

基于三维重建的人脸姿态估计

熊黎丽¹, 王国胤^{1,2}, 龚 勋^{1,2}

(1. 重庆邮电大学 计算机科学与技术研究所, 重庆 400065; 2. 西南交通大学 信息科学与技术学院, 四川 成都 610031)

摘 要:人脸姿态估计是计算机视觉及人脸识别领域的一项关键研究内容。将三维模型应用于估计人脸图像姿态参数,提出了基于三维重建的人脸姿态估计算法。根据人脸正面图片上的特征点计算出形状参数,实现三维人脸重建。基于三维人脸模型,由姿态图片上提取的特征点信息推知等姿态下模型上对应特征点的信息,针对照模型正面姿态,运用线性回归估计姿态参数。实验表明,重建的三维人脸具有较好的真实感,在较大的姿态变化范围内,该方法也能够取得较好的估计精确并具有鲁棒性。

关键词:人脸建模;线性对象类;稀疏变形模型;姿态估计;线性回归

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-825X(2010)03-0375-06

Face pose estimation based on 3D face reconstruction

XIONG Li-li¹, WANG Guo-yin^{1,2}, GONG Xun^{1,2}

(1. Institute of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, P. R. China;

2. School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P. R. China)

Abstract: Face pose estimation is a key research topic in the fields of computer vision and face recognition. Applying the 3D face model to estimate the pose of a 2D image, an approach based on 3D face reconstruction was proposed. Firstly, the shape parameter was calculated based on the feature points of a frontal face image, thus realizing the 3D face reconstruction. Then, based on face model, the information of feature points in the 3D model was deduced by the corresponding points in the input image. And by contrast with the 3D model of frontal pose, the liner regression was used to estimate the face pose. Experiments show that the reconstructed 3D model is realistic, and the estimation method achieves better accuracy and robustness in a wide range of head motion.

Key words: face modeling; linear class; sparse deformation model; pose estimation; linear regression

0 引 言

通过计算机生成具有真实感的三维人脸是近年来计算机图形学、计算机视觉等领域最具挑战性的课题。人脸姿态估计作为人脸识别领域的一个基本问题,在智能人机交互、自动视频监控等方面有着广泛的应用^[1,2]。由于简单的几何模型或结构不能准确地描述人脸的真实形状特征,因此我们利用三维模型提供的丰富几何信息,用以估计人脸姿态图像

的姿态参数。

从 20 世纪 70 年代至今,众多研究者先后提出了不同的人脸建模方法。利用三维扫描仪获取三维形状数据和纹理信息最为直接,通常具有较高的精度,但是由于硬件设备造价高而且不够灵活,一般只适用于某些特殊场合。目前的研究热点主要集中于根据图像或者视频中的信息进行个性建模。Vetter^[3]等人提出的 3D 形变模型以三维人脸库作为先验知识,利用线性对象类的概念,成功地实现了基于一张图像的三维人脸自动建模。但该模型迭代次数多、运算时间长,且对初值依赖性强,往往会因为局部最优解而导致建模失败。基于上述人脸近似属于线性对象类的概念,我们利用标准化的三维人脸库,通过建立人脸类的线性形状统计模型,仅需人脸图片上少量的特征点即可计算出形状参数,达到从单张照片重建出完整人脸模型的目标,以满足实际应

收稿日期:2009-03-03 修订日期:2010-03-11

基金项目:重庆市杰出青年科学基金(2008BA2041);重庆市计算机网络与通信重点实验室开放基金

Foundation Items: The chongqing Science Foundation for Distinguished young scholars (2008BA2041); The Open Foundation of Chongqing for the Key Lab of Computer Network and Telecommunication

