

# 三维人脸建模与应用

徐成华 王蕴红 谭铁牛

(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室, 北京 100080)

**摘要** 三维建模是计算机视觉和计算机图形学领域中一个基本的问题,人脸借助其特有的普遍性和易用性成为众多先进三维建模算法的实验平台。但是由于人脸的复杂性、易变性,建立逼真的三维人脸模型成为众多研究者挑战的课题。本文分析了三维人脸建模的研究内容和研究难点,总结了1990年以来出现的最新方法和进展,从三维数据的获取、标准三维人脸建模、特定三维人脸建模及应用等三维建模的几个主要环节进行了分类综述,重点介绍了一些主要算法的基本思路和最新进展,并对该领域的研究热点和方向作了较为详细的分析。

**关键词** 三维人脸建模 人脸动画 三维数据获取 人脸识别

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)08-0893-11

## Overview of Research on 3D Face Modeling

XU Cheng-hua, WANG Yun-hong, TAN Tie-niu

(National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** 3D modeling is currently one of the most important issues in computer vision and computer graphics. Human faces are so common and reachable that many new algorithms are first tested on the face data. Also, due to the complexity and flexibility of human faces, many researchers have taken on the challenge of building realistic 3D face models. This paper provides a comprehensive overview of recent developments of 3D face modeling and keeps up with the latest research mainly from 1990 to now. Different from previous reviews, this paper puts emphasis on four major issues involved in a general frame work of 3D face modeling, i. e. 3D capture, generic 3D face modeling, individual face model generation and its application. This paper focuses more on overall methods and general characteristics involved in above four issues. To provide more detailed discussions, each issue is accordingly divided into categories of approach and various main methods proposed in each issue are clearly discussed to examine the state-of-the-art in human face modeling. Based on the discussion and analysis, this paper tries to summarize the intrinsic principles and common methodologies. Finally, some detailed discussions on research topics and future direction on 3D face modeling are provided.

**Keywords** 3D face modeling, face animation, 3D data acquisition, face recognition

## 1 引言

三维建模是计算机视觉和计算机图形学领域中的一个基本问题,而人脸凭借其特有的普遍性和易用性成为众多专家学者进行三维建模的研究对象。从20世纪70年代Parke建立第一个脸部模型<sup>[1-3]</sup>开始,许多研究人员致力于三维人脸建模的研究。特别是20世纪90年代以来,计算机视觉和计算机图

形学技术的迅猛发展为三维人脸建模提供了技术支持,许多学者开始尝试建立逼真的三维人脸模型,并取得了显著的成绩。

三维人脸建模始终是一个极具挑战性的难题,从几何角度来看,人脸具有极度复杂的几何形状和表面材质,必须通过足够的技术手段来描述这些特征。头发的模拟、表情动作的仿真、逼真纹理信息的添加、光照的处理等都是极具挑战性的问题,多年来一直困扰着图像图形学专家。

三维建模虽然如此困难,但是许多研究者还是始终在坚持不懈地进行着这方面的探索,原因有二:一是三维人脸模型有着极为广泛的应用。目前,三维人脸模型已经初步应用到视频电话、视频会议、影视制作、电脑游戏、人脸识别等多个领域,而且随着各方面技术的发展,三维人脸模型将会在各方面得到更深更广的应用。二是现有的一些问题用二维方法解决不了或者说不能很好地解决。在人脸识别方面,表情变化问题始终是一个阻碍提高识别率的关键因素,如果在三维模型上人工合成表情动作,充分利用三维信息进行识别,在理论上会提高识别率和识别的鲁棒性,文献[4]、[5]已经在这方面作了初步研究。

三维人脸建模过程通常由人脸三维数据的获取、标准三维人脸建模和特定人脸建模 3 部分组成。三维数据的获取属于计算机视觉领域,近年来随着计算机视觉技术的发展,研究者们发展了一些适用于三维建模的数据获取方法。标准人脸模型的建立是图形学、人体测量学和统计学等相结合的产物,可以描述人类共有的结构特征和行为特征。特定人脸建模可以根据三维数据直接建立可视化模型,也可以通过对标准模型的形变进行建模,后者是研究的主流。从标准模型到个性模型的建模方法按照数据的来源主要分为两类:基于三维散乱点数据的建模方法和基于图像(单幅、多幅、序列)的建模方法。在建模过程中,研究者们尽量使处理过程自动化,但至今完全自动化的建模方法还少有报道。图 1 显示了三维建模的总体框架。

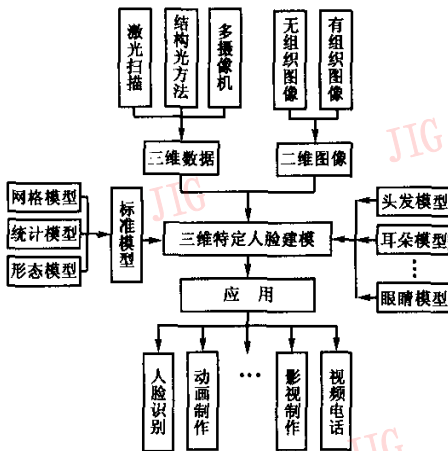


图 1 三维人脸建模

近年来,人脸建模领域中的研究热点主要集中在以下几个方面:

(1) 三维面部数据的获取 数据是分析问题的基础,但是到目前为止,实用、便捷、高精度的三维数据获取装置还未见报道,这方面依然是国内外学者研究的热点。

(2) 结构信息的恢复 获取的三维点数据,只是分散的点,没有结构信息,为了使三维模型具有生机,必须恢复其结构信息。一般做法是通过变形已有的标准模型,以形成具体模型。因此,如何调整标准模型到个性模型也是一个令人关注的课题。

(3) 表情的合成 模拟人脸逼真的表情是三维建模的一个主要目的。通过建立肌肉模型、协调各部分的运动,达到逼真动画效果,是许多研究者追求的目标。

(4) 纹理合成 从多幅图像出发,合成逼真的面部纹理,给人更好的视觉体验,这是三维建模必须面对的问题。

目前国际上许多著名的研究单位(如微软研究院、华盛顿大学、瑞士联邦技术研究院、多伦多大学、IBM 研究院等)都设立有专门进行人脸三维建模研究的课题组。在此领域著名国际会议有 ACM SIGGRAPH, ICCV (International Conference on Computer Vision) 等,著名国际期刊有 PAMI (IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence)、IJCV (International Journal of Computer Vision)、CVIU (Computer Vision and Image Understanding)、IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics、Computer Graphics 等,每年都有相当数量的关于三维人脸建模及其应用的论文出现。

