

一种个性化人脸三维建模方法

段 鸿, 龙 飞, 姜青山

(厦门大学软件学院, 厦门 361005)

摘要: 描述了一种特定的人脸三维建模方法, 该方法用该人的正面及侧面人脸两张照片, 通过选择关键特征点, 在基本人脸模型基础上, 经过变形, 得到特定人脸三维网格模型。再经纹理匹配, 获得特定人的三维人脸模型。该方法已在微型计算机上进行了模拟, 并成功地获得酷似真人的人脸三维模型。

关键词: 人脸建模; 3D 模型; 三角网格; 纹理映射

3D Face Modeling Method for a Certain Person

DUAN Hong, LONG Fei, JIANG Qingshan

(Software School of Xiamen University, Xiamen 361005)

【Abstract】 This paper describes a method to reconstruct 3D face from a front face photo and a side face photo. After selecting key feature points and metamorphosing the basic face mode, the 3D grid face of the special person is created. After texture mapping, the special person's 3D face model is reconstructed. This method is implemented on a PC. The experiment is successful because the 3D face model and the true face are alike.

【Key words】 face modeling; 3D model; triangle mesh; texture mapping

随着网络技术, 虚拟现实技术的发展, 特别是虚拟播音员的出现, 虚拟人物设计的研究得到广泛重视。人脸三维建模方法的研究是该领域研究的重要内容。其研究结果有重要的理论意义。可广泛应用于人机交互、远程教育等方面。

文献[1]中利用两台标定的摄像机和 laser 光重建出了较为精确的人脸几何模型。文献[2]中利用 3D 深度数据扫描仪成功地获得人体的三维全表面信息。但这两种方法因数据量庞大, 不便于人脸的动态设计。

另一种方法是用 NURBS 曲面^[3], 其优点是光滑度较好, 但其控制点是一个矩阵, 在眼睛、嘴巴等处需要较密集的控制点。较难于特定的人脸三维建模。

本文给出了基本人脸模型的建模方法, 并重点描述了变形参数的获取及变形, 纹理匹配三角形图像与特定人的正面、侧面图像的映射关系及纹理匹配等方法。

1 特征点的选择及表示

1.1 特征点的选取

人脸特征点的选取, 须满足 2 个条件: (1)能准确表示出人脸的静态结构; (2)方便表情等各种动态信息的控制。

国际标准化组织在 1999 年 2 月提出的 MPEG4 标准化方案, 在人脸的特征和脸部活动的基础上给出了一个人脸定义参数集(facial definition parameters, FDPs)和一个人脸运动参数集(facial animation parameters, FAPs)。

为了显示人脸 3D 模型的特征点和进行人脸的动态控制, 可以在 FDP 特征点集合(图 1(a))的基础上, 再在适当位置增加若干个, 以保证模型的相似性。

由于一般的人脸具有较好的对称性, 因此在实际的建模过程中为了减少运算量, 可以先求半边脸部的信息, 另半边脸部信息可由对称性求得。表 1 给出了可用于左半边人脸三维建模的 59 个特征点。其中, 面颊部分增加了 6 个点, 以保

证面颊的相似性。右半边脸部的特征点可以通过对称性得到。

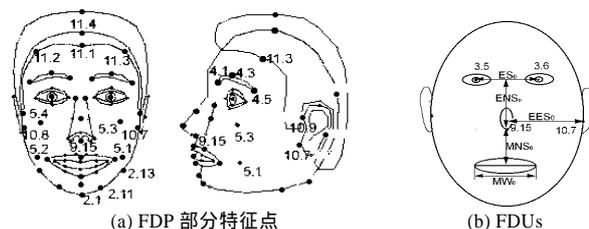


图 1 特征点及单位的表示

表 1 特征点分布

| 区域 | 眼睛 | 眉毛 | 鼻子 | 嘴巴 | 耳朵 | 额头 | 下巴 | 面颊 | 总共 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 数目 | 7 | 4 | 8 | 12 | 8 | 3 | 4 | 12 | 59 |