用中对建模速度、精度的需求。

对于重建出的三维人脸模型,我们进而结合线性回归的思想来解决人脸姿态估计问题。目前国内外的脸姿态估计方法大体分为基于人脸特征的方法和基于模型的方法。基于特征的方法^[4-5]认为人脸三维姿态和人脸图像的某些特征(灰度、图像梯度等)之间存在特定对应关系,对输入图像和姿态样本进行匹配得出姿态结果。在样本不充足、特征定义不充分的情况下,这类方法难以获得满意的结果。基于模型方法的一般采用某种几何结构或模型近似人脸,基于二/三维特征对应求解姿态参数。梁国远等人^[6]近似地将人脸看成是平面,根据圆-椭圆之间的仿射关系计算人脸姿态,其估计角度的范围有限。Lopez, Shimizu, Yang 等人^[7-9]通过基于三维模型的姿态估计方法能够较有效地估计出姿态参数,但计算开销较大,难以应用于实时计算。基于以上分析,我们通过利用三维模型提供的丰富几何信息,在二维图像与三维模型间建立起对应关系,提出了基于三维模型和线性回归原理的人脸姿态估计方法,并利用面部特征点构成的几何结构判定姿态偏转的方向。图1为本文算法的总体框架图。

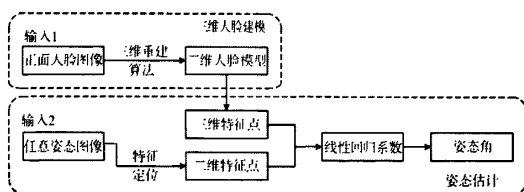


图1 算法总体框架图

Fig.1 Framework of the algorithm

1 基于单幅图片的三维人脸建模

建立标准化的三维人脸数据库是建立人脸统计模型、人脸建模的基础性工作。我们以 BJUT 三维人脸数据库中的人脸数据为先验知识建立人脸统计模型,采用基于平面模板的重采样算法对人脸库中全部 500 个人脸(男、女各 250 个)进行标准化处理^[10],使其具有相同的拓扑结构,每个人脸均由 57 657 个顶点和 14 357 个三角片组成。三维人脸上一个顶点即可表示为形状向量 $\mathbf{v} = (x, y, z)^T$ 和纹理向量 $\mathbf{t} = (r, g, b)^T$,人脸库中的每一个人脸可以由形状矩阵 $\mathbf{S} = (\mathbf{v}_1^T, \mathbf{v}_2^T, \dots, \mathbf{v}_n^T)^T$ 和纹理矩阵 $\mathbf{T} = (\mathbf{t}_1^T, \mathbf{t}_2^T, \dots, \mathbf{t}_n^T)^T$ 表示, n 为顶点数。

1.1 人脸线性形状统计模型

对于已经建立了稠密对应的人脸库中任意人脸

形状 $\mathbf{s}_i (i = 1, \dots, m)$ 可以统一用向量表示为

$$\mathbf{s}_i = (x_1, y_1, z_1, \dots, x_k, y_k, z_k, \dots, x_n, y_n, z_n)^T \in \mathbb{R}^{3n} \quad (1)$$

(1)式中: (x_k, y_k, z_k) 是第 k 个顶点 \mathbf{v}_k 的坐标值; n 是顶点数目。把人脸当成一个线性类, m 个人脸形状是一个线性子空间,可以用矩阵 $\mathbf{S} = (\mathbf{s}_1, \dots, \mathbf{s}_m) \in \mathbb{R}^{3n \times m}$ 表示。对于任意一个新的人脸形状 \mathbf{s}_{new} 都可由(2)式表示。

$$\mathbf{s}_{\text{new}} = \mathbf{S} \cdot \boldsymbol{\alpha} \quad (2)$$

(2)式中, $\boldsymbol{\alpha} = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_m)^T$ 且 $a_i \in [0, 1]$, $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ 。

为了消除原始人脸数据之间的相关性并降低数据量,用主成分分析对原始数据进行变换,取前 m' ($\leq m-1$) 个最大特征值 $\sigma = (\sigma_1^2, \dots, \sigma_{m'}^2)$ (其中 $\sigma_1^2 \geq \dots \geq \sigma_{m'}^2$) 所对应的特征向量(主成分)构成形状特征矩阵 $\mathbf{Q} = (\mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_{m'})$, 则(2)式可以改写为

$$\mathbf{s}_{\text{new}} = \bar{\mathbf{s}} + \mathbf{Q} \cdot \boldsymbol{\beta} = \bar{\mathbf{s}} + \Delta \mathbf{s} \quad (3)$$