国内在这方面的研究起步较晚,但是发展较为迅速。浙江大学、清华大学、中国科学技术大学、中国科学院计算技术研究所和中国科学院自动化研究所等在三维人脸的数据获取和建模方面取得了一些成果。浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室在曲线/曲面建模<sup>[6,7]</sup>、真实感图形绘制<sup>[8]</sup>、计算机动画<sup>[9]</sup>等方面取得了较大进展;清华大学利用三角样条曲面进行了面部建模和动画研究<sup>[10]</sup>;中国科学院计算技术研究所进行的表情分析与识别研究取得了一些进展<sup>[11,12]</sup>;中国科技大学从正面和侧面两幅图像出发合成了三维人脸模型并制作了简单的面部表情动画<sup>[13,14]</sup>;中国科学院自动化研究所研制出了基于激光扫描的三维数据获取方法<sup>[15]</sup>。但是目前国内还只限于理论方面的研究,实际应用很少涉及。近年来已

有相关组织如计算机学会、中国图象图形学学会等专门负责包括此领域在内的相关学科的学术活动。在此领域国内相关的刊物和学术会议有计算机学报、计算机辅助设计与图形学学报、中国图象图形学报和 Chinagraph 等,有力地促进了学术交流和

发展。  
文献[16]侧重于三维动画模型方面的综述,总结了人脸模型动画在理论和应用上的成果,覆盖了1998年以前该领域的方法,但是没有给出将来研究的热点和发展方向。文献[17]是一篇较优秀的人脸建模方面的综述,但它主要集中于动画建模的研究,而忽略了对个性化三维人脸建模的总结。本文从三维人脸建模的一般处理框架出发,就三维数据获取、标准模型建立以及个性化建模等几个方面做了简要的综述,并且较详细地介绍了三维人脸模型在各方面的应用,在此基础上,对未来的研究方向进行了分析。

## 2 三维数据的获取

获取脸部的三维数据是形成特定人脸模型的基础,它的发展与计算机视觉技术密切相关。随着计算机视觉技术的进一步发展,出现了一些获取三维数据的工具和一些新的方法。这些装置和方法主要可以归纳为两个方向:一是采用较复杂的硬件装置,辅以较简单的算法来获取数据;二是采用普通相机采集图像,采用较复杂的计算机视觉算法来获取数据。

### 2.1 基于物理装置的数据获取

激光扫描(laser scanner)是获取距离数据的一个准确有效的方法,可以同时获得大量的三维数据和纹理信息。目前,国际上已经有多家研究机构研制开发了基于激光扫描的商业化三维数据获取装置,其中最著名的是 Cyberware 公司的三维扫描仪。该产品根据测量范围的不同,一般可分为近距、中距和远距等不同类型,对于头部数据的获取用中距的扫描仪比较适合。世界上许多研究小组已经开始应用此装置进行科学研究。多伦多大学的 Lee 等人利用此种装置获取了完全的三维面部信息<sup>[18]</sup>;康柏剑桥研究所的 Waters 等人利用该系统获取的三维数据进行了三维头部建模<sup>[19]</sup>;德国学者 Blanz 和 Vetter 建立了一个包括三维距离信息和表面纹理信息的头部数据库<sup>[20]</sup>。激光扫描装置获取的数据精度高速度快,但是要求高性能的计算机和高价格的硬件设备。

结构光(structured light)是一种经典的主动视

觉方法,它由一个激光源和一个摄像机构成,激光源发出的光束经过一个旋转的平面镜发射后照射到物体上,在物体上形成一个亮条,从而摄像机采集的图像上有一对应亮条,这样可以有效地解决双目视觉中对应点的匹配问题。20世纪80年代,Posdamer 等人 and Boyer 等人提出这种方法<sup>[21-22]</sup>,取得了较好的结果。Beumier 等人进一步发展了这种思想,建立了一个基于结构光的快速获取系统<sup>[23]</sup>,并利用此系统采集了一个包含120人的三维人脸数据库<sup>[4,24,25]</sup>,此数据库考虑了被测对象的姿态(左右转动和上下转动)、轻微面部表情(如微笑)及附属品(如眼镜)等的影响,是目前公布的最大容量的三维人脸数据库。他们以此数据库为基础发展了基于面匹配和轮廓线匹配的三维人脸识别方法<sup>[4,24,25]</sup>。基于结构光的数据获取系统速度较快,而且摄像机拍摄一次图像就可以得到物体的整个三维信息,因而被测物体的移动不影响测量精度。投影仪的光照克服了环境光的影响,因此受光线强弱的影响不明显。同时,这种系统利用投影仪的打开和关闭可以分别获得三维数据和纹理信息。这个系统的缺点是体积庞大,获取的三维数据精度和范围都有限。

### 2.2 基于多幅图像的数据获取

基于主动视觉的三维数据获取方法其本质上是借助于人工光源减少立体视觉的处理难度。此外研究者们始终在进行着另一个挑战性的课题,即如何在自然环境下利用普通摄像机获取的两幅或多幅图像来获取立体信息。此种思路需要的硬件设备比较普通,但是要求计算机视觉算法有足够高的鲁棒性和实用性。现有的技术尚不成熟,多处于理论研究的探索阶段,还没有达到广泛应用的水平。

根据采集装置的不同可以将这些算法分成两类:基于单摄像机的方法和基于两个或多个摄像机的方法。目前的研究热点是基于单摄像机的方法。在摄像机的参数和运动参数均未知的情况下,利用手提摄像机对同一物体采集不同角度的多幅图像或图像序列,然后利用图像处理技术确定多幅图像之间的匹配关系。由于匹配点的检测方法还不成熟,较普遍的做法是手动确定几个初始点,利用初始点确定摄像机参数,利用极线约束条件确定匹配关系<sup>[26-28]</sup>。20世纪90年代,视觉理论方面另一个突出进展是摄像机的自定标技术,此技术对三维数据重建有重要的促进作用<sup>[29-32]</sup>。

在进行视觉理论研究的同时,一些科研单位努

力使理论工作变为实际的产品,以方便后人开展进一步的研究工作。加拿大 Point Grey 研究机构于 20 世纪 90 年代末推出 DigiClops<sup>TM</sup> 立体视觉系统<sup>[33]</sup>,最近该公司又推出了基于两个摄像机镜头的 Binocular 立体视觉系统<sup>[33]</sup>。用这种方法获取的三维数据一般噪声都比较大,需要进一步处理以达到应用目的。

### 3 标准人脸模型

人脸有基本相同的面部结构(如眼睛、鼻子、嘴巴等)和相似的面部动作(如眼睛的睁闭,嘴巴的开合等),这些相同特征为建立标准人脸模型(generic face model)奠定了生理基础。但是脸像除了公共特征外,还有个性特征,比如眼睛的大小、眉毛的粗细、鼻子的高低等,正因为有了这些个性特征,才能正确地区分不同人脸。标准人脸模型含有丰富的先验知识(如结构信息、肌肉模型等),可以描绘人脸的共有特征。根据前人已有的研究,一个优秀的标准人脸模型应具备以下几个特点:

