



中/青/文/库

三维人脸建模方法 研究与应用

盖 赟◎著

1



中国社会科学出版社



中/青/文/库

本书得到中国青年政治学院出版基金资助

三维人脸建模方法 研究与应用

盖 赟◎著

中国社会科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

三维人脸建模方法研究与应用 / 盖贇著. —北京: 中国社会科学出版社, 2015. 5

ISBN 978 - 7 - 5161 - 6028 - 2

I. ①三… II. ①盖… III. ①面—识别系统—系统建模—研究
IV. ①TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 085563 号

出 版 人 赵剑英
责任编辑 李炳青
责任校对 邓雨婷
责任印制 李寡寡

出 版 中国社会科学出版社
社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号
邮 编 100720
网 址 <http://www.csspw.cn>
发 行 部 010 - 84083685
门 市 部 010 - 84029450
经 销 新华书店及其他书店

印刷装订 北京金瀑印刷有限责任公司
版 次 2015 年 5 月第 1 版
印 次 2015 年 5 月第 1 次印刷

开 本 710 × 1000 1/16
印 张 10.25
插 页 2
字 数 202 千字
定 价 39.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书,如有质量问题请与本社营销中心联系调换
电话:010 - 84083683
版权所有 侵权必究

《中青文库》编辑说明

中国青年政治学院是在中央团校基础上于1985年12月成立的，是共青团中央直属的唯一一所普通高等学校，由教育部和共青团中央共建。中国青年政治学院成立以来，坚持“质量立校、特色兴校”的办学思想，艰苦奋斗、开拓创新，教育质量和办学水平不断提高。学校是教育部批准的国家大学生文化素质教育基地，中华全国青年联合会和国际劳工组织命名的大学生KAB创业教育基地。学校与中央编译局共建青年政治人才培养研究基地，与北京市共建社会工作人才发展研究院和青少年生命教育基地。

目前，学校已建立起包括本科教育、研究生教育、留学生教育、继续教育和团干部培训等在内的多形式、多层次的教育格局。设有中国马克思主义学院、青少年工作系、社会工作学院、法律系、经济系、新闻与传播系、公共管理系、中国语言文学系、外国语言文学系等9个教学院系，文化基础部、外语教学研究中心、计算机教学与应用中心、体育教学中心等4个教学中心（部），轮训部、继续教育学院、国际教育交流学院等3个教学培训机构。

学校现有专业以人文社会科学为主，涵盖哲学、经济学、法学、文学、管理学5个学科门类。学校设有思想政治教育、法学、社会工作、劳动与社会保障、社会学、经济学、财务管理、国际经济与贸易、新闻学、广播电视学、政治学与行政学、汉语言文学和英语等13个学士学位专业，其中社会工作、思想政治教育、法学、政治学与行政学为教育部特色专业。目前，学校拥有哲学、马克思主义理论、法学、社会学、新闻传播学和应用经济学等6个一级学科硕士授权点和1个专业硕士学位点，同时设有青少年研究院、中国马克思主义研究中心、中国志愿服

务信息资料研究中心、大学生发展研究中心、大学生素质拓展研究中心等科研机构。

在学校的跨越式发展中，科研工作一直作为体现学校质量和特色的重要内容而被予以高度重视。2002年，学校制定了教师学术著作出版基金资助条例，旨在鼓励教师的个性化研究与著述，更期之以兼具人文精神与思想智慧的精品涌现。出版基金创设之初，有学术丛书和学术译丛两个系列，意在开掘本校资源与移译域外菁华。随着年轻教师的剧增和学校科研支持力度的加大，2007年又增设了博士论文文库系列，用以鼓励新人，成就学术。三个系列共同构成了对教师学术研究成果的多层次支持体系。

十几年来，学校共资助教师出版学术著作百余部，内容涉及哲学、政治学、法学、社会学、经济学、文学艺术、历史学、管理学、新闻与传播等学科。学校资助出版的初具规模，激励了教师的科研热情，活跃了校内的学术气氛，也获得了很好的社会影响。在特色化办学愈益成为当下各高校发展之路的共识中，2010年，校学术委员会将遴选出的一批学术著作，辑为《中青文库》，予以资助出版。《中青文库》第一批（15本）、第二批（6本）、第三批（6本）出版后，有效展示了学校的科研水平和实力，在学术界和社会上产生了很好的反响。本辑作为第四批共推出12本著作，并希冀通过这项工作的陆续展开而更加突出学校特色，形成自身的学术风格与学术品牌。

