就表示为  $C^{p_i} = \{(v_1^{p_i}, c_1^{p_i}), (v_2^{p_i}, c_2^{p_i}), \dots, (v_{M_i}^{p_i}, c_{M_i}^{p_i})\}$ . 当  $p_i$  移动  $\Delta p_i$  时,根据  $\Delta v_k^{p_i} = c_k^{p_i} \Delta p_i$ ,  $k = 1, 2, \dots, M_i$  计算  $p_i$  所

控制的网格点的位移。

理论上,当控制点与功能区网格点的相对位置发生变化时,控制点对网格点的运动影响系数会发生变化,需要重新计算。但在实际运用中,由于大多数情况下人脸肌肤运动幅度较小,控制点与网格点的空间相对位置变化幅度较小,所以可以近似地认为控制点对网格点的运动影响系数保持不变,这就是非实时计算方法。由于运动影响系数的计算量是系统计算量的主体部分,所以非实时计算方法大大减少了系统的计算量,使人脸运动模拟具有良好的实时性。实验中,在 Pentium III 750MHz 处理器,128M 内存,GeForce 2 显卡的测试平台上,人脸动画的平均速度达到 40 帧/秒以上。

在计算能力允许的情况下,可采用实时计算方法。预先设置阈值  $T$ ,当控制点  $p_i$  的位移  $\Delta p_i > T$  时,重新计算运动影响系数。在人脸运动较为剧烈的情况下,实时计算能获得更好的真实感。

### 2.3 混合运动模拟

加权 DFFD 能够很好地模拟物体表面的变形,也能够模拟刚体平移运动,但不能模拟刚体旋转运动。可以采用旋转矩阵来模拟刚体旋转运动,如头部、眼球的转动,牙齿、下颚的张合等。

对于既有刚体运动特征,又表现出肌肤运动特性的混合运动,结合上述两种方法进行模拟。如眼睑张合时,眼睑上的控制点做刚体旋转运动,模拟眼睑围绕眼球中心的旋转;其余网格点在控制点的作用下做变形运动,模拟眼睑肌肤运动。

## 3 人脸运动控制点

功能区运动控制点的设计对模拟运动的效果至关重要。恰当地设计控制点的数量和位置,恰当地指定控制点的权值,不但能够增强模拟运动的真实感,而且有利于模拟运动的驱动,减少计算量。

### 3.1 控制点的设计

控制点的设计遵循以下原则:

在人脸运动比较剧烈的区域设置控制点,控制整个区域的运动;在人脸运动区域和非运动区域的边界上设置控制点,阻止运动区域的运动向非运动区域不正确的扩散。在人脸模型的功能区之间设置交叉控制点,模拟人脸器官之间运动的相互影响。在人脸运动比较细微复杂的区域设置较多的控制点,在运动比较粗疏简单的区域附近设置较少的控制点。

本方法只需要较少的控制点就能较好地控制人脸模型的运动,控制点设计的工作量较小。控制点的设计具有通用性,对于不同形状、不同规模的人脸模型,控制点与功能区的相对位置大致保持不变,从而进一步降低了控制点设计的工作量。在相同的控制点设计方案下,系统计算量与人脸模型规模呈线性关系,因此,本方法具有可扩充性。

### 3.2 直接和间接控制点

根据控制点与网格模型的相对位置,控制点分为直接控制点和间接控制点两类(如图 3 所示)。直接控制点与网格点重合,引起的变形为直接变形。直接变形能够直观地控制网格模型的形状,是较为理想的变形方法。间接控制点不与网格点重合,引起的变形为间接变形。间接变形产生的模型表面较为光滑。本方法结合使用了这两种变形方法,大多数控制点为直接控制点,直观地控制模型的形状。在表面光滑度要求较高的区域设置间接控制点,产生光滑的变形。

### 3.3 主动和被动控制点

根据控制点在驱动人脸模型的方式,可将控制点分为主动控制点和被动控制点。主动控制点直接被驱动,它们控制单个功能区的运动,并阻止不正确的运动扩散。被动控制点受主动控制点驱动,模拟功能区之间运动的相互影响——功能区之间的连带运动,即前述的交叉控制点。对于引起连带运动的功能区,被动控制点是受控点,受功能区主动控制点控制。对于发生连带运动的功能区,被动控制点是控制点,控制功能区网格点的运动。

主动控制点保证了功能区运动的相对独立性,使用者可以专注于单个功能区的运动模拟。被动控制点模拟

功能区之间运动的相互影响,使人脸模型在运动中成为一个有机整体.主动和被动控制点结合使用既体现了人脸各部分之间运动的相对独立性,又体现了人脸运动的整体性,是混合人脸运动模拟技术中一个重要的特色.

### 3.4 人脸模拟运动的驱动

人脸模型由各功能区的主动控制点驱动.由于引入了加权 DFFD 变形算法,只需要数量较少的主动控制点就可以很好地控制整个模型的运动,极大地简化了人脸运动的控制.

