

基于单张人脸图片和一般模型的三维重建方法

涂 意, 赵群飞, 卢芳芳

(上海交通大学 图像处理与模式识别研究所, 上海 200240)

摘 要: 提出一种使用单幅人脸照片进行特征提取、标准模型变形的全自动三维人脸重建方法。使用改进 ASM 方法自动精确提取人脸特征点, 通过使稀疏形变模型匹配平面特征点来获取照片人脸的深度信息, 再将一般人脸模型变形到特定人脸。基于肤色模型优化的 ASM 提取人脸特征, 使得一定角度的侧面照片也可以有很好的重建效果。同时, 使用基于肤色模型的纹理融合技术使侧面信息缺失的问题得到很好解决。实验证明, 该方法快速简便, 只用单幅照片全自动化完成重建, 无须用户交互, 生成的三维模型有较好的真实感。

关键词: 三维重建; 形变模型; 一般模型; 纹理映射; 肤色模型

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2009)10-3998-03

doi 10.3969/j.issn.1001-3695.2009.10.116

3D face reconstruction based on generic model and single image

TU Yi ZHAO Qun-fei LU Fang-fang

(Institute of Image Processing & Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240 China)

Abstract This paper proposed an automatic 3D face reconstruction approach based on a single image for feature extraction and standard model deformation. Firstly, the improved ASM method could automatically get the 2D face feature points and the fitting sparse morphable model could get depth information of the given image. Then deformed a generic model to particular face model. By using ASM facial feature extraction based on color model was very good to resolve the problem of side face information missing. The approach had the merit of using only one image and one generic model which not only avoided onerous preprocessing procedure, but also reduced the computing cost of memory and time. The quality of side face texture was also improved, which strengthened the reality of the synthesized model. Experiments show that this approach is fast and efficient, the result is realistic and can be well used in practice.

Keywords 3D reconstruction; morphable model; generic model; texture mapping; skin model

0 引言

人脸是情感表达和身份识别的重要部分, 随着计算机图形学的发展, 针对特定人脸的三维重建开始在许多领域被广泛应用。由于人脸的复杂性和易变性, 其三维重建也是一项困难的课题, 许多研究者对此进行过深入研究。

基于一般模型的变形和三维人脸库的形变模型的对单张照片的人脸重构的方法近年来发展迅速。Blaiz等人^[1]提出了基于三维人脸库的形变模型方法: 使用激光扫描仪获得三维原型人脸并建立形变模型, 包括形状和纹理两个线性组合模型, 优化组合系数使其可准确匹配给定的人脸照片, 再合成对应的形状模型和纹理模型。该方法自动化程度高, 且真实感较好, 不过其优化计算过于复杂, 速度较慢。Jiang等人^[2]对形变模型方法作了改进: 计算模型组合系数时, 使用人脸特征点代替稠密人脸模型, 大大降低了优化难度和计算量, 并使用纹理映射取代纹理模型简化了建模过程。

Chen等人^[3]对 Jiang 等人的方法进行改进, 利用稀疏的形变模型获取特征点深度信息, 再使用一般人脸模型变形得到特定三维人脸。其既可以利用先验统计知识提取单幅照片深度

信息, 又避免了复杂的稠密对应计算, 大大简化了建模难度。尽管 Jiang 等人的方法和 Chen 等人的方法只需要输入一张正面照片, 但是使用纹理映射构建纹理受特征点提取准确度影响很大。由于用户所给的照片很少是严格正面的, 大部分情况下会有一定侧面角度, 如 $[-10^\circ, +10^\circ]$, 用 Chen 等人的方法来自动化完成人脸重建, 非严格正面地输入照片会使最后重建结果产生侧面纹理缺失, 达不到预期效果, 或者需要手动选取特征点才能保证三维重建的理想效果, 不能做到完全自动化的人脸重构。

针对上述问题, 本文在 Chen 等人的方法基础上提出改进的方法: 基于肤色模型的改进特征点, 可以准确提取有一定倾斜角度的侧面照片的特征点, 解决了特征提取准确度引起的侧面纹理缺失的问题, 使自动化三维人脸重建过程对照片姿势更具鲁棒性。图 1 为三维人脸重建方法的流程。