在《中青文库》的编辑、审校过程中，中国社会科学出版社的编辑人员认真负责，用力颇勤，在此一并予以感谢！

前 言

人脸是人们日常生活中信息交流和情感表达最重要的载体。通过人脸,我们不仅可以获取一个人的身份、种族信息,还可以获取对方当前的情感状态。随着计算机视觉技术的不断发展,人们对自然、便捷的人机交互技术的要求不断提高,真实感三维人脸建模技术作为人机交互技术中最重要的组成部分自然成为研究的热点。目前,三维人脸建模技术已经取得了长足的发展,并被广泛地应用于影视动画、游戏娱乐、人机交互、医疗技术、辅助教学等诸多领域。

传统的三维人脸建模方法在模型的建立效果和建模过程的自动化等方面还存在着很大的不足。基于形变模型的三维人脸建模方法是目前建模效果最好的方法之一,该方法是基于统计学习理论建立的。与其他的建模方法相比,该方法在建模效果、建模过程的自动化程度等方面都有比较好的表现。本书的研究工作围绕基于形变模型的三维人脸建模方法展开,针对形变模型方法存在的不足和问题进行了深入探讨和研究,并以此为基础讨论了三维人脸样本在人脸动画方面的研究。本书的研究内容主要包括以下几个方面。

1. 基于组合模型匹配的样本规格化

规格化三维人脸样本集是建立形变模型的关键前提。由于建库目的和采集方法的不同,不同数据库中的三维人脸样本在拓扑结构、数据形式、信息含量上有着很大的差异。为了能够在不同人脸样本之间实施线性运算,需要对初始三维人脸样本进行规格化处理,使得这些样本具有相同的拓扑结构和点面信息,并可以使用统一的向量形式进行表示。本书在深入分析三维人脸样本结构特性的基础之上提出了基于组合模型匹配的三维人脸样本规格化方法。该方法首先基于规格化样本集建立三维人脸组合模型,然后将组合模型与目标样本进行匹配的方式实现样

本规格化。由于组合模型是建立在规格化样本集上的统计模型,所以基于组合模型匹配得到的规格化样本不仅可以满足几何的约束,还可以满足人脸的合理性约束。

2. 基于遗传算法的三维人脸样本扩充

三维人脸样本是三维人脸研究进行算法设计、模型训练以及性能比较所不可缺少的数据资源。由于受采集设备和条件的限制,目前的三维人脸数据库的数据规模都很小,样本的覆盖范围相对不足。为了解决这个问题,本书提出了一种基于已有的三维人脸样本集,通过遗传算法进行样本扩充的方法。该方法的基本思想是将三维人脸样本看作由有限固定器官组成的对象,利用遗传算法可以引导搜索进行的特点,通过选择、交叉、变异等操作将各样本的不同器官重新组合在一起产生新的三维人脸样本。使用该方法不但可以产生大量的三维人脸样本,还可以增大样本集所涵盖的变化范围,大大增强现有样本集的可用性。

3. 基于典型相关性分析的三维人脸建模

形变模型的假设前提是人脸空间是一个线性子空间,然而研究表明人脸是嵌套在高维空间其中的一个非线性流形。基于形变模型的建模方法必定会忽略人脸的某些细节特征,从而使得该方法难以得到更好的建模效果。为了进一步提高该方法的建模精度,本书提出了一种非线性三维人脸建模方法。该方法的基本思想是使用分段线性的方法来解决形变模型的线性假设前提和人脸的非线性特性之间的矛盾。该方法以典型相关性分析方法为基础,通过计算二维人脸图像与三维人脸样本之间的相关性来计算二者之间的距离,并以此为基础得到与输入图像相关的三维人脸样本集。在进行三维人脸建模时,首先基于这组样本集建立形变模型,并通过将形变模型与输入图像进行匹配的方式得到三维人脸建模结果。由于该模型是建立在与输入图像相关的三维人脸样本集之上,因此使用该模型可以对输入图像进行更好的表示。所以基于典型相关性分析的三维人脸建模方法可以进一步提高形变模型方法的建模精度。

4. 基于粒子群优化算法的模型匹配

基于形变模型的三维人脸建模过程就是形变模型的匹配过程。由于在匹配求解过程中涉及形状、纹理、摄像机和光照等一系列参数的求解,所以形变模型的匹配问题是一个大规模、多参数的优化问题。对该问题进行优化求解时,会遇到计算复杂度高、计算时间长和容易陷入局