(3)式中: $\bar{\mathbf{s}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \mathbf{s}_i$; $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{m'})^T \in \mathbb{R}^{m'}$ 。同时,PCA 给出了组合系数 $\boldsymbol{\beta}$ 的统计特征,即 β_i 服从方差为 1 均值为 0 的高斯分布, $p(\boldsymbol{\beta}) \sim e^{-\frac{1}{2} \|\boldsymbol{\beta}\|^2}$ 。由此可见,系数 $\boldsymbol{\beta}$ 是计算 $\Delta \mathbf{s}$ 的关键。

1.2 基于单幅图片的三维人脸建模

从(3)式可看出,对中性人脸进行大小为 $\Delta \mathbf{s}$ 的变形即可生成特定人脸形状。本文中,我们选取人脸关键特征区域的 9 个特征点进行标定,即眉峰、瞳孔、鼻尖点,以及嘴角和上、下唇的峰点。基于特征点的人脸形状重建可以描述为根据已知特定人脸上的 k 个特征点的形变量 $\Delta \mathbf{s}^f$ 来计算全局形变量 $\Delta \mathbf{s}$ 。根据(3)式,基于特征点的稀疏线性模型可以表示为 $\mathbf{S}_{\text{new}}^f = \bar{\mathbf{S}}^f + \Delta \mathbf{S}^f$ 。其中, $\bar{\mathbf{S}}^f = (\mathbf{s}_1^T, \dots, \mathbf{s}_j^T, \dots, \mathbf{s}_k^T)^T \in \mathbb{R}^{3k}$, \mathbf{s}_j^T 是三维人脸上的顶点。 $\Delta \mathbf{S}^f = \mathbf{Q}^f \cdot \boldsymbol{\beta}$, 则

$$\boldsymbol{\beta} = ((\mathbf{Q}^f)^T \cdot \mathbf{Q}^f)^{-1} \cdot (\mathbf{Q}^f)^T \cdot \Delta \mathbf{S}^f \quad (4)$$

(4)式中: $\mathbf{Q}^f \in \mathbb{R}^{3k \times m}$ 是 \mathbf{Q} 上特征点的子集; $((\mathbf{Q}^f)^T \cdot \mathbf{Q}^f)^{-1} \cdot (\mathbf{Q}^f)^T$ 是矩阵 \mathbf{Q}^f 的伪逆转置矩阵; $\Delta \mathbf{S}^f$ 是二维人脸图片和三维中性人脸模型上对应特征点 \mathbf{p}_i , \mathbf{v}_i 之间的差异。为了能够将二者进行比较,我们舍去 $\mathbf{v}_i \in \mathbb{R}^3$ 的第三维坐标,将其转化到二维空间,记为 $\mathbf{v}_{2D,i} \in \mathbb{R}^2$ 。同时,将 $\mathbf{Q}^f \in \mathbb{R}^{3k \times m}$ 转化为 $\mathbf{Q}_{2D}^f \in \mathbb{R}^{2k \times m}$ 。在二维空间中, $\boldsymbol{\beta}$ 可表示为

$$\beta = ((Q_{2D}^f)^T \cdot Q_{2D}^f)^{-1} \cdot (Q_{2D}^f)^T \cdot \Delta S_{2D}^f \quad (5)$$

(5)式中, ΔS_{2D}^f 是二维空间下的 ΔS^f 坐标形式。

由此,三维特征点 $v_{2D,i} (1 \leq i \leq k)$ 组成向量 $F_M^f = (v_{2D,1}^T, \dots, v_{2D,i}^T, \dots, v_{2D,k}^T)^T \in \mathbb{R}^{2k}$, 同样,二维特征点 $p_{l,i} = (u_i, v_i)^T$ 组成向量 $F_l^f = (p_{l,1}^T, \dots, p_{l,j}^T, \dots, p_{l,k}^T)^T \in \mathbb{R}^{2k}$ 。设鼻尖为坐标原点, $v_{2D,ns}^T, p_{l,ns}^T$ 分别是三维模型和二维图像上的鼻尖点坐标,即:

$$F_M^f = F_M - v_{2D,ns}^T, F_l^f = F_l - p_{l,ns}^T$$

由此可以得

$$F_M^f = c \cdot F_l^f + \Delta S_{2D}^f \quad (6)$$

(6)式中, c 为比例系数。

综上所述,本文人脸建模算法步骤总结如下:

- 1) 以鼻尖为坐标原点,初始化 F_M^f 和 F_l^f ;
- 2) 求出比例系数 $c, c = \frac{(F_l^f, F_M^f)}{(F_l^f, F_l^f)}$;
- 3) 根据(6)式,计算 $\Delta S_{2D}^f = c \cdot F_l^f - F_M^f$;
- 4) 由(5)式得出系数 $\beta = ((Q_{2D}^f)^T \cdot Q_{2D}^f)^{-1} \cdot (Q_{2D}^f)^T \cdot \Delta S_{2D}^f$;
- 5) 由此根据(3)式最终得出 ΔS 。

由于基于特征点的人脸形状重建是根据已知特定人脸上的 k 个特征点的形变量 Δs^f 来计算全局形变量 Δs , 难免会出现特征点的过拟合现象,即对于特征区域的重建效果比较理想,而对于非特征区域,重建的三维模型会产生毛刺等,对此我们利用径向基函数对重建模型进行平滑,从而取得更真实的重建效果^[11]。

在对人脸的形状建模完成之后,进行纹理映射、合成纹理图像可以弥补几何模型建模的不足,提高人脸的真实感。如果直接将一张正面人脸照片正面投影到三维模型上,脸颊等边缘部分的许多顶点将不能被覆盖。故此,我们根据人脸9个主要特征点对人脸进行分割^[11],然后将非特征区域进行扩张,增加人脸图像的覆盖范围,创建三维人脸的纹理图,经纹理映射后生成了最终的具有真实感的人脸模型。

2 基于线性回归的人脸姿态估计

给定任意姿态的人脸图片,我们选取特征明显、易于标定的 $k (k = 7)$, 两眼的内外眼角、鼻下点及左右嘴角)个特征点,通过对二维姿态图片和正面姿态下的人脸三维模型进行特征点的标定后,分别得到特征点坐标 $p_i(x_i, y_i)$ 及 $q_i(x_i, y_i, z_i)$, 其中, $i = 1, \dots, 7$ 。

三维坐标系下人脸的旋转可分解为绕3个坐标轴的旋转。假设将人脸三维模型绕 x, y, z 轴分别旋转 α, β, γ 角度后与姿态图片中姿态相同,则人脸模型经姿态偏转后,面部特征点的坐标由 $q_i(x_i, y_i, z_i)$ 变换到 $q'_i(x'_i, y'_i, z'_i)$, 即:

$$q'_i(x'_i, y'_i, z'_i) = R(\gamma)R(\beta)R(\alpha)q_i(x_i, y_i, z_i) \quad (7)$$

(7)式中: $q_i(x_i, y_i, z_i)$ 为原始坐标; $R(\alpha), R(\beta), R(\gamma)$ 为对应的旋转矩阵。将 $q'_i(x'_i, y'_i, z'_i)$ 正平行投影到二维平面后即 $p_i(x_i, y_i)$ 。详见3.2.1部分。

2.1 坐标恢复

人脸三维模型绕坐标轴偏转后正平行投影到二维平面形成二维图像,投影导致三维模型面部特征点在 z 方向的坐标信息丢失。

根据三维到二维的投影关系,对二/三维坐标系进行坐标平移变换及比例对应,求取平移变换矩阵 t_1, t_2 以及人脸三维模型与二维姿态图像间的投影比例系数 s 。首先,规定二维姿态图像坐标系 $ouvw$ 和人脸三维模型坐标系 $oxyz$ 均以鼻下点为坐标原点,可分别获得两坐标系下7个面部特征点的平移变换矩阵 t_1, t_2 。同时,对照人脸三维模型和姿态图像,结合人类学中关于人脸的经验知识(如双眼近似相等),求取二者之间的投影比例系数 s 。确定 t_1, t_2 以及 s 后, $q'_i(x'_i, y'_i, z'_i)$ 中的 x'_i, y'_i 坐标即可根据其投影图像上的特征点坐标 $p_i(x_i, y_i)$ 反推得知,但对 $q'_i(x'_i, y'_i, z'_i)$ 中的 z'_i 坐标是无法恢复的。