1.2 特征点的表示

若选择上嘴唇与鼻子的连接点, 即点 9.15(图 1(b))为坐标原点 O , 人脸正前方为 z 轴方向, 垂直向上为 y 轴方向, 坐标满足右手坐标系, x 方向与 xOz 平面垂直且指向人脸左方, 则任一特征点 P 的位置, 可以表示为 $P(x', y', z')$ 。为了产生与图像无关的模型, 须对特征点坐标进行归一化。

在图 1(b)中, 设两眼平视前方时, 两瞳孔(即点 3.5 与点 3.6)之间的水平距离为 ES_0 ; 两瞳孔连线与点 9.15 的在 y 方向上的距离为 ENS_0 ; 点 9.15 与点 10.7(左耳旁点图 1(a))在 z 方向上的距离为 EES_0 , 则特征点 $P(x', y', z')$ 的归一化空间位置可表示为

$$P(x, y, z) = (x' / ES_0, y' / ENS_0, z' / EES_0) \quad (1)$$

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(A0410002)

作者简介: 段 鸿(1976 -), 男, 博士, 主研方向: 计算机视觉, 图像处理, 多媒体技术; 龙 飞, 讲师、博士; 姜青山, 博士、教授

收稿日期: 2006-07-27 **E-mail:** hduan@xmu.edu.cn

因此，所有的特征点集 P 可表示为

$$P = \{P_k = (x_k, y_k, z_k) | k = 1, \dots, N\} \quad (2)$$

其中， k 为特征点的标号； (x_k, y_k, z_k) 为特征点 P_k 的归一化空间位置坐标； N 为选取的特征点的个数。该集合可表示为一个有序集合。

2 基本人脸模型

2.1 3D 坐标的确定

当被拍摄物体的直径远小于相机到物体的距离的时候，物体的成像可以近似看成正则投影。若成像距离足够远，则可用在相同成像条件下，任何一个人的正面及左侧面照片，经过上下对齐(如图 2)，在两张照片中分别找到左半边人脸的每一个特征点，进而可求得每一点的归一化三维坐标。

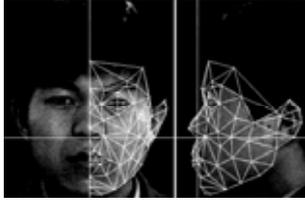


图 2 特征点提取

可先在正面像中寻得嘴唇与鼻子的连接点，即点 9.15，为坐标原点(如图 2)，并根据 1.2 节的方法确定 ES_0 、 ENS_0 和 EES_0 。再在正面像中寻找一个特征点 P_i' ，并由其位置，按前述坐标系选择确定 (x_i', y_i') ，再在左侧面像中，寻找相应的特征点 P_i'' ，确定 (y_{i2}', z_i') ，故有：

$$\begin{cases} x_i' = x_i' \\ y_i' = (y_{i1}' + y_{i2}') / 2 \\ z_i' = z_i' \end{cases} \quad (3)$$

由式(1)得到特征点 P_i 的归一化坐标 (x_i, y_i, z_i) ：

$$\begin{cases} x_i = x_i' / ES_0 \\ y_i = y_i' / ENS_0 \\ z_i = z_i' / EES_0 \end{cases} \quad (4)$$

在人脸的正面像和侧面像中搜索到 N (59)对相应的特征点，并由对称性，可得到一个基本人脸特征点集合及其与人脸图像无关的归一化坐标：

$$P = \{p_i = (x_i, y_i, z_i) | i = 1, \dots, N\} \quad (5)$$

表 2 给出了由图 2 用上述方法求得的部分特征点归一化坐标。

表 2 特征点提取

| 特征点 | x_i, y_i | y_{i2}, z_i | x_i, y_i, z_i | x^*, y^*, z^* |
|------------------|------------|---------------|-----------------|----------------------|
| 瞳孔 3.5(ES_0) | (45,61) | (61,22) | (45,61,22) | (0.500,1.000,0.1667) |
| 外嘴角(MW_0) | (36,-37) | (-36,9) | (36,-36.5,9) | (0.400,-0.598,0.068) |
| 眉梢 4.5(ES_0) | (79,91) | (90,40) | (79,90.5,40) | (0.878,1.484,0.303) |

