

## 使用 Dirichlet 自由变形算法实现三维人脸及其变形

杨 璞, 易法令, 刘王飞, 杨远发

(长江大学 计算机科学学院, 湖北 荆州 434023)

**摘 要:**人脸是人类相互交流的重要渠道, 是人类的喜、怒、哀、乐等复杂表情和语言的载体。因此, 具有真实感的三维人脸模型的构造和变形是计算机图形学领域中一个研究热点。如何在三维人脸模型上产生具有真实感的人脸表情和动作, 是其中的一个难点。文中介绍了一种基于 Delaunay 和 Dirichlet/Voronoi 图的 Dirichlet 自由变形算法 (Dirichlet Free-Form Deformations, 简称 DFFD) 解决这一问题。文中详细介绍了 DFFD 技术, 并根据 MPEG-4 的脸部定义参数, 应用 DFFD 对一般人脸进行变形。同时提出了在进行人脸变形时利用脸部定义参数 FDP 与脸部动画参数 FAP 分层次控制的方法, 这种两级控制点控制的设置, 使三维人脸模型产生光滑变形, 由此可将人脸各种表情平滑准确地展现出来。

**关键词:** MPEG-4; Dirichlet 自由变形; Sibson 局部坐标

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2006)11-0131-03

## Using Dirichlet Free-Form Deformations to Realize Three Dimensional Person Face and Its Distortion

YANG Pu, YI Fa-ling, LIU Wang-fei, YANG Yuan-fa

(College of Computer Science, Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

**Abstract:** The human face is the important channel which the humanity exchanges mutually. It is the complex expression and the language carrier of humanity happiness, the anger, the sorrow, and so on. Therefore, construction and animation of realistic human facial models is an important research field in the computer graphics. How to produce facial expression of person with sense of reality and movement on three-dimensional facial models of people, it is a difficult point of one of them. So introduced one kind of algorithm based on Delaunay and Dirichlet/Voronoi diagrams that is Dirichlet free-form deformations algorithm (DFFD) solve this problem. Introduced DFFD technology in the article in detail, according to MPEG-4's face definition parameters, employed DFFD carry on to common people deformations. Put forward while carrying on the faces of people out of shape utilizing face definition parameter FDP and facial animation parameter method that FAP control by different level at the same time. The establishment controlled in this kind of control point of two grades, make three-dimensional facial models of people have the smooth deformations, therefore it can show various expressions of faces of people smoothly and accurately.

**Key words:** MPEG-4; Dirichlet free-form deformations; Sibson local coordinate

## 0 引言

三维模型的形状分析、变形与动画是当前计算机视觉与计算机图形学领域的一个研究热点, 在娱乐产业、人机交互、多媒体以及通讯等领域都具有广泛的应用。而作为人体最重要的特征的人脸, 由于其广泛的应用受到越来越多的重视。

用计算机生成具有真实感的三维人脸主要过程有两个: 人脸建模; 将建模得到的人脸模型进行动画处理。

## 1 人脸建模

## 1.1 Dirichlet 自由变形算法 (DFFD) 的原理

DFFD<sup>[1]</sup>算法中, 待变形物体表面上的点只受其 Sibson 邻居的控制点的控制, 所以在三维的 Sibson 局部坐标系下, 假设  $P$  为控制点集合, 并记  $V(P)$  是  $P$  的 Voronoi 图,  $p$  是点集  $P$  的凸壳中的一点,  $P' = P \cup \{p\}$ ,  $V(P')$  是  $P'$  的 Voronoi 图。

设  $P$  的子集  $P_n = \{p_i \mid i = 0, 1, 2, \dots, n, \text{且 } p_i \in P\}$ ,  $P_n$  称为  $p$  相对于  $P$  的 Sibson 邻居 (自然邻居) 集合, 又记  $P'_n = P_n \cup \{p\}$ 。

由于 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  $p$  的运动影响系数, 用  $(U_0, U_1, \dots, U_n)$  表示 Sibson 坐标。根据  $P_n$  和  $P'_n$ ,  $n+1$  维向量  $U =$

收稿日期: 2006-02-28

基金项目: 湖北省教育厅重点科研基金资助项目 (2002A04007)

作者简介: 杨 璞 (1982-), 女, 湖北荆州人, 硕士研究生, 研究方向为计算机图形学; 易法令, 副教授, 博士, 主要从事并行处理、网络存储、图像处理方面的研究。