部极值点等问题。粒子群优化算法是一种基于群体智能的随机优化算法,该算法具有高度并行、易于实现等特点。本书在深入分析形变模型匹配特点的基础上,提出了基于粒子群优化算法的多层次模型匹配算法,进一步提高了模型匹配的速度和效率。由于粒子群优化算法是一种有信息反馈的随机优化算法,该方法对模型匹配问题具有很高的鲁棒性且对初值不敏感,因此使用本书提出的模型匹配算法可以极大地提高形变模型的匹配速度和匹配精度。

5. 三维人脸动画研究

MPEG-4 是一个真正地把视频和声音以及计算机三维图形和图像结合在一起的多媒体标准。该标准的提出,进一步拓宽了虚拟人脸的应用,使得即使在低带宽的网络上也可以实现高质量的人脸动画。为了实现基于在 MPEG-4 人脸建模的自动化,避免不必要的重复劳动,讨论了基于三维重建人脸的特定化方法。首先利用基于重采样的三维可变形组合模型(形变模型)三维重建该特定人脸模型,然后利用这个特定人脸模型将中性的通用网格模型特定化,有了这种对应,可以将稠密网格简化为适用于模型基编码的稀疏网格,任何特定人只要有一张二维纹理图片,就可以通过三维可变形组合模型完成面向 MPEG-4 的人脸建模。

6. 三维人脸识别研究

与二维数据相比,三维数据包含了人脸的空间信息,是人脸本身固有的信息,对外界条件的变化具有很好的鲁棒性。文本基于三维人脸特征讨论几种三维人脸识别研究方法,包括基于几何特征的三维人脸识别、基于局部二值模式的三维人脸识别、基于稀疏表示的三维人脸识别和基于三维模型的人脸识别。

书中讨论的内容以笔者读书期间的工作为基础,由于时间仓促、本书水平有限,书中难免有不足和疏忽之处,恳请各位专家和广大读者批评指正。

盖贇

2014年4月24日

北京

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 研究背景及意义	(1)
第二节 研究现状	(4)
一 基于经验知识的三维人脸建模	(5)
二 基于样本学习的三维人脸建模	(10)
第二章 三维人脸样本规格化	(14)
第一节 引言	(14)
第二节 样本预处理	(16)
一 纹理映射图	(18)
二 分割人脸的方法及实例	(21)
三 样本坐标矫正	(24)
第三节 样本规格化	(25)
一 曲面变形算法	(27)
二 基于网格重采样的方法	(29)
三 基于光流的方法	(31)
四 基于组合模型匹配的规格化方法	(41)
第四节 实验结果和分析	(47)
第三章 基于遗传算法的三维人脸样本扩充	(51)
第一节 引言	(51)
第二节 基于遗传算法的三维人脸样本扩充	(52)
一 编码方式	(53)
二 适应度函数	(55)

三 选择操作	(55)
四 交叉操作	(56)
五 变异操作	(61)
第三节 实验结果	(64)
一 三维人脸样本扩充结果	(64)
二 基于扩充样本的三维人脸建模结果	(66)
三 基于扩充样本的三维人脸识别结果	(67)
 第四章 基于典型相关性分析的三维人脸建模	(70)
第一节 引言	(70)
第二节 模型概述	(71)
一 模型建立	(71)
二 模型匹配	(73)
第三节 基于典型相关性分析的样本选择	(74)
一 典型相关性分析	(75)
二 样本表示和相关性计算	(76)
第四节 实验结果和分析	(80)
一 样本预处理	(80)
二 实验结果比较	(82)
 第五章 基于粒子群优化算法的模型匹配	(90)
第一节 引言	(90)
第二节 模型匹配	(90)
第三节 粒子群优化算法	(92)
第四节 多层次模型匹配算法	(93)
一 多层次粒子群模型	(94)
二 多层次模型匹配算法	(95)
三 惯性权重因子变化策略	(96)
四 认知因子自适应策略	(97)
第五节 实验结果和分析	(98)