2.2 确定线性回归系数

将(7)式展开后,由于 z'_i 不可恢复,舍去与 z'_i 相关的坐标变换信息,同时将 x_i, y_i, z_i 视为自变量, x'_i, y'_i 为因变量,则(8)式满足多元线性回归模型。

$$\begin{cases} y_j = \sum_{i=1}^6 a_i x_i + \varepsilon \\ E(\varepsilon) = 0 \end{cases} \quad (j = 1, \dots, 14) \quad (8)$$

(8)式中: $a_1 = \cos\gamma\cos\beta$; $a_2 = \sin\gamma\cos\beta$; $a_3 = \cos\gamma\sin\beta\sin\alpha - \sin\gamma\cos\alpha$; $a_4 = \sin\gamma\sin\beta\sin\alpha + \cos\gamma\cos\alpha$; $a_5 = \cos\gamma\sin\beta\cos\alpha + \sin\gamma\sin\alpha$; $a_6 = \sin\gamma\sin\beta\cos\alpha - \cos\gamma\sin\alpha$ 。

可见,对回归函数的推断就具体化为线性回归系数 $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ 的推断。(8)式展开后所得方程组是一超定线性系统,可使用最小二乘法求解此问题。

令 $A = (a_1 \ a_2 \ \dots \ a_6)^T$ 表示回归系数,

$C = (y_1 \ y_2 \ \dots \ y_{14})^T$, 矩阵 B 为

$$B = \begin{pmatrix} x_{1,1} & 0 & x_{1,3} & 0 & x_{1,5} & 0 \\ 0 & x_{2,2} & 0 & x_{2,4} & 0 & x_{2,6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{13,1} & 0 & x_{13,3} & 0 & x_{13,5} & 0 \\ 0 & x_{14,2} & 0 & x_{14,4} & 0 & x_{14,6} \end{pmatrix} \quad (9)$$

则 $A = B^+ C$ 。其中, $B^+ = (B'B)^{-1} B'$ 是 B 的伪逆转置矩阵。

2.3 由线性回归系数求解姿态参数

2.3.1 γ 角度的确定

人脸绕 z 轴的偏转角度 γ 可利用姿态图像中两内、外眼角及两嘴角三者求均值获得。设两内、外眼角坐标依次为 $p_1(x_1, y_1)$, $p_2(x_2, y_2)$, $p_3(x_3, y_3)$, $p_4(x_4, y_4)$, 左右嘴角坐标为 $p_5(x_5, y_5)$, $p_6(x_6, y_6)$, 则:

$$\gamma = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \arctan \frac{y_i - y_j}{x_i - x_j}, i = 3, 4, 6, j = 2, 1, 5。$$

2.3.2 β 角度的确定

确定人脸绕 z 轴偏转的 γ 角度后, 可根据线性回归系数 a_1, a_2 求解人脸在 y 轴方向的偏转角 β_1, β_2 , 然后二者求均值得 β 角度, 即:

$$\beta = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \beta_i。$$

2.3.3 α 角度的确定

同上述求解 β 的方法, 根据线性回归系数 a_3, a_4, a_5, a_6 求解得出 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, 最终的 α 角度取四者的平均值, 即:

$$\alpha = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \alpha_i。$$

3 实验与分析

3.1 三维重建效果分析

实验采用 BJUT-3D Face Database 三维人脸库中全部 500 个亚洲人脸(男、女各 250 个)为入脸原型, 标准化处理后从中随机选择 200 个三维人脸模型(男、女各 100 个)作训练集, 用以建立人脸形状统计模型。

我们对两类照片进行形状恢复实验, 一类是真实拍摄的实验室人员的二维照片, 由彩色照相机拍摄, 分辨率 800×600 ; 另一类是来自 CAS-PEAL 人脸库中的灰度照片, 如图 2 所示。随后进行纹理映射后生成最终的三维人脸模型^[11]。重建结果见 3.2.2 节。从结果可直观看出重建后人脸模型具有