$(U_0, U_1, \dots, U_n)$  可唯一地确定物体表面上的点  $p$ , 由  $p_1, p_2, \dots, p_n$  的线形组合可得<sup>[2]</sup>:

$$p = \sum_{i=0}^n U_i p_i, \sum_{i=0}^n U_i = 1, \forall i \in [0, n], U_i > 0 \quad (1)$$

$$U_i = \frac{\text{VOL}(V(P_n)(p_i) \cap V(P'_n)(p))}{\text{VOL}(V(P'_n)(p))} \quad (2)$$

其中,  $\text{VOL}()$  返回给定 Voronoi 元的体积;  $V(P)(p)$  表示在 Voronoi 图  $V(P)$  中点  $p$  所在的 Voronoi 元. 向量  $U$  是构造点  $p$  的 Sibson 坐标.

当移动控制点时, 物体上的点  $p$  也会发生位移, 使物体产生变形. 发生变形后,  $p$  点的新的空间位置由 DFFD 的变形算法计算:

$$p' = p + \Delta p = p + \sum_{i=0}^n U_i \Delta p_i \quad (3)$$

其中,  $p$  和  $p'$  分别是点  $p$  在变形前后的空间位置,  $\Delta p$  和  $\Delta p_i$  分别是点  $p$  及其 Sibson 邻居  $p_i$  的位移,  $\Delta p_i$  可等于 0.

此外, 为了加强或减弱某些 Sibson 邻居对三维空间点的运动影响, 还可以给 Sibson 坐标的分量赋以权值  $w_i, i \in [0, n]$ , 则新的运动影响系数为:

$$w_i = v_i U_i / \sum_{k=0}^n v_k U_k, i \in [0, n] \quad (4)$$

则凸壳中的一点  $p$  的值为:  $p = \sum_{i=0}^n w_i p_i$

由此得到加权的 DFFD 算法为:

$$p' = p + \Delta p = p + \sum_{i=0}^n w_i \Delta p_i \quad (5)$$

为简单起见, 图中以二维的情况为例. 首先, 在图 1(a) 中, 建立关于控制点的 Delaunay 图, 由它决定哪几个控制点影响凸壳上的哪些任意点的变形, 图 1(a) 中, 点  $p$  属于两个 Delaunay 圆: 分别在  $p_1, p_2, p_4$  确定的圆和  $p_2, p_3, p_4$  确定的圆内, 即  $p$  点可以用这 4 个控制点进行表示和控制. 图 1(a) 是计算  $p_1, p_2, p_3, p_4$  的 Voronoi 图; 接下来, 计算点  $p$  的 Sibson 坐标与  $p_1, p_2, p_3, p_4$  四个控制点之间的关系. 图 1(b) 是计算  $p_1, p_2, p_3, p_4$  和  $p$  的 Voronoi 图; 图 1(c) 和图 1(d) 分别是加入  $p$  点后的 Delaunay 三角剖分和 Voronoi 图; 图 1(e) 是根据式(2) 计算相对于  $p_4$  的 Sibson 坐标.

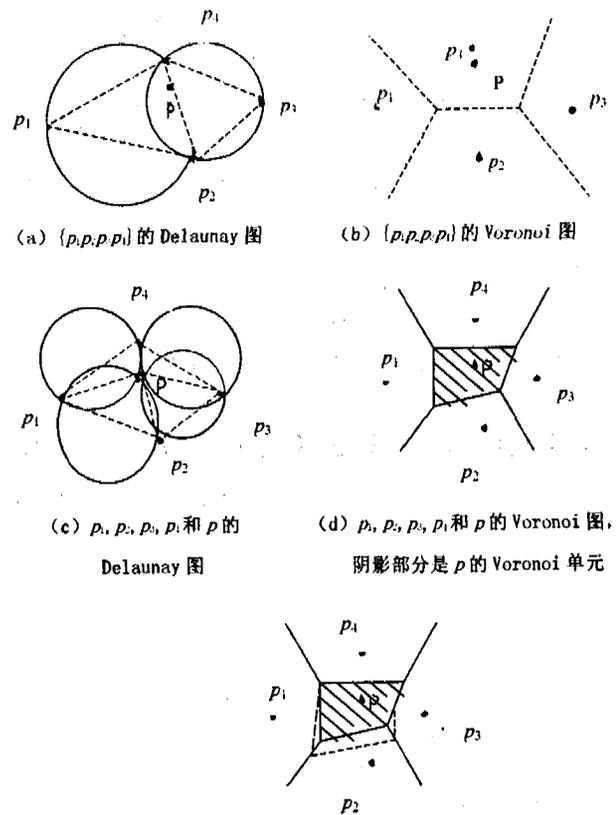
### 1.2 MPEG-4 中的人脸定义

MPEG-4 采用基于对象的编码方式, 允许将场景中的对象进行独立编码, 从而为编码和解码提供了很大的方便. MPEG-4 作为数据传输的标准对人脸的建模和动画作出了定义, 分为 FAPU, FDP 和 FAP 几个部分<sup>[3,4]</sup>.

