

## 三维脸部网格模型的交互式调整

李梦东 阮秋琦

(北方交通大学信息科学研究所, 北京 100044)

**摘要** 脸部网格模型的建立是基于模型的人脸合成技术的关键步骤. 提出了一种结合自动和交互方式, 利用正交图象的三维人脸模型调整算法. 首先利用区域增长法和矩形模板匹配确定正面图象中人脸及各特征区域的位置, 利用变形模板自动提取人脸完整特征; 然后交互地修正人脸特征点的准确正面位置, 并从侧面图象提取特征点的深度; 最后算法自动确定脸部姿态和利用反向距离内插调整模型非特征点, 获得输入人脸模型. 实验结果表明, 该算法简便实用, 费时较少, 具有一定的实用价值.

**关键词** 人脸合成 模型调整 特征提取

**中图分类号**: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)08-0818-06

### An Interactive Adaptation Method of 3-D Facial Wireframe Model

LI Meng-dong, RUAN Qiu-qi

(Institute of Information Science, Northern Jiaotong University, Beijing 100044)

**Abstract** Face modeling is an important step in model based face reconstruction. A method adapting the facial wireframe model from two face images (front one and side one) with some user's interaction is proposed in this paper. At first the place of the front face and the feature regions in the front face image are located by region growing and template matching, the deformable templates are used to extract the full facial features. Secondly the exact front positions of features are rectified by hand with a friendly interface, the depth positions of the feature points are defined from side image manually. Finally the rotation of the head is calculated and the model is scaled and the other vertexes of the model are adapted with inverse distance interpolation algorithm with the feature points as the data points and then the input face model is gotten. The test results show that this method is simple and useful.

**Keywords** Face synthesis, Model adaptation, Feature extracting

## 0 引言

近年来, 基于模型的人脸合成技术得到了研究人员的广泛重视. 这主要是由于基于模型的人脸重建与合成技术在许多领域有着重要应用, 例如它在模型基编码中, 可获得非常高的压缩比; 在虚拟现实中获得栩栩如生的合成形象, 如虚拟播音员等; 在先进的人机界面、动画制作等方面也占有关键地位. 事实上, 描述和表达人脸的应用潜力是巨大的.

基于模型的人脸合成技术, 一个关键的步骤是建

立脸部的网格模型. 目前已有多种人脸建模的方法, 如深度图建模、立体视觉建模、运动视觉建模及基于特征的调整方法等, 其中包含一些自动的建模方式. 由于成像条件等因素的影响, 自动建模方法或较为复杂, 要求条件较高, 或鲁棒性不强, 还难以满足实际的需要, 因此目前实用中人脸建模多采用交互的或半交互的方式. 但是如何避免繁琐的众多模型点的调整, 减少工作量, 是交互方式需要克服的问题. 基于特征的模型调整方法, 由于充分利用了人脸先验知识, 因此效率高, 速度快, 是交互方式中常用的一种人脸模型调整方法. 文献[1]结合自动和交互的方式, 采用

snake 技术(主动轮廓模型)提取正交图象中人脸特征,用改进的自由变形算法调整三维模型;文献[2]用手工标定序列图象中一些特征点及其对应点,用优化算法计算出摄像机参数和特征点深度,由径向基函数内插算法调整模型;文献[3]用 snake 提取正交图象中的人脸特征,用径向基函数内插调整模型。另外,还有利用变形模板提取人脸特征的算法<sup>[4,5]</sup>等。但存在的问题是由于人脸成像的复杂性,利用 snake 或变形模板自动提取特征的可靠性不高。

为了保证准确性和可靠性,提出了一种自动和交互方式结合的模型调整算法,在变形模板自动提取的基础上,交互修正正面特征,并交互提取特征点深度;利用稳定性较好的 4 点反向距离内插来调整模型非特征点,与其他的方法相比,该算法增强了鲁棒性,且简便实用,费时较少,具有一定的实用价值。

## 1 基于特征的模型调整原理

基于特征的三维人脸网格模型调整方法,其一般步骤为:(1)选取通用模型和模型上一定量的特征点;(2)提取输入人脸中对应的特征点坐标;(3)对通用模型进行尺度和非特征点调整,继而得到输入人脸的特定模型。