非常真实的效果。



图 2 基于真实照片的人脸重建

Fig. 2 Face reconstruction based on realistic photographs

3.2 姿态估计分析

在姿态估计实验中, 我们采用中性人脸模型投影合成图像和真实人脸图像对本文提出的算法进行了实验测试。对模型投影图像的实验, 我们是先将该模型由正面姿态旋转到已知姿态角度, 然后通过正平行投影得到二维图像, 利用二维图像上的特征点信息估计三维模型的姿态; 对真实人脸姿态图像的实验, 则直接提取姿态图像特征点信息, 利用重建的三维模型进行姿态估计。

中性人脸模型姿态样本库和自主采集的真实人脸姿态样本库中的姿态图像共分为 3 类: 三轴同时偏转以及绕 x, y 轴单轴偏转。中性人脸模型姿态样本在三轴重建系统上进行采集^[11], 单轴偏转姿态每间隔 2 度进行一次样本采集, 由于中性人脸模型姿态的真实值是已知的, 有助于姿态估计误差的分析; 真实人脸姿态库由 3 人(每人 60 幅)共 180 幅姿态图像组成。3 类姿态变化下的姿态样本图像各 20 幅, 均为 440×420 的 8 位灰度图像。此外, 我们还根据图像中人脸面部特征点构成的三角几何形状的变化判定人脸姿态偏转角度的正负。图 3a 为入脸正面姿态下的测量模型, 图 3b 为入脸发生姿态偏转时的测量模型。



图 3 判断偏转角度正负的几何模型

Fig. 3 Geometrical model of judging the pose orientation

3.2.1 三轴偏转姿态角度的估计

中性人脸模型的姿态偏转的真实值是可行的,图4a,图4b显示了部分模型图像的实验结果,其中, α, β, γ 为真实值, α', β', γ' 为估计值;图4c,图4d则是部分人脸姿态图像估计结果,由于真实人脸的3个姿态参数的真值很难测量,我们只给出了估计值。

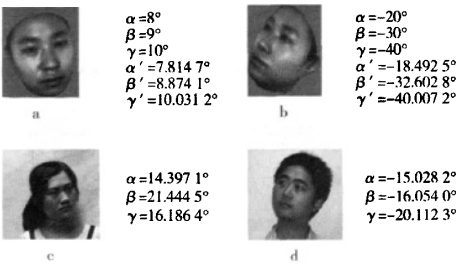


图4 部分姿态图像实验结果

Fig. 4 Experiment results of pose image

实验结果表明,中性人脸模型投影合成图像的姿态估计值与真实值非常接近,两者在 x, y, z 轴方向的绝对平均误差仅为 $\Delta\alpha = 0.3300^\circ, \Delta\beta = 0.7547^\circ, \Delta\gamma = 0.5064^\circ$,总的平均误差为 0.5303° 。对于真实人脸照片的估计,由估计结果可直观看出比较符合真实人脸姿态。

3.2.2 单轴偏转姿态角度的估计

由于在一般应用系统中绕单轴偏转的斜视、俯视或仰视图像应用较多,针对单轴方向的姿态变化,我们在中性人脸模型投影图像和真实人脸图像上分别实验,并与文献[6]做了对比。单轴偏转的人脸姿态图像的真实值是可以测量得知的。图5所示为一组中性人脸模型及真实人脸在 x, y 轴单轴偏转的姿态图像。表1为图5中姿态图像的角度估计结果。其中, $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ 为真实值, $\alpha'_1, \alpha'_2, \beta'_1, \beta'_2$ 为估计值。