2.2 基本人脸的三维网格表示

若设图 2 中的两幅照片所在地成像平面为 $z = C$ ，基本人脸特征点在成像平面的像点即为该 3D 点到成像平面的透视投影，这样式(5)表示三维空间中一有序散列点在成像平面上的透视投影可以表示为

$$P^* = \{p_i^* = (x_i^*, y_i^*) | i = 1, \dots, N\} \quad (6)$$

其中， $\begin{cases} x_i^* = \frac{C+f}{z_i+f} x_i \\ y_i^* = \frac{C+f}{z_i+f} y_i \end{cases}$ ； f 为焦距。平面上的散列点可根据

杨·马三角形^[8]划分方法，得到平面三角形表示：

$$\Delta P_i^* P_j^* P_k^* = \{(p_k^*, p_i^*, p_j^*) | k, i, j = 1, \dots, N\} \quad (7)$$

则对应的空间三角形 3 个顶点可以由如下映射求得：

$$f(\Delta P_i^* P_j^* P_k^*): (p_k^*, p_i^*, p_j^*) \rightarrow (p_k, p_i, p_j) \quad (8)$$

由此，根据空间点在平面投影得到的平面三角网格点坐标的顶点，经过变换即可在三维空间中给出该人脸模型的三角形网格图表示(图 3)。该三角网格可作为基本人脸模型的三维网格表示，其左右脸部共由 180 个三角形组成，可用于任一特定的人脸三维建模。

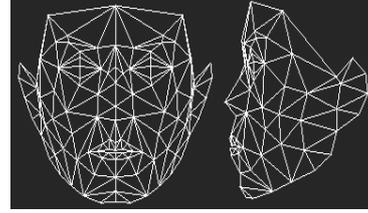


图 3 三角网格

3 特定的人脸三维建模

特定的人脸三维模型可用前述基本人脸三维网格模型作为标准模型，由特定人的正面、侧面两幅照片生成，其主要步骤为：关键特征点选择，变形及纹理匹配。

3.1 关键特征点的选择

为了提高特定的人脸三维建模速度，在模型及特定人脸有一定相似度的条件下，简化运算，可在 1.1 节选定的特征点集合 P 中，选那些对人脸外貌有主要影响的关键点，组成关键点集，用 KP 表示。由于人脸的外轮廓、五官分布比例及形状对人眼识别特定的人脸有重要作用，因此关键点集 KP 应包括点 3.5、3.6(两瞳孔)及点 10.7(左耳旁)、眼角、嘴角及脸外轮廓等处，对人脸外貌形状有主要作用的点。集合 KP 是集合 P 的一个子集，特定的人脸建模，可在关键点集合 KP 的基础上进行。

3.2 变形

(1)在特定人的正面及左侧面人脸照片上，找出关键点 3.5、3.6、9.15 和点 10.7，并利用 1.2 节的方法求得特定人脸所用的标准单位 EES_0 、 ENS_0 、 ES_0 ，对基本人脸模型中的特征点集合 P 中每一点 P_k (见式(2))，计算：

$$P^*(x_k^*, y_k^*, z_k^*) = (x_k * ES_0', y_k * ENS_0', z_k * EES_0') \quad (9)$$

式(9)中， (x_k, y_k, z_k) 是基本人脸模型特征点 P_k 的归一化坐标。这样经过一次变形，得到 P_k 点比例变形后的新坐标。

(2)将比例变形后的基本人脸三维模型中的特征点，按 2.1 节选的坐标系分别正则投影到特定人的正面及左侧面两幅照片上。由于经过上述比例变形，基本人脸模型中的点 3.5、3.6(两瞳孔)、点 9.15(鼻下)及点 10.7(左耳旁)投影点的位置与特定人关键特征点的位置重合。

在特定人的两幅照片上，考察其余关键特征点，对任何 1 个关键特征点 KP_i ，若未与其对应特征点 P_i 的投影重合，则计算其应移动的距离：

$$u_i = (\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i) \quad (10)$$

其中， $\Delta y_i = (\Delta y_{i1} + \Delta y_{i2}) / 2$ ； Δy_{i1} 、 Δy_{i2} 分别为正面照片及左侧面照片上两点 y 方向上的差。 Δx_i 、 Δz_i 可分别在正面及左侧面照片上求得。对于只在正面照片出现的关键特征点，只能求得 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ ，这时取 $\Delta z_i = 0$ ，同样，对于只在左侧面照片出现的关键特征点，取 $\Delta x_i = 0$ 。