1 基于单张照片的三维人脸重建步骤

参考文献[3]的方法, 选用“BJUT-3D Face Database”中国三维人脸库, 经重采样、平滑及坐标校正等预处理, 选择 100 个男性和 100 个女性每人约 60 000 个点和 120 000 个三角片

收稿日期: 2008-10-30 修回日期: 2008-12-29

作者简介: 涂意 (1982-), 男, 湖北黄石人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、三维人脸重建 (tenil982@gmail.com); 赵群飞 (1960-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为机器视觉与基于图像的测控系统理论和方法、两足步行机器人、医疗服务等特种机器人的智能控制理论与设计; 卢芳芳 (1981-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为图像处理、图像质量评估、模式识别。

的数据作为稠密人脸样本集。然后通过手工交互选取每人 60 个三维特征点, 作为稀疏对应的样本集, 并使用这 200 人的平均模型作为一般模型。



图1 三维人脸重建流程图

重建分以下四个步骤:

- a) 由 ASM 模板检测人脸特征点。采用改进的 ASM 算法^[4]自动提取其 60 个特征点。
- b) 利用稀疏的形变模型获取特征点深度信息。利用先验三维人脸统计知识, 将三维特征点样本集通过平面投影和线性组合来最优逼近照片的二维特征点, 从而获得照片特征点对应的三维坐标。
- c) 根据三维特征点的位移将一般人脸模型变形得到特定三维人脸。选择薄板样条插值算法 (TPS)^[5]将原始模型弹性变形为特定人脸模型。
- d) 通过纹理映射重建模型的颜色信息。将照片纹理作仿射变换后正交投影到三维模型表面。

2 使用基于肤色模型的特征点校正对重建过程的改进

存在一定侧面角度 $[-10^{\circ}, +10^{\circ}]$ 的输入照片的重建结果产生侧面纹理缺失的原因是模型重建过程中所需的二维特征点需要对称, 而纹理映射时所需的特征点必须是准确的 (有侧面角度是不对称), 所以用对称的二维特征点来作纹理映射会将脸部以外空白区域映射到模型上, 形成侧面纹理缺失。

为了解决这个问题, 本文的方法作出如下改进: 模型重建过程使用 ASM 检测的二维特征点, 而纹理映射使用的特征点需要经过基于肤色模型的校正, 使全部特征点落在脸部区域以内, 从而避免纹理映射时侧面纹理的缺失。

1) 肤色点判定 以 YUV 和 YIQ 空间为基础并加入 Gamma 矫正减少光照对图像质量影响的方法^[3]来进行肤色信息的检测。

在 YUV 空间中, U 和 V 是平面上两个相互正交的矢量, 色度信号 (即 U 与 V 之和) 是一个二维矢量, 称之为色度信号矢量, 并且每一种颜色对应一个色度信号矢量, 它的饱和度由模值 Ch 表示, 色调由相位角 θ 表示:

$$CH = \sqrt{U^2 + V^2} \tag{1}$$

$$\theta = \tan^{-1} (U / V) \tag{2}$$

把彩色图像的像素 p 由 RGB 空间变换到 YUV 空间, 如果满足条件 $\theta_p \in [105, 150]$, 则 p 是肤色点。

在 YQ 空间中, I 分量代表从桔黄到蓝绿的色调, I 值越小, 包含的黄色越多, 蓝绿色越少。通过实验和统计分析可确定肤色在 YQ 空间内的 I 值在 $[20, 90]$ 变化。肤色色调分布如

图 2 所示。肤色在 YIQ 空间中 I 的分布处图 3 所示。

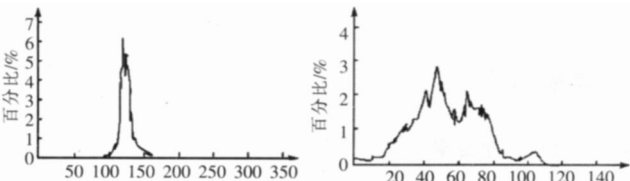


图2 肤色色调分布

图3 肤色在 YIQ 空间中 I 的分布

分别对 R, G, B 三个分量作 Gamma 矫正, 校正后的值分别记为 $R_{gamma}, G_{gamma}, B_{gamma}$

$$U = -0.147 \times R_{gamma} - 0.289 \times G_{gamma} + 0.436 \times B_{gamma} \tag{3}$$

$$V = 0.615 \times R_{gamma} - 0.515 \times G_{gamma} - 0.100 \times B_{gamma} \tag{4}$$

$$\theta = \tan^{-1} (U / V) \tag{5}$$

$$I = 0.596 \times R_{gamma} - 0.274 \times G_{gamma} - 0.322 \times B_{gamma} \tag{6}$$