(1) 参数化 利用具体人脸的信息,调节参数能够描述出个性特征,从而形成个性人脸模型;

(2) 形象化 能准确地描述人脸的基本形状,并能做一些表情动作;

(3) 简单化 模型顶点越多描述人脸的精度就越高,但是给模型的拟合和后期处理增加了困难。但是顶点太少又不能精确地描述人脸的细节,因此,需要在模型的复杂性和精度之间作一个折衷。

20 世纪 90 年代,各研究组纷纷提出了自己的人脸模型,其中普遍应用的是网格模型<sup>[34~36]</sup>和统计模型<sup>[20]</sup>。

#### 3.1 网格模型(Mesh Model)

网格模型是应用比较广泛的人脸三维模型。网格模型的一般数学描述是

$$M = \{V_m, F_m, C_m\}$$

其中,  $V_m$  表示网格节点集合,  $F_m$  表示组成面片的节点编号集合,  $C_m$  表示节点或面片的属性,如颜色、法线等,可以根据实际情况确定其属性。根据面片的形状,可以把模型分为三角面片模型和四边形面片模型两种。比较流行的是基于三角面片的网格模型。

网格节点在一些文献中被称为控制点(control vertex)、特征点(feature vertex)等。它们的分布往往是均匀的,关键部位如眼睛、嘴角等处节点密集

一些,平滑部位如额头、脸颊等处的节点稀疏一些。节点越多,三角形平面越多,表述的头部模型越逼真,但是同时也增加了模型的复杂度,给后期处理增加了困难。在这个方面研究者努力的方向是利用最少的节点和三角面片来建立逼真的头部模型。代表性的模型有 DeCarlo 等人的 B 样条模型<sup>[34]</sup>、Liu 等人的中性脸模型(neutral face model)<sup>[35]</sup>和 Ahlberg 的 CANDIDE-3<sup>[37]</sup>。

宾夕法尼亚大学的 DeCarlo 等人利用人体测量学得到的数据结合变分技术(variational techniques)建立了网格模型<sup>[34]</sup>。他们的做法是根据人体测量学知识<sup>[38,39]</sup>,在人的头部规定一些能表征特征的特征点,然后利用人体测量方法测量这些特征点和它们之间的关系。这些测量值包括两点之间的最短距离、切线距离、两点连线与坐标轴的倾角等 132 个值。对这些测量数据利用变分技术进行处理,然后用 B 样条曲面将三维模型表述出来。这种方法能比较逼真地描述个性特征,但是需要复杂的测量工作和被测对象良好的配合。

微软研究院 Liu 和 Zhang 等人在艺术家的帮助下,建立了一种中性脸的网格模型<sup>[35]</sup>。这种模型由 194 个关键点和 360 个三角平面组成,并且构建了 65 个可调向量用于模型的变形。中性脸用向量  $S_0$  表示为

$$S_0 = (v_{0,1}^T, \dots, v_{0,n}^T)^T$$

调节向量用  $M_j$  来表示

$$M_j = (\delta v_{j,1}^T, \dots, \delta v_{j,n}^T)^T$$

那么一个新脸可以用  $S$  来表示

$$S = S_0 + \sum_{j=1}^m c_j M_j$$

通过改变系数  $c_j$  可以描述不同的脸型。利用这种模型,根据两幅图像和两个图像序列,来模拟特定人脸,取得较好的效果。图 2 是中性脸模型<sup>[35]</sup>。此种模型的可调参数比较少,可以比较方便地进行模型的变形。



图 2 中性脸模型

瑞典 Linkoping 大学的 Image Coding Group 多年来一直从事三维建模工作。从 Rydfalk 1987 年公布最初的人脸模型以来<sup>[36]</sup>,他们的模型版本已经改进了多次。2001 年,Ahlberg 发布了最新版本 CANDIDE-3<sup>[37]</sup>。这个版本为了达到与 MPEG-4 标准<sup>[40,41]</sup>的统一,对原有的模型做了必要改动。此模型包括 113 个关键点和 168 个三角面片,控制参数由静态参数(facial definition parameters, FDP)和动态参数(facial animation parameters, FAP)组成。静态参数用来描述不同人脸之间的差异,动态参数则用于控制脸部的动作。此模型关键点比较少,可以快速地描述人脸静态特征和脸部动作,并且根据动态参数可以进行动作编码,在视频传输方面应用较广。

总之,线框模型的建立比较简单,而且有许多专业的三维造型软件可以辅助实现,如 Maya, 3DS MAX、Lightwave 等。因此,这种模型为新的算法提供了一种方便的实验平台,而且可以结合插值技术或肌肉模型形成动画。目前许多科研单位在应用这种模型。

### 3.2 统计模型

利用统计方法从大量采样样本中学习出人脸共性,建立统计意义上的标准人脸模型,比较著名的有形态模型(morphable 3D face model)<sup>[20]</sup>和三维特征脸(3D eigenfaces)<sup>[42]</sup>。

德国学者 Blanz 和 Vetter 等人于 1999 年研究出了这种模型。模型的基础是一个含有 200 个青年面部数据信息的三维人脸数据库,三维信息由激光扫描仪获得,包括距离信息和颜色信息。每个头部数据称为一个样本脸(exemplar face),每个样本脸大约包括 7 万个点,然后利用复杂的光流算法建立不同人脸三维点的对应关系。假设一个人脸的形状可以用向量  $F$  来表示

$$F = (X_1, Y_1, Z_1, \dots, X_n, Y_n, Z_n)^T$$

$X_i, Y_i, Z_i$  分别表示三维点的坐标。

对应点的纹理信息可以用向量  $T$  表示

$$T = (R_1, G_1, B_1, \dots, R_n, G_n, B_n)^T$$

$R_i, G_i, B_i$  代表点的 RGB 颜色分量。设有  $m$  个样本脸,每个样本脸由一个形状向量和一个纹理向量组成,则形态模型可由这样  $m$  个样本脸构成。对于一个新的个体,它的形状向量和颜色向量可以分别描述为

$$F_{\text{mod}} = \sum_{i=1}^m a_i F_i$$

$$T_{\text{mod}} = \sum_{i=1}^m b_i T_i$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{i=1}^m b_i = 1$$

通过对系数  $a_i$  和  $b_i$  的调节可以描述不同人脸的三维形状特征和纹理特征。

三维特征脸<sup>[42]</sup>类似于特征脸,对预先构建的三维模型用主成分分析方法进行降维,获得表征脸部形状的主要分量,利用它们的线性组合表达个性化人脸模型。