为了使特征点 P_i 的正则投影点与特定人脸照片上的相应关键点 KP_i 重合,需将基本人脸三维模型进一步变形,将 P_i 点在三维空间移动 u_i 。对于每个关键特征点,都可求出相应的 u_i 及进行上述移动,从而使三维模型变形。

由于人脸各器官的相互关联作用,任一个非关键特征点 P_j ,由于其附近相关特征点的移动,将引起 P_j 的移动。这一移动可用 RBF 函数近似表示为

$$u_j = \sum_{i=1}^M f(r_{ij})u_i \quad (11)$$

其中, u_j 是点 P_j 的位移; u_i 是关键特征点 KP_i 的位移; $KP_i \in \theta(P_j)$, $\theta(P_j)$ 是点 P_j 附近与 P_j 相关的特征点的集合; M 是该集中点的个数; r_{ij} 是特征点 P_i 和 P_j 之间的欧氏距离。 $f(r)$ 可取:

$$f(r) = \exp(-kr) \quad (12)$$

$k > 0$ 为常数。

经上述变形后,可得到一个特定的人脸三维三角形网格模型,该模型的每一个面片为三角形平面。

关键特征点集合 $KP \subset P$ 。通常关键特征点的数目小于集合 P 中特征点的数目。关键特征点选取越多,模型的相似度越高。为了获得更好的效果,可适当增加关键特征点的数目。

3.3 纹理匹配

纹理匹配是对上节所求得的特定人脸三维三角形网格模型中的每一个三角形平面,寻找一个适当的纹理与其匹配,以达到更好的效果。通常有两种纹理映射模式^[4],一种是柱投影模式,另一种是平面纹理映射模式。柱投影是将一个三维纹理映射到纹理平面上,然后进行纹理匹配;平面纹理映射模式是将正面或者侧面图像映射到平面上进行纹理匹配。

本方法采用平面纹理映射模式(如图 4)。先将特定的正面及左侧面人脸照片,经过“缝合”,映射到同一平面,再从该平面求得适当的匹配纹理三角形。



图 4 纹理映射

在正面人脸照片左脸颊附近,确定一条垂直线, $x = x_0$, 再在左侧人脸照片确定相应的垂线, $z = z_0$ 。这两条直线与头发的下边界交点的 y 坐标应近似相等,与下颚下边界交点的 y 坐标也近似相等。这时就可将正面像的左半部 ($x < x_0$) 与左侧像的右半部 ($|z| > |z_0|$, 通常 $|z_0| < 0$) 缝合到一个平面,生成一个纹理映射图像。

若纹理映射图像表示为 $f_p(u, v)$, 则有:

$$f_p(u, v) = \begin{cases} f_F(x, y) & u < x_0 \\ f_L(x_0 + |z - z_0|, y) & u > x_0 \end{cases} \quad (13)$$

其中, $f_F(x, y)$, $f_L(z, y)$ 分别是特定人的正面及左侧面人脸像。为了获得更好的效果,可在缝合线附近做平均处理。

3.2 节获得的特定的人脸三维三角形网格模型,若其任一个三角形 3 个顶点为 $\{P_k, P_i, P_j\}$, 将这 3 个顶点封闭投影到

人脸正面像、左侧面像的成像平面。由于纹理映射图像 $f_p(u, v)$ 与人脸正面、左侧面图像 $f_F(x, y)$, $f_L(z, y)$ 之间的像点映射关系。则可在 $f_p(u, v)$ 找到与 $\{P_k, P_i, P_j\}$ 对应的 3 个点。

将 $f_p(u, v)$ 上这 3 点确定的三角形子图像,经过变形,粘贴在特定的人脸三维三角形网格模型的相应的三角形区域。对每一个三角形表面区域,完成以上工作,就可获得一个特定人脸三维模型。

4 实验结果

为了验证上述方法,笔者在微机进行了模拟。模拟的硬件环境为 PCIII800, 128MB RAM 的微型计算机,软件环境为 Win2000, 所用软件主要有 VC6.0, OpenGL 等。实验所用的照片由一台普通的数码相机拍摄,图像分辨率 896×600 , 2 倍数码变焦,拍摄距离为大于 1.5m。部分实验结果如图 5 所示。