目前可选的通用三维模型有多种,其中有的模型比较简单,如 CANDIDE 模型,它是较早出现的,只有 100 多个顶点,而有的模型则多达几千个顶点,模型顶点数的多少对合成结果有较大影响,应视应用而定,如 CANDIDE 模型多用于基于模型的编码,或人脸跟踪等,而真实感较强的场合则采用顶点多的模型。用于人脸动画的模型,还应包括眼睛、牙齿、舌、耳朵和头发这些独立部分,或肌肉等组织层次;特征点的位置,一般选择最能代表人脸特征的位置,如眼角、嘴角等,MPEG-4 标准 FDP(face definition parameters)参数规定了各特征点的位置<sup>[6]</sup>。基于特征的模型调整方法中,特征提取方法是问题的关键,在某些场合,如模型基编码,自动提取特征方式一直是人们努力实现的目标,目前自动方式多用主动轮廓模型<sup>[1,3]</sup>和变形模板匹配<sup>[4]</sup>,但由于光照、头发等因素的影响,算法稳定性还不易保证,为此,利用交互式或半交互式的特征提取方式是一种较为现实的选择;获得特征点后,模型调整即为确定非特征点的位置,非特征点调整可采用的方法有自由变形<sup>[1]</sup>、散列数据内插<sup>[2,3,7]</sup>、弹性匹配<sup>[4]</sup>等。其

中,自由变形算法较为复杂,径向基函数内插具有良好的平滑性,但需注意保证内插平稳性。

由于输入人脸多少带有一些转动,因此特征提取时,应当估计这些偏差,对特征点进行修正。另外特征点的坐标还需进行尺度和平移变换,变换到模型坐标系中,模型调整过程可表示为

$$M' = S(\alpha R \cdot (F+T), M)$$

其中, $M, M'$  分别表示通用模型和调整后的模型, $S(f, m)$  为模型调整变换, $F$  为特征点向量, $R$  为旋转矩阵, $T$  为平移矩阵, $\alpha$  为尺度因子。图 1 所示为三维人脸的 Waters 模型。

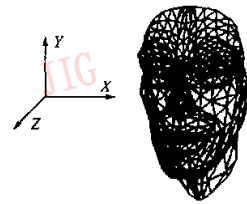


图 1 脸部网格模型

## 2 正面人脸及特征区域的定位

### 2.1 由区域增长确定人脸位置

采用区域增长法定位人脸。一般人脸图象中,脸部是居中的,因此可以从图象中央选取导航点<sup>[8]</sup>,如果碰巧遇到鼻孔等灰度值较暗的位置,则可根据增长区域的大小加以判断,如区域过小,则另选起始位置,直至区域大小较为合理为止。

由于光照、头发等因素的影响,区域增长的结果可能会出现欠分,即缺少某些部分,如额头、脸部轮廓;另外还可能会过分,既包含脖子、耳朵。对于欠分,可利用积分投影进行判断,并按照人脸的一般比例关系加以修复;对于过分,采用简单的办法,先用垂直积分投影去掉耳朵,再用人脸的平均长宽比例,限制脖子区域。

### 2.2 确定特征区域

作者采用由先验知识设计的各特征矩形窗口,在边缘图象上作模板匹配,来确定特征区域。选择边缘图象是由于边缘图象能较清晰地反映完整的特征区域。为了将嘴部和鼻子分开,可加入灰度信息作为辅助,或加入边缘增强手段。窗口模板代价函数为:窗口内均匀分布、间隔为  $n$  像素( $n$  可取 1~5)的水平垂直线其边缘值和灰度值的加权

$$S = \sum_{i,j} a_{i,j} (E_{i,j} + \alpha I_{i,j})$$

$E_{i,j}, I_{i,j}$  分别表示像素的边缘强度和灰度值,  $\alpha$  值可取 1、0,  $a_{i,j}$  为负指数衰减的加权系数。矩形模板匹配结果一般都能包含各特征区域, 至少是较大部分区