第六章 三维人脸动画技术	(107)
第一节 MPEG-4 技术	(107)
一 人脸定义参数	(107)
二 人脸动画参数单元	(110)
三 人脸动画参数	(111)
第二节 基于 MPEG-4 的人脸动画流程	(113)
第三节 面向 MPEG-4 的人脸建模及特定化	(115)
一 通用网络模型	(115)
二 模型特定化	(116)
三 基于三维扫描仪的数据采集	(117)
四 径向基插值算法	(118)
五 柱面投影算法	(119)
六 通用模型特定化	(121)
第四节 基于三维重建人脸的特定化	(123)
一 自动建模的实现	(124)
二 自动化人脸建模的纹理调整	(125)
第五节 分片重采样在人脸动画中的应用	(128)
一 基于形变模型与重采样的三维人脸动画	(130)
二 获取动画数据	(131)
三 人脸表情动画参数模型	(132)
四 实验结果	(133)
参考文献	(135)
后记	(152)

第一章 绪论

人的头部和面部具有很多的重要的感知器官,包括大脑、眼睛、鼻子、耳朵、嘴。有关头部和脸部变化的人类学研究已经不再新鲜,传统的人类学家使用可数维度来描述形状,并提供了各项异性变化和脸部变化的丈量方式。然而人工度量的方式具有很多不足之处,比如耗时,低可靠度等。更为重要的是可数维度的描述并不能满足当前产品设计的实际需求,如人头部和面部具备更复杂的几何结构。

在计算机技术高速发展的今天,三维人脸建模技术^[1,2]已经成为计算机图形学、计算机视觉和人机交互领域的热点研究课题。越来越多的学者投入该课题的研究当中,大量创造性的工作使得三维人脸建模技术得以迅猛发展。目前三维人脸建模技术已经广泛应用于影视动画、游戏娱乐、人机交互、医疗技术、辅助教学等诸多领域。基于形变模型(Morphable Model)的三维人脸建模是目前最受关注的建模方法,该方法以建模效果好、自动化程度高等特点而闻名。本书以形变模型建模方法为基础,针对形变模型方法中存在的一些问题展开了深入的探讨和研究,将进一步完善该建模方法作为主要研究内容。

第一节 研究背景及意义

作为身份特征信息和情感特征的最重要载体,人脸在日常生活的信息交流、情感表达过程中起着非常重要的作用。根据人脸的表观特征,我们不但可以获取对方的身份信息,还可以通过脸部的特征变化情况来推测对方的身份、情绪、状态等信息。研究表明,在日常生活的交流当中,超过 50% 的信息是通过人脸来传递的。^[3]

由于人脸在信息交流当中所发挥的巨大作用,使得人们对于人脸的

描述和刻画产生了极大的兴趣。早期人脸的表示方式大都采用艺术领域的手段来实现。基于这种方式描述的人脸具有高度的真实感和准确的情感表达效果。随着科学技术的不断发展,使用摄像机、照相机等设备记录人脸的方式逐渐走进了人们的视野。人们可以基于这些设备获得真实感更高的人脸图像并对它们进行复杂的处理。在计算机技术迅速发展的今天,使用计算机技术对人脸进行表示成为刻画人脸的最新途径。越来越多的学者和机构投入到这项工作的研究当中,他们尝试使用各种方法实现基于计算机的人脸表示,其中最主流的方向是使用计算机构建人脸的三维模型。

然而建立真实感强的三维人脸模型却是一项非常困难的工作。这是因为人脸具有复杂的层次结构、几何结构和光照特性。人脸的层次结构包括骨骼层、肌肉层、结缔组织层和表皮层。人脸的几何结构包括鼻子、眼睛、耳朵、嘴、头发等。人脸的表观特征和情感状态是在这些部分的共同作用下得以体现和完成的。然而这些组件在不同的人脸上存在着较大的差异,并且无法用统一的模型进行表示。例如头发有卷发和直发之分,脸型有方脸、圆脸、瓜子脸之分,眼睛有单眼皮和双眼皮之分。由于基因和生长环境的不同,不同的人脸的皮肤颜色、皮肤结构和皮肤反射率都各不相同。目前还没有比较可行的方法可以准确地测量和表示人脸的光照特性。所有这些因素使得构建真实感强的三维人脸模型成为一项既复杂又具有挑战性的课题。该课题的解决需要生理学、心理学、物理学等多个学科的努力。有效地解决该课题可以极大地促进对相关领域的研究。