利用主动控制点之间的空间相关性可以进一步简化运动控制.例如,沿上嘴唇唇线分布的主动控制点之间具有较强的空间相关性,选取其中的部分主动控制点作为描述唇线形状的关键点,其余控制点的位置可以通过关键控制点的 Bézier 插值得到(如图 4 所示).

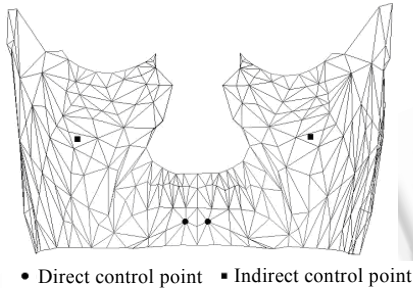


Fig.3 Direct and indirect control point

图 3 直接和间接控制点

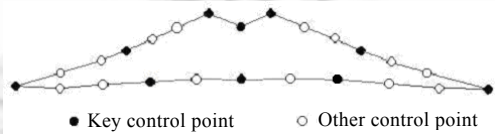


Fig.4 Key control point

图 4 关键控制点

## 4 人脸模拟运动驱动方案

上述的人脸模型驱动方法是直接操作功能区主动控制点的底层方法,在实际使用中不太方便.下文给出了两种高层的驱动方法:基于 FAP 流的驱动方法和基于肌肉模型的驱动方法.

### 4.1 基于 FAP 流的驱动方案

MPEG-4 是一种基于对象的多媒体压缩的国际标准,该标准详细地制定了人脸的定义参数 FDP (facial definition parameters)和动画参数 FAP<sup>[13,17]</sup>.

FAP 参数是描述人脸基本动作的一个全集,共 10 组 68 个,每个 FAP 参数按照相应的人脸动画参数单位 FAPU (facial animation parameter unit)给出人脸基本动作的幅度值.

FAP 流由连续的 FAP 帧构成,每个 FAP 帧包含了全部 68 个 FAP 参数的值.本方案使用 FAP 流驱动人脸模型的运动:首先,根据人脸模型计算 6 个 FAPU;然后连续读入 FAP 帧,根据 FAP 参数所属的组,将其发送给相应功能区;然后根据 FAP 参数的含义和值,计算功能区中各主动控制点的位移;最后,运用混合人脸运动模拟技术模拟人脸的运动.

### 4.2 基于肌肉模型的驱动方案

肌肉模型是一种基于人体解剖学的人脸模拟运动驱动方法,它将复杂的人脸运动简化为一组虚拟肌肉的收缩(如图 5 所示).Waters 肌肉模型是一种运用得较为广泛的模型<sup>[18]</sup>,其虚拟肌肉  $\overrightarrow{m_o m_i}$  由两个点确定:骨骼附着点  $m_o$  和肌肤插入点  $m_i$ .当肌肉收缩时,  $\overrightarrow{m_o m_i}$  对其影响范围内的网格点产生类似引力的作用力.  $\overrightarrow{m_o m_i}$  的影响范围由肌肉张角  $\alpha$  和影响半径  $r_E$  确定,衰减区域由  $r_E$  和衰减半径  $r_F$  确定(如图 6 所示).肌肉收缩  $c$  ( $0 \leq c \leq 1$ )时,点  $p$  在力作用下的位移  $\Delta p = (m_o - p) \cdot \delta \cdot c$ ,其中  $\delta$  是作用力非线性衰减因子,由角度衰减因子  $\delta_A$  和距离衰减因子  $\delta_F$  构成,  $\delta = \delta_A \cdot \delta_F$ .

$$\delta_A = \begin{cases} (\cos \beta - \cos \alpha) / (1 - \cos \alpha), & \beta \leq \alpha \\ 0, & \beta > \alpha \end{cases}, \text{其中 } \beta \text{ 是 } \overrightarrow{m_o m_i} \text{ 与 } \overrightarrow{m_o p} \text{ 的夹角,}$$

$$\delta_F = \begin{cases} \cos((\|\vec{m_0p}\| - r_F) / (r_E - r_F))(\pi/2), & r_F \leq \|\vec{m_0p}\| \leq r_E \\ 1, & \|\vec{m_0p}\| \leq r_F \\ 0, & \|\vec{m_0p}\| \geq r_E \end{cases}$$

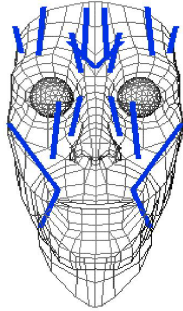


Fig.5 Muscle model

图 5 肌肉模型

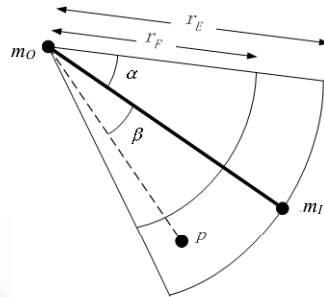


Fig.6 Function region of virtual muscle

图 6 虚拟肌肉作用范围

本方案用虚拟肌肉的收缩来驱动各功能区中主动控制点运动,从而驱动人脸模型的运动.这种方法简化了运动控制,使得运动控制更加直观.