建立统计模型通常比较繁琐,需要大量的学习数据,而且三维数据的预处理过程非常复杂,建成后的模型具有统计意义上合理的调节参数,使脸部表达合理优化。

## 4 三维特定人脸建模

特定人脸建模是利用具体人脸信息建立个性化人脸模型,用以描述不同人的具体特征。可以根据已知具体人脸的三维信息直接建模,也可以通过变形标准人脸模型形成特定人脸模型。前者往往根据具体数据采用插值、曲面优化等技术达到建模目的,通常对数据的要求比较苛刻,如数据点云分布均匀且噪声较小,建成后的模型缺乏结构信息。后者将标准人脸模型作为先验知识,通过刚体变换、形变等手段与具体的人脸数据拟合达到形状匹配,并且利用图像合成面部纹理信息从而建立逼真的三维个性模型。建成后的人脸模型可以应用到动画制作、生物特征识别、运动跟踪等许多方面。根据三维数据的来源不同,这些方法可分成两类:一类是从三维数字化仪得到三维数据出发进行模型的拟合<sup>[43,44]</sup>;另一类方法则从一个图像或多幅图像中提取信息修正标准模型进行个性建模<sup>[45~48]</sup>。

纹理合成是另一个非常重要的问题,恰当准确的头部纹理可以掩盖形状建模上的一些缺陷,给人以真实逼真的感觉。纹理合成的一般做法是利用多幅图像合成纹理信息,这便涉及到图像拼接问题及形状模型与纹理坐标的对应问题,这些都是当前计算机图形学领域和计算机视觉领域热门的研究方向。

### 4.1 基于三维数据的特定人脸建模

近年来三维数字化扫描仪发展迅速,三维数据获取的性能价格比逐渐提高,避开基于图像的三维

重建难题,直接利用三维数据进行建模的科研活动日趋增多。其一般做法是先进行数据的预处理(如除噪、补洞等),然后利用图形学方法进行点云三角化,最后通过网格优化策略得到适当精度的模型。此方法对不要求结构信息的建模比较有效,而不适合要求具有严格结构的建模工作。

多伦多大学的 Lee 等人<sup>[43,44]</sup>利用通过激光扫描仪获得的三维几何数据和纹理信息,调整已有的标准网格头部模型,构建特定人脸模型。他们的做法是在三维点云中检测一些有意义的特征点,利用插值方法变形特征点周围的非特征点。为了能够准确地检测特征点,文献[43]预先对获得的三维数据进行拉普拉斯变换,然后在拉氏空间中检测特征点,得到较好结果,最后为模型合成纹理信息。Jeong 等人利用三维数据的轮廓信息进行模型的初始化,然后利用曲面子分割策略和多精度拟合方法进行模型的构建<sup>[49]</sup>。Xu 等人进一步针对非均匀三维数据,发展了自适应多精度拟合方法<sup>[50]</sup>,能有效克服数据中存在的孔洞及数据密度严重不均等问题。利用三维数据构建的三维模型通常具有较高的精度和逼真度,能清晰地描述个性特征,但是要求较高精度的三维数据,目前仍然不易获取。

#### 4.2 基于图像的特定人脸建模

用激光扫描方法获取三维数据造价偏高,因此

许多学者始终致力于运用简单装置进行三维特定人脸建模的研究,即从普通摄像机获取的多幅图像出发进行建模。由于问题本身的复杂性,现有的处理方法还不能完全自动化。比较有代表性的是 Pighin 等人的分散数据插值方法<sup>[45]</sup>、Liu 等人的 MBA (model-based bundle adjustment) 方法<sup>[35]</sup>、和 Fua 等人的 DFFD (dirichlet free form deformation) 方法<sup>[46,47]</sup>。

华盛顿大学的 Pighin 等人利用多幅图像调整标准模型<sup>[45]</sup>,他们采用的标准头部模型是 Toronto 大学的线框模型<sup>[51]</sup>。其做法是:在多幅图像上人工标定多个特征点,然后对标准模型进行变形。整个变形过程包括 3 个步骤:首先,姿势估计,利用计算机视觉技术确定各个图像的变换参数、相机的定标参数(包括位置、方向、焦距等),同时重构出标定点的三维空间位置;然后,利用分散点数据插值技术(scattered data interpolation),通过已有的特征点位置构建其他顶点的位置;最后,模型细微调整,在模型的顶点之间和图像的对应点之间插入附加点使模型平滑逼真。模型拟合过程<sup>[45]</sup>如图 3 所示。该方法能够非常逼真地描述人脸并可以比较迅速地进行表情合成,缺点是每幅图像上需要人工标记多个点,增大了人工处理量。

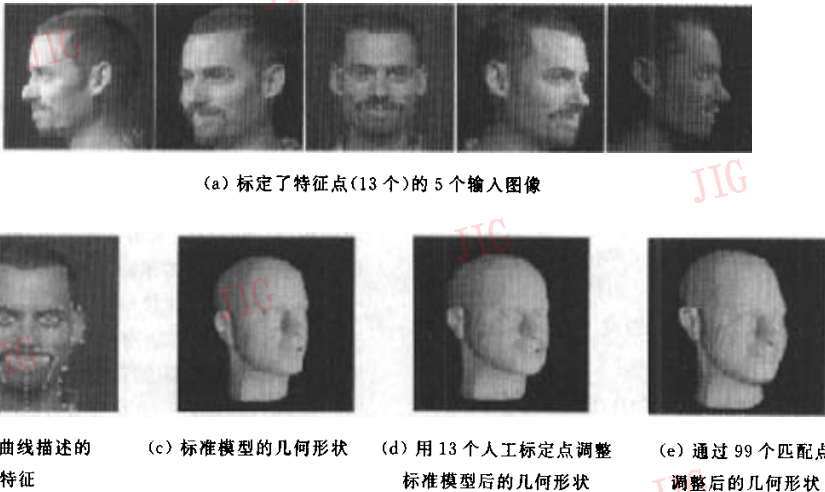


图3 模型拟合过程

Liu 等人采用了类似的方法<sup>[35]</sup>,被测人脸在摄像机前面转动,利用单个普通摄像机获取两个角度的脸部正面图像和两个序列图像,这两个正面图像被称为基图像(base images)。首先在基图像上人工标定 5 个点:两个内眼角、鼻尖和两个嘴角;然后,依

次进行头像分割、边角检测、边角匹配、错误匹配消除、头部姿势定位、获取三维脸部几何数据;几何数据获取后,利用非线性的方法(model-based bundle adjustment),调整标准人脸模型,并且进行细化调整,形成特定人脸几何模型;最后,在序列图像中提

取几何纹理信息,映射在几何模型上,形成一个逼真的人脸个性模型。他们利用简单的工具和较少的人工介入实现了个性模型的建立,但是在皮肤比较光滑的区域,边角检测很难成功地实现,这种方法会因此而失效。