域。另外, 匹配过程还加入了一些人脸器官相互位置的约束条件, 如眼眉不可能距眼睛过远, 两眼的高度差也不可能过大, 可有效克服头发的影响。图 2 为特征区域定位与特征提取结果。

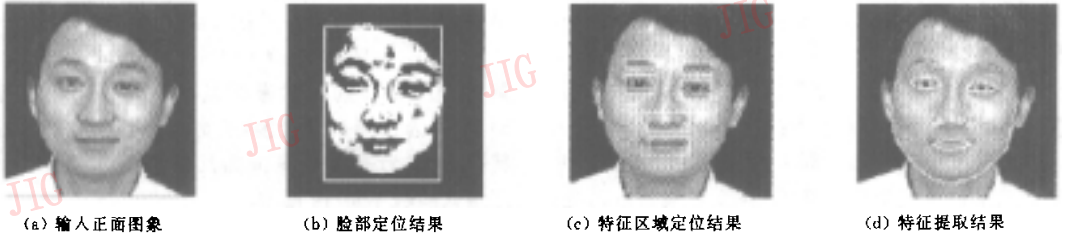


图 2 特征区域定位与特征提取

### 3 利用变形模板提取人脸特征

以确定的特征区域为变形模板的初始位置和大小, 利用变形模板确定特征点的位置。脸部特征包括眼角和眼张开高度、嘴角和嘴张开高度、鼻尖、脸部轮廓及眼眉等。

#### 3.1 眼睛和嘴部特征提取

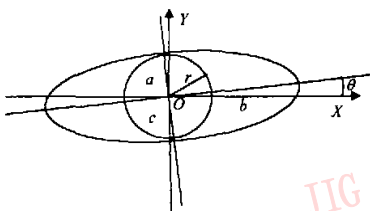
眼睛的变形模板如图 3(a) 所示, 其由两条抛物线和一个圆组成。图 3(a) 中,  $a, b, c, r, \theta$  分别对应眼睛模板上眼睑高度、1/2 宽度、下眼睑高度、黑眼球的半径和模板转动角度, 上下眼睑的坐标中心相同, 黑眼球的坐标中心为另两个参数, 眼模板共有 9 个参数。图 3(b) 为嘴部闭合的变形模板形式, 由

3 条抛物线组成, 分别对应上嘴唇边缘、中缝和下嘴唇边缘, 其中,  $a, b, c, d, \beta, O$  分别是闭合的嘴部模板上唇高度、1/2 宽度、下唇高度、中缝高度、模板转动角度和中心坐标。闭合的嘴部模板共有 7 个参数。对应于嘴部张开与闭合两种情况, 应该分别有两种形式的变形模板, 但一般嘴部是微张的, 所以目前都用闭合的模板表示, 要求嘴部张开距离小于下唇厚度。仅用灰度和边缘能量定义变形模板能量函数, 且边缘由灰度形态学算子提取, 可避免二值化阈值的设定。匹配时, 根据特征区域的定位, 确定模板参数的初始值和变换范围, 具体匹配过程从略。

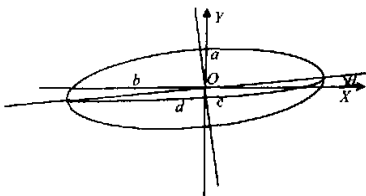
#### 3.2 确定脸部轮廓、鼻和眼眉特征

##### (1) 脸部轮廓提取

采用 4 段抛物线来提取脸部轮廓(下巴和脸部), 如图 4 所示, 其中  $A, B, C, D$  和  $E$  是抛物线的端点, 模板参数即为这 5 个点的坐标。设计新的抛物线表达式和初始位置, 即  $A$  为两眼中心和嘴部中心连线(称为中心线, 其中, 眼中心为眼仁中心), 与脸部区域边框的交点;  $B, C$  在与两眼连线平行, 过嘴部中心的直线上, 与中心线的距离为外眼角至中心线的距离, 然后向外推测, 这样可避免背景的干扰;  $D, E$  与两眼连线平行, 在其下距离  $g$  的直线上, 与