(1) FAPU (Facial Animation Parameter Unit) 是和模型相关的, 其目的是为了在不同的模型上应用 FDP 和 FAP 而定义的, 它是人脸某段长度的规范化的量化值.

(2) 脸部定义参数 FDP (Facial Definition Parameter) 是 MPEG-4 定义的一组复杂的参数, 用来定义人脸的几何信息. 一个 FDP 域中包含以下 5 个内容: 网格模型中所有特征点的坐标, 所有特征点在纹理上的坐标, 纹理的类

型(包括柱面投影和正投影)、人脸动画定义表, 以及包含一张纹理或者一个有色的人脸模型. 在 FDP 中定义了 84 个人脸特征点, 其位置如图 2 所示, 它提供了人脸特征、网格、纹理、人脸动画定义表等一系列的数据, 用于对人脸进行测量或是在网上传输时的编码与解码.



(e) 阴影部分为  $p_4$  单元在  $p$  单元中所占面积

图 1 Voronoi 图计算控制点坐标

(3) 脸部动画参数 FAP (Facial Animation Parameter) 是对人脸微小动作研究的基础上定义的与人脸肌肉运动有着密切的关系<sup>[5]</sup>, 它表示了一个完整的基本脸部动作集合. 它可以再现大部分人脸的自然表情. MPEG-4 中定义了 68 个 FAP, 其中前面两个被称作高级 FAP, 分别是唇形 FAP 和表情 FAP.

### 1.3 人脸模型的生成方法

基于 MPEG-4 的 DFFD 算法可帮助用户用正、侧面两张正交的照片合成具有高度真实感的个性化三维头像. 首先, 取得一般的人脸模型, 它是由一些散乱点和面(多边形)构成的网格模型. 再在这个一般的人脸模型上按照 MPEG-4 的规定定义 84 个 FDP 点, 在用户载入正、侧两张正交照片和模型文件后, 系统将这些定义好的 FDP 点投影到某个特定人的正面和侧面相片上, 系统和用户交互地调整 FDP 点的位置, 以取得这些点的准确的三维坐标值( $x$  值从正面照片取得,  $z$  值从侧面照片取得,  $y$  值取两张照片的平均值), 然后系统将这些 FDP 点作为 DFFD 控制点, 利用 DFFD 得到其它网格点的拓扑信息, 这样就将一般人脸头型变成了个性化的人脸头型, 然后在特定人脸模型上进行纹理映射, 即可得到特定的虚拟人脸. 此外,