根据求得的 θ 和 I 值, 判断图中的肤色点。若满足

$$\begin{cases} \theta \in [105, 150] \\ I \in [20, 90] \end{cases} \tag{7}$$

则判定该像素点为肤色点。

2) 校正特征点 由于 ASM 模板采用对称模板, 对于不完全正面的人脸特征提取会出现一边侧面特征点的出界, 进而对后面的纹理重建造成侧面信息缺失。

对侧面特征点进行肤色点判定, 若不是肤色点, 则落在脸部以外, 将该点向脸中心缩进, 直到所有侧面特征点都成为肤色点。

从图 4 可以看出, 经过校正, 脸部轮廓特征点都落到了脸部区域内 (肤色区域)。

3) 使用校正后特征点进行纹理映射 由于模型重建必须使用对称的特征点, 仍然使用校正前的二维特征点来计算三维特征点, 最后得到模型。贴图时使用校正后的特征点来映射三维特征点, 这样有效地避免了侧面的纹理缺失。

在非严格正面的照片 (存在一定侧面角度 $[-10^{\circ}, +10^{\circ}]$) 实验结果中, 本文方法与 Chen 等人^[3]的方法相比, 侧面纹理有明显优势。在前面图 4 中本文方法对特征点修正后, 模型重建对比结果如图 5 所示。



图4 特征点校正前后分布对比

图5 两种方法重建结果对比

使用 40 幅 640×480 的真人照片 (侧面角度 $[-10^{\circ}, +10^{\circ}]$) 测试算法结果。与文献^[3]的方法实验结果对比如表 1 所示。

表 1 Chen 等人方法与本文方法实验结果比较

比较项	Chen 等人的方法	改进后方法
存在左侧纹理缺失 个	10	2
存在右侧纹理缺失 个	3	1
正确重建 个	26	36
重建失败 个	1	1
正确率 (无纹理缺失, 正确重建)	65%	90%

实验结果表明, 经过改进, 侧面纹理的缺失问题得到了有

效解决, 本文方法使正面照片的角度允许范围增加到 $[-10^{\circ}, +10^{\circ}]$ 。

3 实验结果

3.1 模型重建结果

由该模型所生成的不同姿态、光照和表情的三维人脸模型也有较好的真实感。图 1 中输入照片重建模型的各种姿态图像如图 6 所示。



图 6 生成模型结果

3.2 模型应用

为合成丰富的人脸表情, 基于面部运动编码系统 (facial action coding system, FACS) 设立 44 个基本动作单元 (action unit AU), 每个 AU 可以控制一个或几个人脸特征点在三维空间的位移。将不同的 AU 组合, 可产生喜怒哀乐等各种表情。使用 TPS 对三维特征点进行插值变形, 实现表情变化, 如图 7 所示。



图 7 模型表情

3.3 实验结果比较

使用 100 幅 640×480 的真人照片测试算法的三维重建速度, 在 Intel Xeon 1.86 GHz WorkStation 上平均耗时为 1.8 s。本文方法与 Blanz 和 Jiang 方法比较如表 2 所示。

表 2 三维人脸重建方法比较

比较项	Blanz 的方法	Jiang 的方法	本文方法
输入	任意角度照片	单幅正面照片	单幅正面照片
深度信息获取	稠密形变模型	稠密形变模型	稀疏形变模型
形状建模	稠密模型组合	稠密模型组合	一般模型变形
纹理合成	纹理模型组合	纹理映射	纹理映射
自动化程度	需手动初始化	全自动	全自动
计算所需存储量	全部稠密模型 4.5 min	全部稠密模型 少于 5 s	一个稠密模型 1.8 s
计算所需时间	(P4-2GHz Work Station)	P4-1.3GHz CPU	P4-2.4GHz CPU