(a) 眼部张开变形模板



(b) 嘴部闭合变形模板

图 3 眼和嘴部的变形模板

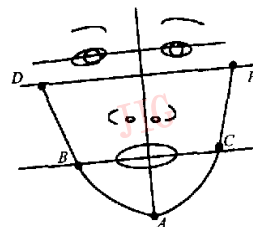


图 4 脸部完整特征模板示意图

中心线的距离是外眼角至中心线的距离,匹配时,向外推测。 $g$  可取眼睛区域到鼻子区域距离的  $1/3$ 。能量函数利用边缘、灰度值及线上的灰度一致性,并利用人脸的结构特点限定特征点的变化范围。

### (2) 鼻子特征提取

对于鼻部的特征,采用两抛物线作为左右两个鼻翅的模板,抛物线的长度和高度之比、高度由区域尺寸决定,并保持不变,可变参数仅为中心坐标,由边缘能量确定其最佳位置;用两个小圆表示两鼻孔形状,其大小由鼻翅模板的尺寸决定,并在匹配过程中保持不变,可变参数是圆心坐标,由边缘和灰度能量确定其位置。实际提取中设定适当的初始位置和位置约束,如鼻翅必须在鼻孔外边、鼻翅长度是鼻孔直径的 2 倍等,避免鼻翅和鼻孔模板相交。有些人脸显示不出鼻孔,但一定存在较深的灰度,由以上过程也可近似确定鼻孔位置。最后将两鼻翅之间中心位置作为鼻尖的位置。

### (3) 眼眉特征提取

眼眉用眼眉区域边框的 3 点 $(x_1, (y_1 + y_2)/2)$ ,

$((x_1 + x_2), y_1), (x_2, (y_1 + y_2)/2)$  连线表示,其中, $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$  分别为眼眉边框的左上角和右下角坐标(沿两眼连线偏转后的坐标)。以边框为中心,作上下移动,根据线上的灰度能量确定最佳位置。

图 2(d) 为人脸特征提取结果的一个实例。

## 4 特征点的交互提取

以上由变形模板自动提取的人脸正面特征,在图象质量较好时,可以获得较好的结果,但对于一般的输入情况,可靠性难以保证。为此又设计了便于交互操作的友好界面,由人工修正上面提取的特征点位置,并交互地从侧面图象确定特征点深度值。

选定的特征点与 MPEG-4 的定义类似,但少了耳朵等一些特征点,整个脸部一共有 60 个特征点,其中轮廓 16 个点,左右眼眉各 3 个点,左右眼各 5 个点,鼻子 10 个点,嘴部 12 个点以及脸颊、腮处各 2 个点和脖子位置 2 个点,图 5(a)、(b) 为特征点初始位置图。

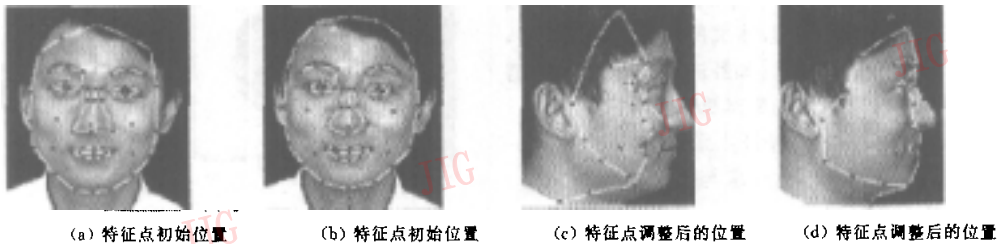


图 5 特征点交互调整过程

算法由前面的提取过程,在图象上标出特征点位置,再由操作者用鼠标拖动特征点到准确位置。得到正面的特征点位置后,算法利用通用模型的深度画出侧面的特征点图,再用手拖动,调整到准确位置,获得对应的特征点深度。正交的两幅图象中脸部大小的差异,可能造成深度尺度的缩放,这由以后的尺度变换来解决。图 5(c)、(d) 为调整好的位置。交互提取特征点的算法有以下特点:(1)以直线连接特征点,示意整体的形状;(2)将各特征点按区域分组,使它们各自的调整互不干扰,各组内的点碰撞不会使点合并,这样做的好处是,在图象较小时,比较近的两点不容易调到一起(当然也可先放大图象);(3)用另一窗口示意标准特征点在人脸模型中的位置,有利于各特征点的定位。