瑞士联邦技术研究所(EPFL)的 Fua 等人采用从粗到细逐步逼近的策略形成个性模型<sup>[46,47]</sup>(图 4)。他们采用的标准模型是 University of Geneva 和 EPFL 的动画模型<sup>[62]</sup>,如图 4(b)所示。该模型能够做丰富的语言和表情动作,但是标准模型的顶点和组成头部平面的三角面片较多,而从图像获取的数据噪声较大,直接用标准模型进行拟合很难达到收敛。于是先采用稀疏模型进行拟合,然后采用较密集模型进行拟合,采用的模型过程如图 4(a)所示。对于头发区域和耳朵区域的拟合过程采用类似的方法。文献[26]进一步沿用这种思想利用 DFFD 方法,通过控制模型变形原始模型,实现标准模型到三维数据的拟合,取得了较好的结果。但是此方法需要复杂的初始化,并且计算时间比较长。

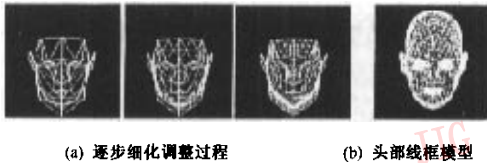


图 4 Fua 的拟合过程

从正面和侧面图像提取信息进行标准模型的修正,是得到特定人脸的另一种方法。Akimoto 等人利用此方法得到了特定人脸模型<sup>[48]</sup>,他们的基本做法是,从正面图像中获取  $x, y$  的坐标,从侧面图像中获取  $y, z$  的坐标,然后进行组合得到三维坐标,对标准模型进行调整。

基于图像序列的三维建模是近年来出现的一个研究热点。Neumann 等人利用多角度图像序列获取的序列轮廓信息,进而得到物体的空间数据,然后利用从粗到细的多精度拟合方式建立几何模型<sup>[53]</sup>。Chowdhury 等人从单序列图像序列出发,采用 SfM (structure from motion) 方法获取三维信息,利用 MCMC 优化策略变形标准模型形成个性模型<sup>[54]</sup>。基于序列图像的建模方法获取的三维模型通常具有较低的精度,但该研究方向具有很强的挑战性,吸引着越来越多的科研人员的兴趣。

总之,从图像或图像序列中获取的三维信息,通

常含有较大的噪声,利用标准模型作为建模的先验知识能有效克服三维数据的不足。需要指出的是,基于图像的三维人脸建模是近年来研究的一个热点,并且尚有许多问题亟待解决。

个性人脸模型的建立除了从标准人脸模型出发以外,一些学者还进行了从其他模型到特定人脸建模的研究,近年来出现了由球体、柱体等变形到人脸的报道。文献[55]、[56]给出了一种从球体模型变形为人脸模型的方法。文献[57]利用膨胀气球模型(inflating balloon model)进行模型的建立。文献[58]利用封闭的柱状模型进行人脸模型的拟合。这类建模方法很难恢复面部的结构信息。

#### 4.3 纹理合成

纹理合成是真实感图形绘制的一个重要内容,比较成熟的技术是 Bier 和 Sloan 于 1986 年提出的两步映射方法<sup>[59]</sup>,其核心思想是建立一个包围实际物体的简单虚拟三维曲面,如球面、柱面等,将物体的多角度图像按一定规则映射到该虚拟物体上,然后将虚拟物体表面的纹理映射到目标物体上。文献[60]~[62]利用一幅正面图像和两幅侧面图像进行纹理合成,先确定三幅图像的边界线,然后利用文献[63]提供的多精度图像合成技术获得整体纹理信息。该方法利用较少的原始图像合成纹理,必然导致一些纹理的丢失,而且需要部分手工的介入。文献[27]、[45]提出了三维模型纹理贴图的两个基本方法,即依赖于视点和独立于视点的方法,并分别用这两种方法合成纹理,指出前者速度较慢且占有很大的计算空间,效果较好,而后者速度快但是效果差一些。文献[35]对前面的方法做了改进,不采用对每一个模型上的点单独进行纹理绘制,而是利用模型上的顶点,对模型进行分块绘制,从而提高了速度。比较详细的纹理映射技术可以参考文献[8]。

## 5 应用

研究人员除了在理论方面进行三维人脸建模的研究外,还逐步将研究成果应用到实践中去,在动画制作、可视电话、人脸识别等几个方面都有成功的应用。

建立逼真形象的脸部动画向来是研究者们向往的事情,但是由于脸部生理结构的复杂性和脸部表情的敏感性,此项工作具有非常大的挑战性。人脸动画的基本做法是在标准人脸模型上加入动作模型,模仿人脸的肌肉收缩来仿真人脸表情动作。目前比

较成功的动作模型有脸部动作编码系统 FACS (facial action coding system) 和物理肌肉模型 (physics based muscle modeling)。

FACS 是发展比较早的脸部动画系统<sup>[64]</sup>。它起源于脸部解剖学,包括 44 个基本动作单元,这些动作单元可以相互结合形成简单的脸部表情。MPEG-4 中的动画模型与此类似,MPEG-4 是第一个国际多媒体压缩标准,它提出了人体模型定义、人体动画、视频传输、编码等多媒体方面一系列标准<sup>[40,41]</sup>,得到学者们认可。三维人脸的建立和动画是这一标准的重要组成部分,通过定义关键点和三角平面来描述标准三维模型,通过脸部静态定义参数向量 FDP (facial definition parameters) 调整标准模型到特定模型,通过脸部动态定义参数向量 FAP (facial animation parameter) 模仿肌肉动作形成简单的动画。但是此标准规定的特征点太少,不能逼真地描述人的表情动作,它只提供了一种研究框架,开发者们为了逼真生动地描述出人脸的模型还需要做很多工作。

物理肌肉模型用数学方法描述人的皮肤、骨骼和肌肉系统的物理属性和动作特征,能有效地克服插值技术和变形技术引起的特征点对应问题和光照问题。目前比较流行的肌肉模型包括弹性网格模型<sup>[65,66]</sup> (spring mesh muscle)、向量肌肉模型<sup>[67]</sup> (vector muscle) 和分层弹性网格模型<sup>[68]</sup> (layered spring mesh muscles) 等几种。弹性网格模型是一种早期的肌肉模型,通过弹性网格传播肌肉收缩产生的力来模拟皮肤变形。Waters 建立的向量肌肉模型<sup>[67]</sup> 是比较成功的模型,一条 Waters 肌肉模型包括影响区域、动作发出点和肌肉附着点,肌肉收缩引起相应区域的动作。由于这种模型表述紧凑,而且独立于模型网格结构,因此应用较多。但是这种模型需要确立每一条肌肉模型的解剖位置,这是一件很难的事情,需要人工反复处理。Terzopoulos 等人根据解剖学将头部弹性网格分为皮肤、脂肪组织和肌肉 3 层<sup>[68]</sup>。肌肉的收缩引起外层的变化,此模型能逼真地描述脸部动作,但是为了保证模型体积的合理变化,需要复杂的变形计算。Lee 等人在 Terzopoulos 工作的基础上,构造了一个 3 层模型<sup>[48]</sup>:具有非线性性质的生物组织层、肌肉层和骨骼层。这种模型能够获得更好的逼真度,但是计算量相当大,并且合成特定人脸时需要复杂的拟合运算。