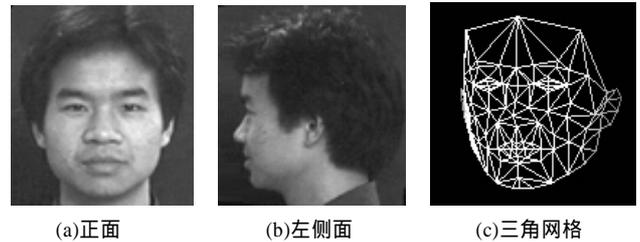


图 5 原始照片和三角网格

图 5(a)、图 5(b)是用于建模的原始正面及左侧面人脸照片,图 5(c)为经过变形后的,由图 5(a)、图 5(b)获得的特定人的脸三维三角形网格模型。该模型有 118 个特征点,180 个三角形。图 4 为相应的纹理映射图。图 6 为用该网格模型,经过纹理匹配求得的特定人脸模型,生成的不同方向的图像,从左到右分别是左侧 90° 、左侧 45° 、正面、右侧 45° 、右侧 90° 图像。

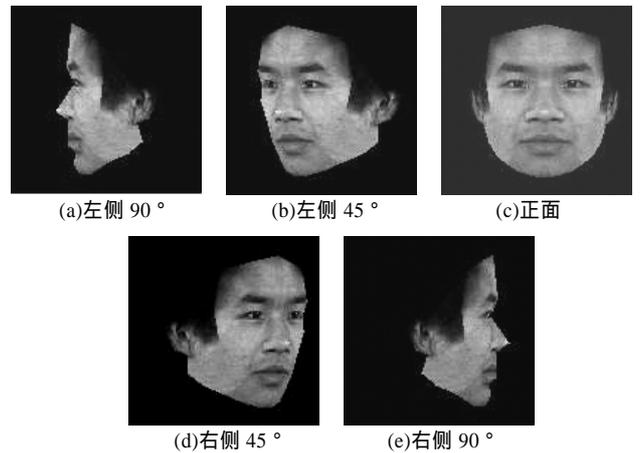


图 6 重建结果

从图 6 各个图像中可以看出,重建出来的模型较好地保留了人脸的面部特征,与原照片有较好的相似性。

5 结论

本文描述了一种从特定人的正面及侧面照片来重建三维人脸模型的方法。该方法数据来源简单,可利用普通的数码相机在同一位置拍摄的正面及侧面照片即可。该方法具有操作简单、计算损耗小等特点。

(下转第 7 页)

$$M_{\{a_1, a_2\}}^{(2)} = FM_{\{a_1\}}^{(1)} \cap FM_{\{a_2\}}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{\{a_1, a_3\}}^{(2)} = FM_{\{a_1\}}^{(1)} \cap FM_{\{a_3\}}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{\{a_2, a_3\}}^{(2)} = FM_{\{a_2\}}^{(1)} \cap FM_{\{a_3\}}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

分别将 $M_{\{a_1, a_2\}}^{(2)}$ 、 $M_{\{a_1, a_3\}}^{(2)}$ 、 $M_{\{a_2, a_3\}}^{(2)}$ 与 $M_{\{d\}}$ 进行对比, 发现 $M_{\{a_1, a_2\}}^{(2)}$ 没有二级分配约简; 由于 $M_{\{a_1, a_3\}}^{(2)} = M_{\{a_2, a_3\}}^{(2)}$ 的最后一行比 $M_{\{d\}}$ 的最后一行小, 因此, 可得到二级分配约简为 $\{a_1, a_3\}, \{a_2, a_3\}$ 。令:

$$FM_{\{a_1, a_3\}}^{(2)} = FM_{\{a_2, a_3\}}^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

算法结束。

因此, 由算法 1 可知, 例 1 的信息系统的所有分配约简是: $\{a_1, a_3\}, \{a_2, a_3\}$ 。这与文献[11]的结果是一致的, 而且从上面分析中可以看出: 即使是对象集与属性集等数据都非常复杂的庞大信息表, 该算法也是容易进行操作的, 只需按照算法 1 编写程序计算。这相对辨识矩阵的方法就方便了许多。