## 5 模型的调整

### 5.1 头部姿态的估计

模型调整中,所要调整的模型指的是标准姿态下的模型,而输入图象中,头部姿态或多或少有偏移,因此需要估计头部的姿态来加以修正。为确定人脸的姿态,可由两眼中心连线与水平线的角度判断头部沿  $z$  轴的偏转(坐标系以鼻尖为原点);另外,还可确定头部沿垂直轴( $y$  轴)的偏转,即由两眼角与轮廓边(发际)距离的不对称来判断。模型坐标原点在脑后位置,这时把头部近似为圆柱体。如有头发遮挡时,用嘴角距轮廓的不对称来估计头部姿态。对于头部沿水平轴( $x$  轴)的转动,由于没有可靠的依

据而不易估计.

沿  $z$  轴的转动角为(顺时针为正)

$$\theta_z = \arctan\left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right)$$

其中,  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$  分别为左右眼睛中心的坐标.

沿  $y$  轴的转动角为(左转为正)

$$\theta_y = (180/\pi)(\Delta d/2H)$$

其中,  $\Delta d$  为眼角到脸轮廓的不对称差,  $H$  为眼部平均深度.

## 5.2 模型整体及非特征点的调整

模型调整的原理如第1节所述. 尺度变换的方法为: 选取一可靠特征点, 其坐标与模型上对应点坐标之比选作尺度系数, 乘以特征点矢量. 实际调整中, 是首先将深度尺度与正面的数据尺度统一, 然后再变换为模型坐标. 需要对坐标系的3个分量分别作尺度变换. 旋转变换是利用上面计算的旋转角构造旋转矩阵, 乘以特征点矢量.

对于非特征点的调整, 选用稳定性较好的反向距离线性内插算法. 由逼近理论及实验可知, 特征点之间的距离是控制内插准确性的关键因素, 特别是在模型曲率变化比较大的位置. 本文所选的特征点位置, 可保持较准确的三维形状, 如若进一步提高精度, 需增加特征点个数. 4点反向距离线性内插算法为

(1) 确定模型, 获取特征点坐标;

(2) 对每一非特征点, 求与其距离最近的上、下、左、右4个特征点;

(3) 对每一非特征点, 由四点内插求其位移矢量

$$F_j = \sum_{i=1}^4 w_{i,j} d_i$$

其中,  $F_j$  是非特征点的位移矢量,  $d_i$  是最近的4个特征点的位移矢量,  $w_{i,j} = \frac{(\|x_j - x_i\|)^{-1}}{\sum_{i=1}^4 (\|x_j - x_i\|)^{-1}}$ ,  $j$  为

非特征点序号,  $i$  为特征点序号;

(4) 计算各非特征点的三维坐标.

至此获得了经过调整后的输入人脸模型. 图6是一个模型调整实例, 后两幅为调整后的模型.



图6 特定模型调整结果

## 6 实验结果

采用以上算法, 在 PC P II 450 上, 用 VC++ 编写程序. 通用模型是 Waters 对称模型, 共有 513 个顶点, 904 个三角形. 程序界面有两个窗口(如图7所示), 左边为特征提取窗口, 右边为模型调整及图象合成窗口.

提取时, 首先输入正面图象, 定位特征点图, 交互确定特征点准确位置; 再输入侧面图象, 定位侧面特征点图位置, 交互调整深度位置; 最后进行内插调整. 调整好三维模型后, 程序进行光滑及纹理映射操作. 纹理的大小由包含轮廓特征点的最小矩形决定, 并且沿  $z$  轴作旋转变换, 变换为标准姿态下的纹理. 图7(a)左窗口为输入正面人像, 右窗口为调整后模型经正面纹理映射的结果; 图7(b)左窗口为输入的侧面人像, 右窗口为经纹理映射的模型旋转  $90^\circ$  的结果.