4 结束语

本文在 Chen 等人方法基础上提出对单幅正面照片 (存在一定侧面角度 $[-10^{\circ}, +10^{\circ}]$) 进行自动三维人脸重建的方法, 利用形变模型的先验统计知识来获取深度信息, 再变形一般人脸模型。只需一张正面照片, 允许一定侧面角度 $[-10^{\circ}, +10^{\circ}]$, 降低了对输入照片的要求, 提高了建模的鲁棒性。实验证明, 此方法可对一般人脸照片进行快速自动的真实感三维重建, 有较好的实用价值, 可用于人脸识别、动画制作等领域。

参考文献:

[1] BLANZ V, VETTER T. A morphable model for the synthesis of 3D faces[C] //Proc of SIGGRAPH. 1999 187-194

[2] JIANG Da-long HU Yu-xiao YAN Shu-cheng *et al*. Efficient 3D reconstruction for face recognition[J]. *Pattern Recognition*, 2005, 38 (6): 787-798.

[3] CHEN Lu YANG Jie. Automatic 3D face model reconstruction using one image[C] // Proc of IWCPAS Lecture Notes in Computer Science(LNCS), [S. l.]: Springer, 2006 235-243

[4] DU Chunhua YANG Jie WU Qiang *et al*. Extended fitting methods of active shape model for the location of facial feature points[C] // Proc of CVGIP. 2006 610-618

[5] BOOKSTEIN F L. Principle warps, thin plate splines and the decomposition of deformation[J]. *IEEE Trans on PAMI* 1989 11(6): 567-585.

[6] PARKE F I. A parametric model of human faces[D]. Salt Lake City: University of Utah, 1974

[7] PLATT S BADLER N. Animating facial expression[J]. *Computer Graphics* 1981 15(3): 245-252

[8] AKMOTO T, SUENAGA Y, WALLACE R S. Automatic creation of 3D facial models[J]. *IEEE Computer Graphics & Applications* 1993 13(4): 16-22

[9] PUGH N F, AUSLANDER J L, SCHINSKY D, *et al*. Realistic facial animation using image based 3D morphing. Technical Report TR-97-01-03[R]. Washington DC: Computer Science Department University of Washington, 1997

[10] VETTER T, JONES M J, POGGIO T. A bootstrapping algorithm for learning linear models of object classes[C] //Proc of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 1997: 40-47

[11] 胡永利, 尹宝才, 谷春亮, 等. 基于形变模型的三维人脸重建方法及其改进[J]. *计算机学报*, 2005 28(10): 1671-1679.

[12] 赵怀勋, 郑敏. 一种自适应光照的肤色识别算法[J]. *微电子学与计算机*, 2007, 24(3): 158-160.

[11] PFISTER H, HARDENBERGH J, KNITTEL J *et al*. The VolumentPro real time ray-casting system[C] // Proc of SIGGRAPH '99. Washington DC: IEEE Computer Society, 1999: 251-260.

[12] 周良辰, 陈锁忠, 朱莹. 地质结构三维建模及其可视化方法研究[J]. *计算机应用研究*, 2007, 24(6): 150-151, 164.

[13] 张建勋, 刘全利, 陈庄. 基于可编程 GPU 的快速体绘制技术[J]. *重庆大学学报: 自然科学版*, 2005, 28(7): 67-70

[14] CSEBFALVI B, KALOS L S. Monte Carlo volume rendering[C] // Proc of IEEE Visualization' 2003. Washington DC: IEEE Computer Society, 2003 449-456

(上接第 3974 页)

[7] MALZBENDER T. Fourier volume rendering [J]. *ACM Trans on Graphics* 1993 12(3): 233-250.

[8] 张尤赛, 陈福民. 基于小波的网络多分辨率体绘制[J]. *中国图象图形学报*, 2004, 9(1): 69-73

[9] WESTERMANN R, ERTL T. Efficiently using graphics hardware in volume rendering applications[C] // Proc of SIGGRAPH '98. Washington DC: IEEE Computer Society 1998 169-176

[10] GUTHIE S, WAND M, GONSER J *et al*. Interactive rendering of large volume data sets [J]. *Proceedings of IEEE Visualization*, 2002, 23(3): 45-52