(上接第 3 页)

该方法已经在—台 PIII800 的 PC 机上进行了模拟, 其结果稳定, 程序运行可靠, 模型在各个侧面都较好地保留了人脸面部的特征, 与原照片有较好的相似性。

为了获得更好的相似度, 在人脸三维建模过程中, 当特征点搜索误差较大时, 可用交互方式进行修正或补偿。

该方法不仅可以用来重建人脸的三维模型, 在虚拟环境实现人脸克隆, 也可以用于其他比较复杂物体的三维建模。

参考文献

- 1 Yan Xu, Xu Changsheng, Tian Yingli, et al. 3D Face Image Acquisition and Reconstruction System[C]//Proc. of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, St. Paul, Minnesota, USA. 1998: 18-21.
- 2 Douros I, DekkeL, Buxton B F. An Improved Algorithm for Reconstruction of the Surface of the Human Body from 3D Scanner Data Using Local B-Spline Patches[C]//Proc. of IEEE International

5 结论

本文在基于优势关系下的信息系统中引入了优势矩阵和目标分配矩阵的概念, 并进一步建立了文献[11]中提出的优势关系下信息系统分配约简的矩阵算法, 同时通过实例分析验证了该算法的有效性, 并说明了其优点是对数据复杂的信息表也可相对容易地求出所有的分配约简。该方法提供了在优势关系下信息系统知识分配约简的便捷操作方法, 而且对一般的经典等价关系下的信息系统也是完全适用的。

参考文献

- 1 Pawlak Z. Rough Set: Theoretical Aspects of Reasoning about Data[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- 2 Pawlak Z. Rough Sets[J]. Communication of the ACM, 1995, 38(1): 89-95.
- 3 王国胤. Rough 集理论与知识获取[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- 4 苗夺谦, 王 珏. 基于粗糙集的多变量决策树构造方法[J]. 软件学报, 1997, 8(6): 425-431.
- 5 王 珏, 王 任, 苗夺谦, 等. 基于 Rough Set 理论的“数据浓缩”[J]. 计算机学报, 1998, 21(5): 393-400.
- 6 王 珏, 苗夺谦, 周育健. 关于 Rough Set 理论与应用的综述[J]. 模式识别与人工智能, 1996, 9(4): 337-344.
- 7 张文修, 梁 怡, 吴伟志. 信息系统与知识发现[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- 8 张文修, 米据生, 吴伟志. 不协调目标信息系统的知识约简[J]. 计算机学报, 2003, 26(1): 12-18.
- 9 Kryszkiewicz M. Comparative Studies of Alternative of Knowledge Reduction in Inconsistent Systems[J]. Intelligent Systems, 2001, 16(1): 105-120.
- 10 Grecos, Matarazzo B, Slowinski R. Rough Approximation of Preference Relation by Dominance Relations[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 117(1): 63-83.
- 11 徐伟华, 张文修. 基于优势关系下不协调目标信息系统的知识约简[J]. 计算机科学, 2006, 33(2): 182-184.

Workshop on Modeling People. 1999: 29-36.

- 3 张翔宇, 华 蓓, 陈意云. 人脸建模和动画的基本技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(4): 342-347.
- 4 Escher M, Pandzic I, Thalmann N M. Facial Deformations for MPEG-4[C]//Proc. of Conference on Computer Animation. Philadelphia, USA: IEEE Computer Society Press, 1998: 138-145.
- 5 Ostermann J. Animation of Synthetic Faces in MPEG-4[C]//Proc. of Conference on Computer Animation. Philadelphia, USA: IEEE Computer Society Press, 1998: 49-51.
- 6 Ambrosini L, Costa M, Lavagetto F, et al. 3D Head Model Calibration Based on MPEG-4 Parameters[C]//Proc. of the 6th ISPAACS, Melbourne, Australia. 1998: 626-630.
- 7 尹宝才, 高 文, 晏 洁, 等. 基于模型的头部运动估计和面部图像合成[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(1): 67-71.
- 8 Yang Xueping, Ma Shiming. An Algorithm of Triangulation for a Set of Points in X-Y Plane[C]//Proceedings of CADDM'87. 1987: 95-104.