与 Waters 模型相比,本方案具有以下两个显著优点.其一,Waters 模型中虚拟肌肉对其影响范围内所有网格点产生力的作用,计算量较大;本方案中虚拟肌肉只对影响范围内少量主动控制点产生力的作用,大大减少了计算量.其二,Waters 模型中虚拟肌肉影响范围内的网格点都是向肌肉的起始点作同心收缩,与真实情况不相符合;本方案中虚拟肌肉不直接作用在网格点上,而是作用在主动控制点上,然后采用变形算法模拟肌肤运动,增强了肌肤运动的真实感.

### 5 结 论

本文提出了一种混合人脸运动模拟方法.该方法具有较高的真实感,能够逼真地模拟出人脸复杂的表情和动作(如图 7 所示);同时,该方法还具有良好的计算性能,模拟人脸运动的计算量较小,很好地满足了人脸动画实时性的要求.另外,这种方法运动控制较为简单、直观.在底层运动控制方式的基础上,本文给出了两种高层的驱动方案,进一步简化了人脸运动控制.由于功能区和控制点的数量较少,功能区的划分和控制点的设计具有通用性,所以模型设计工作量较小.最后,由于模拟运动的计算量与网格模型的规模呈线性关系,所以该方法具有可扩充性.



Fig.7 Examples of facial expressions

图 7 人脸表情示例



进一步的工作可以集中在以下一些方面:进一步优化控制点,找到控制点集合大小与集合控制能力的较好的平衡点;通过实验获取真实人脸运动数据,分析人脸运动规律,建立通用的人脸表情库;针对该方法设计一种高效的人脸运动参数编码方法,将通用表情数据转化为特定人脸模型的运动参数.

#### References:

- [1] Parke FI. Computer generated animation of faces. In: Proceedings of the ACM National Conference. ACM Press, 1972. 451~457.
- [2] Blanz V, Vetter T. A morphable model for the synthesis of 3D faces. In: Proceedings of the SIGGRAPH'99. ACM Press, 1999. 187~194.
- [3] Valente S, Dugelay JL. Face tracking and realistic animations for telecommunicant clones. IEEE Multimedia, 2000,7(1):34~43.
- [4] Arai K, Kurihara T, Anjyo K. Bilinear interpolation for facial expression and metamorphosis in real-time animation. The Visual Computer, 1996,12(3):105~116.
- [5] Cohen M, Massara D. Modeling coarticulation in synthetic visual speech. Computer Animation, 1993. 139~156.
- [6] Kalra P, Magnenat-Thalmann A. Modeling of vascular expressions in facial animation. Computer Animation, 1994. 50~58.
- [7] Waters K. A muscle model for animation three-dimensional facial expression. In: Proceedings of the SIGGRAPH. 1987. 17~24.
- [8] Terzopoulos D, Waters K. Physically-Based facial modeling, analysis, and animation. Visualization and Computer Animation, 1990,1(4):73~80.
- [9] Basu S, Oliver N, Pentland A. 3D modeling and tracking of human lip motions. In: Proceedings of the International Conference on Computer Vision. 1998. 337~343.
- [10] Lee YC, Terzopoulos D, Waters K. Realistic modeling for facial animation. In: Proceedings of the SIGGRAPH'95. ACM Press, 1995. 55~62.
- [11] Guenter B, Grimm C, Wood D. Making faces. In: Proceedings of the SIGGRAPH'98. ACM Press, 1998. 55~66.
- [12] Pighin F, Hecker J, Lischinski D, Szeliski R, Salesin DH. Synthesizing realistic facial expressions from photograph. In: Proceedings of the SIGGRAPH'98. ACM Press, 1998. 75~84.
- [13] Tekalp AM, Ostermann J. Face and 2-D mesh animation in MPEG-4. Signal Processing: Image Communication, 2000,15:387~421.
- [14] Sederberg TW, Parry SR. Free-Form deformations of solid geometric models. In: Proceedings of the SIGGRAPH'86. ACM Press, 1986. 151~160.
- [15] Farin G. Surface over Dirichlet tessellations. Computer Aided Geometric Design, 1990,7(1~4):281~292.
- [16] Barber CB, Dobkin DP, Huhdanpaa H. The quickhull algorithm for convex hulls. ACM Transactions on Mathematical Software, 1996,22(4):469~483.
- [17] Abrantes G, Pereira F. MPEG-4 facial animation technology: survey, implementation and results. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999,9(2):290~305.
- [18] Breton G, Bouville C, Pelé D. FaceEngine a 3D facial animation engine for real time applications. In: Proceedings of the Web3D. ACM Press, 2001. 15~22.