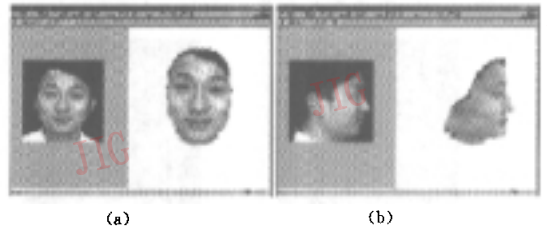


图7 模型调整程序界面

由实验可以看出, 本算法简便实用, 调整时间一般为  $1 \sim 2$  min. 由于本文只利用了正面纹理, 所以纹理映射后, 模型侧面的纹理被拉伸了. 如想得到较真实的侧面纹理, 应合成全视角纹理图, 或对不同视角时的模型, 用相对应的纹理映射.

## 7 结束语

简便实用的三维人脸调整算法, 输入为正交的人脸图象. 算法结合自动特征提取和交互修正手段确定特征点, 之后利用反向距离内插调整非特征点, 建立输入人脸三维模型. 对一些实拍图象所做的实验表明, 重建效果较为满意. 与其他方法相比, 该方法具有简便快速、可靠实用等特点. 在得到人脸三维模型后, 可将之应用于表情的合成与跟踪、头部运动的跟踪、压缩编码等一系列基于模型的技术中. 该算

法需要改进之处有:选用完整的模型,产生更真实的合成模型;放宽对输入图象的限制,如输入为非正交的多视角图象,利用立体视觉原理确定深度信息等。

### 参 考 文 献

- 1 Lee W S, Thalmann N M. Fast head modeling for animation[J]. Image and Vision Computing, 2000,18(4):355~364.
- 2 Pighin F. Modeling and animating realistic faces from images [D]. Washaington,University of Washington, USA,1999.
- 3 梅丽.基于图象的人脸重建及视频驱动的表情动画[D].杭州:浙江大学,2001.
- 4 Reinders M T. Model adaptation for image coding [D]. Netherlands, Delft,University of Technology, 1995.
- 5 Kampmann M, Farhoud R. Precise face model adaptation for semantic coding of videophone sequences[A]. In:Picture Coding Symposium(PCS'97)[C], Berlin, Germany,1997.
- 6 Fabio Lavagetto, Roberto Pockaj. The facial animation engine: Toward a high level interface for the design of MPEG-4 compliant animated faces[J]. IEEE Trans. CSVT, 1999,9(2): 277~289.

- 7 Ip H S, Yin L J. Instantiation of human head model and arbitrary views generations based on two views[J]. The Visual Computer, 1996,12(5):254~266.
- 8 LIN Chun-hung, WU Ja-ling. Automatic facial extraction by genetic algorithms [J]. IEEE Trans. On Image Processing, 1999,8(6):834~845.



李梦东 北方交通大学信息所博士研究生。研究方向为图象处理和计算机视觉。已发表论文 10 余篇。

阮秋琦 教授,博士生导师,北方交通大学计算机与信息技术学院院长。研究方向为图象处理、计算机视觉、计算机图形学和虚拟现实等。

## Adobe 推出 Photoshop 7.0

Adobe 推出最新版本的图象编辑软件 Photoshop 7.0。据 Adobe 介绍,Photoshop 7.0 增加了一系列新工具,以便于用户更加方便地编辑、管理数字图片。例如,新增了“修复刷”工具,可以显示所要修复图片每一部分的详细信息,以便于用户修改。另外,“文件浏览器”以极小的图象来显示文件夹内所有图片的详细信息,使用户以最快的速度找到所需图片,随着硬盘中数字图片的日益增多,“文件浏览器”可提高工作效率。

Photoshop 7.0 还包括如下新增功能:绘画引擎升级,它可模仿多种绘画效果,如蜡笔画或水彩画,用户可以规定其属性;修复工具可自动修复图片的划伤或其他缺陷;支持 XMP,可显示图象属性信息;集成 AlterCast,AlterCast 是最新的网络图片管理程序,增加了 ImageReady 工具。

图形处理是苹果公司最为关注的市场,Photoshop 7.0 能支持 Mac OS X 对于 Adobe 和苹果两家公司均十分重要。

Photoshop 7.0 的推出不会对用户升级到 Mac OS X 起到太大的作用,但至少可以增强用户对 Mac OS X 发展前景的信心。