肌肉模型力图通过模仿生物结构来形成面部动

作,往往计算量偏大,而且给模型的拟合增大了附加参数。一个可以替代的方法是通过形变方法产生类似于肌肉收缩的效果,从而可以忽略复杂的内部结构。近年来,出现的主要方法有自由形变 FFD (free form deformation)<sup>[52,69]</sup>、spline simulated muscle<sup>[70~73]</sup> 等,但此类方法的缺点是不能逼真地描述脸部的一些细微动作如皱纹等,而且没有考虑形变过程中体积的变化。

除此以外,其他一些方法如插值<sup>[74,75]</sup>、参数化技术 (parameterization)<sup>[76]</sup>、3D 形态 (3D morphing)<sup>[77]</sup>、神经网络<sup>[78]</sup>、基因算法<sup>[79]</sup> 等在人脸建模和动画方面也有应用。

人脸识别是生物特征鉴别技术的一个主要研究方向,经过许多学者的悉心研究,许多成功的方法已经形成,但是这些方法主要集中在二维方面,由于受到光照和姿势表情影响,识别的准确度受到限制。一个较好的解决办法是利用三维模型进行人脸的识别,利用三维人脸模型可以消除或减弱光照姿势表情影响,近年来引起了许多研究者的兴趣。文献 [4]、[24]、[25] 利用结构光的方法获取三维数据,用多条轮廓线来模拟人脸特征,然后利用面匹配和轮廓线匹配的方法进行人脸的识别收到较好的效果。Blanz 等人利用 morphable 模型从单幅图像中构建三维模型,用模型系数表征人脸特征<sup>[80,81]</sup>。Lu 等人利用三维模型合成不同光照姿态表情下的人脸训练样本,构建分类器,有效提高了人脸识别的鲁棒性<sup>[5]</sup>。Lee 等人使用由边缘、颜色区域、线框三类模型组合复合模型描述人脸特征,有效克服姿态的影响<sup>[82]</sup>。基于三维模型的人脸识别方法近年来取得了很大进展,在提高识别的鲁棒性和精度方面显示出了巨大潜力,将成为人脸识别的热点。

三维人脸模型的另外两个主要应用是可视电话和医学手术。可视电话要求语音和用户的表情、相貌都逼真地展现给远方的用户,现有的电话通信线路受到带宽的限制,不可能同时传送语音和图像两方面的数据。将人脸模型应用进来,用户脸部的静态特征在初始化时传输一次,而在对话过程中,只传输动态特征编码和语音数据,这样可以大大减少线路中的数据流量。具体方法可参阅文献 [83]、[84]。与此原理类似,利用三维人脸模型的可视化远程会议近来也有尝试,如文献 [85]。

另外,三维人脸的建模还应用于医学模拟手术、虚拟现实等方面,特别是 20 世纪 90 年代以来,三维

模型逐渐出现在高科技电影、电视广告、电子游戏中,为人们所熟悉。

同时我们应该看到不同的应用领域对三维头部模型的要求也不一样。对于人脸识别,强调的是个性特征,要求类内距离小类间距离大,对于可视化性能要求不多;对于动画制作,要求美观逼真形象的造型;对于视频电话、可视会议,要求模型简单,数据交互量少。因此往往应用方向不同,建立的人脸模型的侧重点也不相同。

## 6 结 论

近年来计算机视觉技术和计算机图形学的迅速发展及实际应用的需求推动了三维人脸建模的发展,但是,就三维建模而言,尚有许多问题需要探索和解决,研究者们正在努力解决这些问题。将来发展的热点可能会集中在以下几个方面:

(1) 利用普通设备结合计算机视觉技术进行三维数据获取。目前,越来越多的用户计算机上配有摄像机,如何通过普通摄像设备进行数据的获取是将来发展的一个热点。

(2) 进一步建立肌肉模型和皮肤模型,描述逼真复杂的面部表情和皮肤特性。

(3) 特定人脸模型的建立。虽然近年来出现了一些较好的算法,但是距离实用化、自动化还有一段距离,由于问题本身的难度,此方向依然是今后研究的难点。

(4) 三维人脸模型的应用,如身份识别、影视制作、远程教育、网络游戏等。

由于三维人脸模型的复杂性和趣味性,引起了许多学者的关注,并且在此投入很大的精力。本文从三维模型建立的一般处理过程出发,对近年来三维人脸建模的基本方法及人脸模型在几个领域的应用进行了概要的总结。随着相关领域理论研究的迅猛发展,以及实际需求的推动和研究者的广泛关注,三维人脸建模将会在理论和应用两方面获得重大突破。

## 参 考 文 献

- 1 Parke F I. Computer generated animation of faces [A]. In: Proceedings of ACM annual conference [C], Boston, Massachusetts, United States, 1972:451~457.
- 2 Parke F I. A parametric model for human faces [R]. Technical Report UTEC-CSc-75-04, University of Utah, Salt Lake City, Utah, USA, 1974.
- 3 Parke F I. A model for human faces that allows speech synchronized animation [J]. Journal of Computers and Graphics, 1975, 1(1):1~4.
- 4 Beumier C, Acheroy M. Automatic face authentication from 3D surface [A]. In: Proceedings British Machine Vision Conference [C], University of Southampton, UK, 1998:449~458.
- 5 Lu X, Hsu R L, Jain A K, et al. Face recognition with 3D model-based synthesis [A]. In: Proceedings International Conference on Biometrics Authentication [C], Hong Kong, 2004.
- 6 Fang X, Bao H, Heng P, et al. Continuous field based free-form surface modeling and morphing [J]. Computer & Graphics, 2001, 25(2):235~243.
- 7 Liu L, Wang G. Explicit matrix representation for NURBS curves and surfaces [J]. Computer Aided Geometric Design, 2002, 19(6):409~419.
- 8 彭群生, 鲍虎军, 金小刚. 计算机真实感图形的算法基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1999:221~248.
- 9 鲍虎军, 金小刚, 彭群生. 计算机动画的算法基础 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2000.
- 10 张辉. 真实感、动画人脸的建模研究 [D]. 北京: 清华大学计算机科学与技术系, 2002.
- 11 高文, 金辉. 面部表情的分析与识别 [J]. 计算机学报, 1997, 20(9):782~789.
- 12 金辉, 高文. 人脸面部混合表情识别系统 [J]. 计算机学报, 2000, 23(6):602~608.
- 13 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, 3(4):342~347.
- 14 王奎武, 董兰芳, 王洵等. 基于 MPEG-4 的人脸变形算法的研究 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(1):21~25.
- 15 李红霞. 三维面像重建与分割 [D]. 北京: 中国科学院自动化研究所, 2000.
- 16 Noh J, Neumann U. A survey of facial modeling and animation techniques [R]. USC Technical Report 99-705, University of Southern California, California, USA, 1998.
- 17 徐琳, 袁保宗, 高文. 真实感人脸建模研究的进展与展望 [J]. 软件学报, 2003, 14(4):804~810.
- 18 Lee S, Chwa K, Shin S. Image metamorphosis using snakes and freeform deformations [A]. In: SIGGRAPH Proceedings [C], Los Angeles, CA, USA, 1995:439~448.
- 19 Waters K, Terzopoulos D. Modeling and animating faces using scanned data [J]. Visualization and Computer Animation, 1991, 2(4):23~128.
- 20 Blanz V, Vetter T. A morphable model for the synthesis of 3D faces [A]. In: SIGGRAPH Proceedings [C], Orlando, FL, USA, 1999:71~78.
- 21 Posdamer J, Altschuler M. Surface measurement by space-encoded projected beam systems [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1982, 18(1):1~17.
- 22 Boyer K L, Kak A C. Color-encoded structured light for rapid active ranging [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(1):14~28.
- 23 Beumier C, Acheroy M. 3D facial surface acquisition by structured light [A]. In: Proceedings International Workshop on Synthetic-Natural Hybrid Coding and Three Dimensional