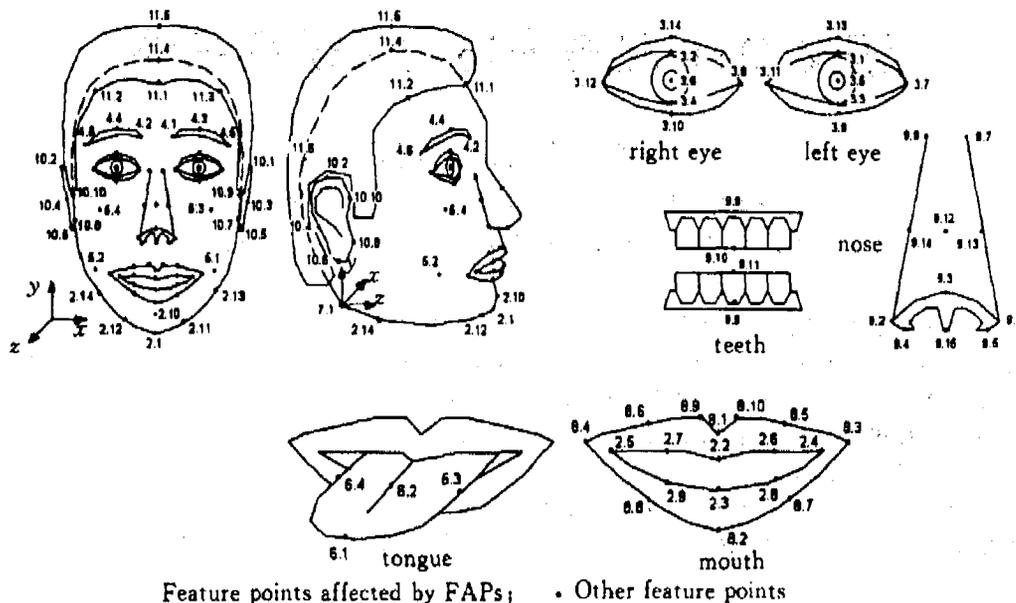


图 2 脸部 FDP 特征点

数据流中的 FAP 信息将用于生成人脸的动画、各种表情、语音等。在这个基础上就利用 DFFD 根据 FAP 信息设计出各种表情,以及控制动画。

## 2 将建模得到的人脸模型进行变形处理

根据 DFFD 算法得到特定人的虚拟人脸后,使用 DFFD 算法还可以设计出各种表情,以及控制动画。在物体发生变形时,为了避免移动某些控制点而产生一些不希望的变形(这是因为 DFFD 算法只考虑了点的空间位置,没有考虑点的连接关系),可采用控制点的分层次处理。首先,设置两级控制点,由 FDP 点作为第一级控制点, FAP 点作为第二级控制点。由第一级控制点根据加权 DFFD 算法来控制第二级控制点的位置移动,再由第二级控制点来控制其余自然邻居点的移动。FAP 点起了一个隔离的作用,将 FDP 点的影响区域限制在某个范围之内。

FDP 作为第一级控制点对头部模型进行“粗略调整”,这样可以带动更多的周围邻居参考点的移动,表现出面部特征的基本轮廓。然后利用 FAP 作为第二级控制点进行“精细调整”,即:只改变局部很少的参考点的几何位置,可以很方便地表现出个体面部特征的一些细微差异。

假设  $P_{FDP} = \{q_i \mid i = 1, 2, \dots, m\}$  为第一级控制点集,  $P_{FAP} = \{p_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$  为第二级控制点集,令点  $p$  为处于控制点集构成的凸域中的一点,则:

$$p_i = \sum_{j=0}^m W_{ij} q_j \quad (6)$$

其中  $\sum_{i=0}^m U_{ij} = 1, U_{ij} \geq 0, \forall i \in [0, n], \forall j \in [0, m]$

$$p = \sum_{i=0}^n W_i p_i \quad (7)$$

其中  $\sum_{i=0}^n U_i = 1, U_i \geq 0, \forall i \in [0, n]$

将式(6)代入式(7)可得:

$$p = \sum_{i=0}^n W_i \sum_{j=0}^m W_{ij} q_j = (q_1, q_2, \dots, q_m) \cdot$$

$$\begin{pmatrix} W_{11} & W_{21} & \dots & W_{n-1,1} & W_{n,1} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{n-1,2} & W_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{1,m-1} & W_{2,m-1} & \dots & W_{n-1,m-1} & W_{n,m-1} \\ W_{1,m} & W_{2,m} & \dots & W_{n-1,m} & W_{n,m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix}$$

其中  $W_i = v_i U_i / \sum_{k=0}^n v_k U_k, i = 0, 1, 2, \dots, n$ 。

根据上面的计算结果可以发现这种两级控制点控制的设置,使点  $p$  获得的坐标更精确,当控制点集发生变化时,可将人脸各种表情平滑准确地展现出来。

## 3 结论

文中详细介绍了 DFFD 技术,并基于 MPEG-4 应用于构造三维头部模型,生成了真实感的人脸模型。并提出了在进行人脸动画时利用 FDP 与 FAP 分层次控制,根据加权 DFFD 实现了对三维模型的光滑变形。

## 参考文献:

- [1] Farin G. Surface over Dirichlet tessellations[J]. Computer Aided Geometric Design, 1990, 7(1-4): 281-292.
- [2] 青山, 陈国良. 具有真实感的三维人脸动画[J]. 软件学报, 2003, 14(3): 643-550.
- [3] ISO/IEC 14496-1. Coding of Audio-Visual Objects: Systems, Amendment[S]. [s.l.]: [s.n.], 1999.
- [4] ISO/IEC 14496-1. Coding of Audio-Visual Objects: Visual, Amendment[S]. [s.l.]: [s.n.], 1999.
- [5] Pavlidis T, Zhou J. Page segmentation and classification[J]. CV GIP: Graphical Models and Image Processing, 1992, 54(6): 484-496.