除了具有重要的科学研究意义,三维人脸建模技术还具有广阔的实际应用价值。目前该技术已经广泛应用于影视动画、游戏娱乐、人机交互、医疗技术、辅助教学等诸多领域。

• 影视动画

使用计算机构建人物形象已经成为当前影视作品创作的重要手段。很多精彩的影视作品就是在这项技术的辅助下完成的,作品中鲜活亮丽的人物形象给人们留下了深刻的印象。这些作品主要有 20 世纪的《魔戒》《玩具总动员》《夺面双雄》和时下流行的《阿凡达》《绿巨人》《飞屋环球记》等一系列作品。其中,给人留下印象最为深刻的要数电影《阿凡达》当中 Navi 族的人物形象(图 1-1)。



图 1-1 《阿凡达》中的 Navi 形象

• 游戏娱乐

随着计算机视觉技术的发展，二维形式的计算机游戏已经逐渐淡出了人们的视野，三维计算机游戏渐渐成为游戏发展的主流方向。三维虚拟人物是游戏中不可缺少的元素，高度真实感的人物形象能给人带来身临其境的感受。最具有代表性的游戏是《使命召唤5》，该游戏对人物的刻画惟妙惟肖（图 1-2）。

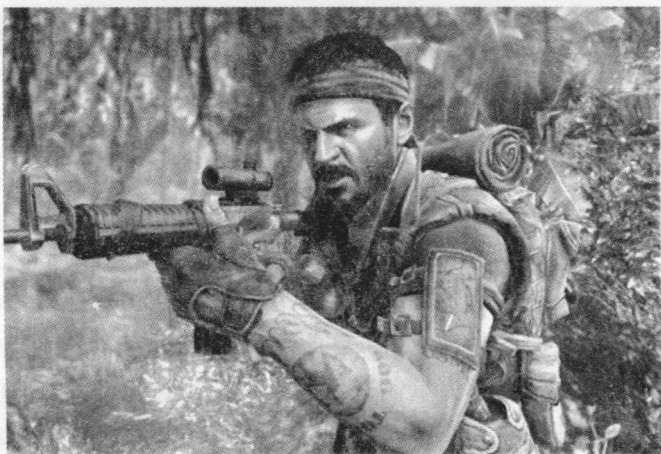


图 1-2 《使命召唤》中的人物形象人机交互

人机交互技术是增强软件易用性的一项重要技术,目前的人机交互技术已经向人性化、自然式交互的方向发展。人脸作为信息传递的最有效载体自然成为人机交互技术研究的重要对象。^[3-8]基于人脸的交互技术极大地拓展了新一代交互技术的适用范围,并增强了人际交互技术的可用性。虽然这类交互方式还在很多方面存在着不足,但这些不足一定在学者的努力下得以解决。

• 医疗技术

使用计算机构建三维人脸模型为颅骨手术和人脸外科整容手术提供参考和模拟,是当前医学研究最为流行的方法。通过构建患者的三维人脸模型,医学工作者不单可以对人脸的结构进行可视化分析,还可以对治疗方案和治疗过程做出更为准确的判断,从而大大提高对相关病变的治愈率。除此之外,三维人脸建模技术还广泛应用于美容整形领域。通过对整容后的效果进行模拟,患者和医生可以对最终治疗方法达成最大的一致。

• 辅助教学

随着网络技术的发展,基于网络学习的授课模式逐渐成为当前教育教学的新方法,然而普通的网络教学方式由于缺少师生互动,使得教学效果常常难如人意。目前的三维人脸建模技术已经可以用于教师模型的构建和唇部动画的仿真。在进行远程教育教学中,虚拟老师形象的出现会大大提高学生的学习积极性和学习效率,并且使用仿真技术进行唇部运动模拟可以使学生对发声方法和发声要领有更准确地把握。

总之,无论从研究意义方面看,还是从应用前景方面看,三维人脸建模技术都值得深入而翔实地研究下去。

第二节 研究现状

三维人脸建模技术起源于20世纪70年代。Parke是第一个使用计算机方法来表示人脸的学者。^[4-8]自此之后许多研究者先后投入到该课题的研究当中,并做出了大量创造性的工作。经过近几十年的发展,三维人脸建模技术已经在真实感、自动化方面有了长足的进步。按照人脸建模知识来源的不同,目前的三维人脸建模方法大致可分为以下两类:基于经验知识的三维人脸建模和基于样本学习的三维人脸建模。基于主