- Imaging[C], Santorini, Greece, 1999, 103~106.
- 24 Beumier C, Acheroy M. Automatic face verification from 3D and grey level clues[A]. In: Proceedings 11th Portuguese conference on pattern recognition[C], Porto, Portugal, 2000;95~101.
- 25 Beumier C, Acheroy M. Automatic 3D face authentication[J]. *Image and Vision Computing*, 2000, 18(4): 315~321.
- 26 Ilic S, Fua P. Using dirichlet free form deformation to fit deformable models to noisy 3-D data [A]. In: Proceedings Eighth European Conference on Computer Vision [C], Copenhagen, Denmark, 2002;704~717.
- 27 Pighin F, Szeliski R, Salesin D H. Modeling and animation realistic faces from images[J]. *Proceedings International Journal of Computer Vision*, 2002, 50(2):143~169.
- 28 Shan Y, Liu Z, Zhang Z. Model-based bundle adjustment with application to face modeling [A]. In: Proceedings of International Conference on Computer Vision[C], Vancouver, Canada, 2001;644~651.
- 29 Faugeras O, Quan L, Sturm P. Self-calibration of a 1D projective camera and its application to the self-calibration of a 2D projective camera[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(10):1179~1185.
- 30 Armstrong M, Zisserman A, Hartley R. Self-calibration from image triplets[A]. In: Proceedings Fourth European Conference on Computer Vision[C], Cambridge, UK, 1996;3~16.
- 31 Faugeras O, Quan L, Sturm P. Self-calibration of a 1D projective camera and its application to the self-calibration of a 2D projective camera[A]. In: Proceedings of the Fifth European Conference on Computer Vision[C], Freiburg, Germany, 1998; 36~52.
- 32 Triggs B. Autocalibration and the absolute quadric[A]. In: Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition [C], San Juan, Puerto Rico, 1997;609~614.
- 33 DigiclopsTM. [www.ptgrey.com/products/stereo.html](http://www.ptgrey.com/products/stereo.html).
- 34 DeCarlo D, Metaxas D, Stone M. An anthropometric face model using variational techniques [A]. In: SIGGRAPH Proceedings [C], Orlando, FL, USA, 1998; 67~74.
- 35 Liu Z, Zhang Z, Jacobs C, et al. Rapid modeling of animated faces from video [R]. Technical Report MSR-TR-2000-11, Microsoft Research, Microsoft Corporation, WA, 2000.
- 36 Rydfalk M. CANDIDE, a parameterized face [R]. Technical Report LiTH-ISY-I-866, Linköping University, Sweden, 1987.
- 37 Ahlberg J. CANDIDE-3—an updated parameterized face[R]. Technical Report LiTH-ISY-R-2326, Linköping University, Sweden, 2001.
- 38 Farkas L. Anthropometric facial proportions in medicine[M]. New York, Charles Thomas Pub Ltd, 1987.
- 39 Farkas L. Anthropometry of the head and face (2nd edition) [M]. New York, Raven Press, 1994.
- 40 ISO/IEC IS 14496-1 Systems[EB/OL], <http://www.eos.org.eg/web-cn/cat./items/d24462.html>, 1999.
- 41 ISO/IEC IS 14496-2 Visual[EB/OL], <http://www.eos.org.eg/web-cn/prog/jtclsc29.html>, 1999.
- 42 Iwasa T, Shima T, Sai M, et al. 3D Eigenfaces for face modeling [A]. In: Proceedings 5th Asian Conference on Computer Vision[C], Melbourne, Australia, 2002.
- 43 Lee Y C, Terzopoulos D, Waters K. Realistic face modeling for animation[A]. In: SIGGRAPH Proceeding[C], Los Angeles, CA, USA, 1995:55~62.
- 44 Lee Y C, Terzopoulos D, Waters K. Constructing physics-based facial models of individuals [A]. In: Proceedings of Graphics Interface[C], Toronto, Ontario, Canada, 1993;1~8.
- 45 Pighin F, Hecker J, Lischinski D, et al. Synthesizing realistic facial expressions from photographs [A]. In: SIGGRAPH Proceeding[C], Orlando, FL, USA, 1998; 75~84.
- 46 Fua P, Miccio C. From regular images to animated heads: a least squares approach [A]. In: Proceedings of the Fifth European Conference on Computer Vision [C], Freiburg, German, 1998;188~202.
- 47 Fua P, Miccio C. Animated heads from ordinary images; a least squares approach[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1999, 75(3):247~259.
- 48 Akimoto T, Suenaga Y, Wallace R S. Automatic creation of 3D facial models[J]. *IEEE Computer & Application*, 1993, 13(5): 16~22.
- 49 Jeong W, Kahler K, Haber J, et al. Automatic generation of subdivision surface head models from point cloud data[A]. In: Proceedings Graphics Interface[C], Calgary, Alberta, Canada, 2002;181~188.
- 50 Xu C, Quan L, Wang Y, et al. Adaptive multi-resolution fitting and its application to realistic head modeling [A]. In: Proceedings Geometric Modeling and Processing [C], Beijing, China, 2004;345~348.
- 51 Alias | Wavefront, Alias V7.0[EB/OL], Toronto, Ontario, [www.aliaswavefront.com](http://www.aliaswavefront.com), 1995.
- 52 Kalra P, Mangili A, Thalmann N M, et al. Simulation of facial muscle actions based on rational free form deformations[A]. In: Proceedings of Eurographics[C], Bristol, UK, 1992;65~69.
- 53 Neumann J, Aloimonos Y. Spatio-temporal stereo using multi-resolution subdivision surfaces [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2002, 47(1):181~193.
- 54 Chowdhury A R, Chellappa R. Face reconstruction from monocular video using uncertainty analysis and a generic model [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2003, 91(1-2):188~213.
- 55 Maestri G. Digital Character Animation 2: Essential Techniques [M]. New Rides, Ber Keley, CA, USA, 1999.
- 56 Gourret J P, Khamlichi J. A model for compression and classification of face data structures[J]. *Computer & Graphics*, 1996, 20(6):863~879.
- 57 Chen Y, Medioni G. Fitting a surface to 3-D Points Using an Inflating Balloon Model[A]. In: Proceedings of the 2nd CAD-Based Vision Workshop [C], Champion, Pittsburgh, USA, 1994; 266~273.
- 58 Liao C, Medioni G. Surface approximation of a cloud of 3D points [J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1995, 57(1):67~74.
- 59 Bier E A, Sloan K R. Two-part texture mappings[J]. *IEEE Computer Graphics Applications*, 1986, 6(9): 40~53.
- 60 Lee W S, Thalmann N M. From real faces to virtual faces: problems and solutions [A]. In: Proceedings of 31A'98 (Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence) [C], Limoges, France, 1998;5~19.