观经验的三维人脸建模方法首先根据经验知识构建一个标准的三维人脸模型，然后通过模型变形、纹理映射等方式来构建特定人的三维人脸模型。基于这类方法得到的模型完全取决于建模者的知识和水平。为了克服这类方法在人脸知识方面的不足，基于样本学习的三维人脸建模方法应运而生，这类方法以大量的三维人脸样本为基础，通过统计学习的方法构建三维人脸表示模型。使用这类方法得到的三维人脸模型无论是在模型的真实感，还是在建模过程的自动化等方面都要优于前者。

一 基于经验知识的三维人脸建模

（一）基于参数模型的三维人脸建模

基于参数模型的三维人脸建模方法是最早出现的三维人脸建模方法，该方法使用一个多边形的集合来描述三维人脸模型，并通过定义一组参数来控制人脸的面部特征和表情变化（图 1-3）。这组参数通常由面部特征参数和表情变化参数构成。面部特征参数用于描述面部的几何特征，如人脸的形状、尺寸以及五官的形状和大小。使用不同的面部特征参数可以生成不同的三维人脸模型。表情参数用于描述面部表情的变化，如眨眼、皱眉、微笑等动作。发生在面部的各种表情变化就是通过调整表情参数实现的。早期的研究者大多采用这种方法来构建三维人脸模型。

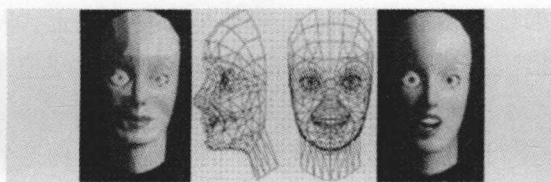


图 1-3 Parke 的人脸模型

基于参数模型的三维人脸建模方法为面部的表示、控制和描述提供了一种全新的思路。自 Parke 之后，人们对原有的人脸参数模型进行了多方面的改进，并提出了多种改进后的人脸参数模型。然而使用这些方法构建三维人脸模型时，仍需要首先设计出人脸模型在计算机中的存储方式和表现形式。然后手动调节模型的尺度、形状、面部特征、表情等

一系列的参数。表面上使用参数模型方法建立三维人脸模型是一种计算机方法，实际上却需要研究人员进行全程的手工参与，因此模型的建立效果与制作者的水平有着密切的联系。并且，定义完备的参数集也是一件非常困难的事情，这使得构建完善的人脸模型和表情控制参数非常不方便。因此，基于参数模型的三维人脸建模方法还需要在参数的定义方式和参数的控制方式等方面做出深入的研究。

（二）基于图像的三维人脸建模

由于参数模型建模方法的建模过程非常复杂，建模效果也很难尽如人意。因此 90 年代以后，基于图像的三维人脸建模方法成为三维人脸建模的热门研究方向。该方法首先使用手工的方式建立一个标准的三维人脸模型，然后从多张或单张人脸图像中提取面部特征，即使用人脸检测或手工标定的方式在图像中标定人脸特征点位置，并计算出这些特征点在三维人脸模型上的对应位置。最后根据特征点的对应关系对三维人脸模型进行变形和纹理映射，从而建立相应的三维人脸模型。目前，基于图像的三维人脸建模方法可以分为两大类：基于多幅图像的三维人脸建模与基于单幅图像的三维人脸建模。

基于多幅图像的三维人脸建模方法首先需要获取目标对象在不同视点下的图像，然后在这些图像中计算出面部的特征点位置，如眼角、鼻尖和嘴角等处的位置，并根据这些特征点建立图像与模型之间的对应关系。最后根据特征点的对应关系对标准三维人脸模型进行变形，并将人脸的纹理信息映射到该三维人脸模型之上，从而生成该对象的三维人脸模型。目前基于多幅图像的三维人脸建模主要有以下一些工作。^[9-23]

F. Pighin^[9-10]使用五个不同视点下的人脸图像构建特定人脸的三维人脸模型。该方法首先使用五台均匀分布的摄像机来获取目标在同一时刻、不同视点下的图像，并在这些图像当中对面部的关键特征位置进行标注，如眼角、鼻尖、嘴角等特征位置。然后根据这些特征位置的对应关系计算出它们在空间中的位置和摄像机参数。最后根据特征点的空间位置对标准三维人脸模型进行变形，并将图像中的纹理信息映射到变形后的三维人脸模型上，从而得到该目标的三维人脸模型（图 1-4）。