- 61 Lee W, Thalmann N M. Head modeling from pictures and morphing in 3D with image metamorphosis based on triangulation [A]. In: Proceedings Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments [C], Geneva, Switzerland, 1998;254~267.
- 62 梅丽. 一个实用的人脸定制和表情动画编辑系统[J]. 中国图象图形学报(A版),2002,7(4):325~33.
- 63 Burt P J, Anderson EH. A multiresolution spline with application to image mosaics [J]. ACM Transactions on Graphics, 1983, 2(4):217~236.
- 64 Ekman P, Friesen W V. Facial action coding system[M]. Palo Alto: Consulting psychologists press, CA, USA, 1978.
- 65 Platt S M. A structural model of the human face[D]. University of Pennsylvania, USA, 1985.
- 66 Platt S, Badler N. Animating facial expression [J]. Computer Graphics, 1981, 15(3):245~252.
- 67 Waters K. A muscle model for animating three-dimensional facial expression[J]. Computer Graphics, 1987,21(4):17~24.
- 68 Terzopoulos D, Waters K. Physically-based facial modeling, analysis, and animation [J]. Journal of Visualization and Computer Animation, 1990, 1(4): 73~80.
- 69 Coquillart S. Extended free-form deformation: a sculpturing tool for 3D geometric modeling [J]. Computer Graphics, 1990, 24(4):187~193.
- 70 Viad M L, Yahia H. Facial animation with wrinkles[A]. In: Proceedings Third Eurographics Workshop on Animation and Simulation[C], Cambridge, UK, 1992.
- 71 Deroose T, Kass M, Truong T. Subdivision surfaces in character animation[A]. In: SIGGRAPH Proceedings [C], Orlando, FL, USA, 1998;85~94.
- 72 Eisert P, Girod B. Analyzing facial expressions for virtual conferencing [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1998,18(5):70~78.
- 73 Wang C, Forsey D R. Langwidere: a new facial animation system [A]. In: Proceedings of Computer Animation [C], Geneva, Switzerland, 1994;59~68.
- 74 Waters K, Levergood T M. Deiface: an automatic lip-synchronization algorithm for synthetic faces [R]. Technical Report 93/4, Digital Equipment Corp, Cambridge Research Laboratory, UK, 1993.
- 75 Arai K, Kurihara T, Anjyo K. Bilinear interpolation for facial expression and metamorphosis in real-time animation[J]. The Visual Computer, 1996, 12(3):105~116.
- 76 Waters K, Frisbie J. A coordinated muscle model for speech animation[A]. In: Proceedings Graphics Interface[C], Quebec, Canada, 1995;163~170.
- 77 Pighin F, Auslander J, Lischinski D, et al. Realistic facial animation using image-based 3D morphing[R]. Technical report UW-CSE-97-01-03, University of Washington, Washington, USA, 1997.
- 78 Kawakami F, Ohkura M, Yamada H, et al. 3-D emotion space for interactive communication [A]. In: Third International Computer Science Conference proceedings, Image Analysis Applications and Computer Graphics [C], Hong Kong, 1995: 471~478.
- 79 Peng A, Hayes M H. Iterative human facial expression modeling [A]. In: Third International Computer Science Conference proceedings, Image Analysis Applications and Computer Graphics [C], Hong Kong, 1995;479~486.
- 80 Blanz V, Romdhani S, Vetter T. Face identification across different poses and illumination with a 3D morphable model[A]. In: Proceedings 5th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition [C], Washington DC, 2002;202~207.
- 81 Blanz V, Vetter T. Face recognition based on fitting a 3D morphable model [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(9):1063~1074.
- 82 Lee M W, Ranganath S. Pose-invariant face recognition using a 3D deformable model [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(8): 1835~1846.
- 83 Capin T K, Petajan E, Ostermann J. Very low bitrate coding of virtual human animation in MPEG-4[A]. In: Proceedings IEEE International Conference on Multimedia and Expo [C], New York, USA, 2000.
- 84 Strub L, Robinson J. Automatic facial conformation for model-based videophone coding [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Washington, USA, 1995;587~590.
- 85 Weik S, Wingbermuehle J, Niem W. Automatic creation of flexible antropomorphic models for 3D videoconferencing [A]. In: Proceedings International Conference Computer Graphics [C], Hannover, German, 1998;520~527.

**徐成华** 1976年生。1999年和2001年先后于东北大学获自动化专业学士与硕士学位。现于中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室攻读博士学位。研究兴趣包括三维物体建模、模式识别、多媒体等。



**王蕴红** 1968年生。副研究员、硕士生导师。1989年于西北工业大学无线电技术专业获学士学位,1995年和1998年先后于南京理工大学通信与电子系统专业获硕士与博士学位。研究领域为模式识别、信号处理、神经网络及计算机视觉。已在国内外权威学术期刊和会议上发表学术论文70余篇。



E-mail: wangyh@nlpr.ia.ac.cn

**谭铁牛** 1964年生。所长、研究员、博士生导师。1984年于西安交通大学获学士学位,1986年和1989年先后于英国伦敦大学帝国理工学院获硕士与博士学位。主要研究领域为图像处理、计算机视觉和模式识别等。已在国内外权威学术期刊和会议上发表学术论文200余篇。