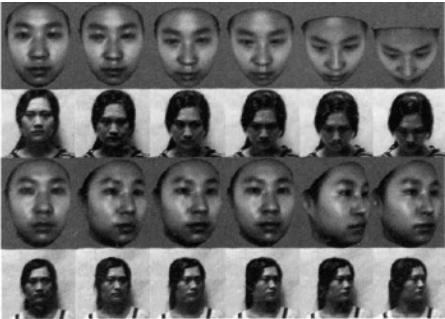


图5 x, y 轴姿态偏转图像

Fig. 5 Pose image in x, y axis

表1 图5姿态估计结果

Tab. 1 Pose estimation results of figure 5

| 模型图像 x 轴 | | 人脸图像 x 轴 | |
|------------|-----------------|------------|-----------------|
| α_1 | α'_1 | α_2 | α'_2 |
| 5° | 4.7221° | 0° | -0.7102° |
| 10° | 9.9506° | 10° | 9.6027° |
| 15° | 15.0075° | 22° | 24.4647° |
| 20° | 20.0763° | 25° | 26.5063° |
| 30° | 30.7749° | 33° | 35.9325° |
| 40° | 40.1430° | 38° | 40.1577° |
| 模型图像 y 轴 | | 人脸图像 y 轴 | |
| β_1 | β'_1 | β_2 | β'_2 |
| 5° | 4.9744° | 0° | 2.4283° |
| 10° | 10.0591° | 13° | 11.9252° |
| 15° | 14.9973° | 16° | 18.3217° |
| 20° | 20.5591° | 28° | 29.9450° |
| 30° | 29.4338° | 33° | 34.5632° |
| 40° | 39.6017° | 40° | 37.8971° |

文献[6]对石膏像的姿态估计实验中,在单轴旋转总角度为 50° 的姿态变化范围内平均估计误差为 1.22° ,而本文算法对中性人脸模型投影合成图像的单轴平均估计误差仅为 0.5545° ,对真实人脸图像的平均估计误差为 2.0316° 。中性人脸模型投影合成图像与真实人脸图像估计精度的差距本质在于重建的三维模型与真实人脸之间的差异。

表2给出了本文方法与文献[6]、文献[12]方法单轴偏转角度的平均估计误差结果比较。

表2 单轴偏转角度平均估计误差对比表

Tab. 2 Comparison of average estimation error in single axis

| 方法 | 单轴估计平均误差 |
|-----------------|----------------|
| 文献[12] | 只得到人脸平面法线方向 |
| 文献[6] | 1.22° |
| 本文方法在中性人脸模型投影图像 | 0.5545° |
| 本文方法在真实人脸图像 | 2.0316° |

4 结束语

由于简单的几何模型或结构不能准确地描述人脸的真实形状和特征,因此本文中我们利用三维模型提供的丰富几何信息来估计人脸图片姿态参数。即通过建立人脸类的线性形状模型,利用人脸图片

上的特征点计算出人脸形状参数,然后进行纹理映射重建出最终的人脸模型。由于该算法是根据人脸上的 k 个特征点的形变量来计算全局形变量,所以难免出现特征点的过拟合现象,对此,我们利用径向基函数对模型进行平滑从而得到更真实的效果。进而借此人脸三维模型,通过提取输入姿态图像上特征点的几何信息,在二维图像与三维模型间建立起对应关系,运用线性回归的思想估计姿态角度。姿态估计实验结果表明,利用本文算法在多轴及单轴偏转角度估计相对已有算法均能取得较好的效果。

下一步考虑对非正面姿态的人脸图像进行姿态校正,利用人脸三维模型合成其正面姿态下的人脸图像,并应用于三维人脸识别。

致谢

特别感谢北京工业大学多媒体技术与图形学实验室提供的BJUT-3D Face Database三维人脸库,中科院计算所提供的CAS-PEAL人脸库,并衷心地感谢重庆邮电大学计算机学院的何琨为本文提供的照片。

参考文献:

- [1] PIGHIN F, HECKER J, LISCHINSKI D. Synthesizing realistic facial expressions from photographs[C]// CUNNINGHAM S, BRANSFORD W, COHEN M F. Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. Orlando, Fla, USA, July 19-24 1998. New York, NY, USA: ACM, 1998: 75-84.
- [2] LIU Z, ZHANG Z, CHUCK J. Rapid modeling of animated faces from video[J]. The Journal of Visualization and Computer Animation, 2001, 12(4): 227-240.
- [3] BLANZ V, VETTER T. A morphable model for the synthesis of 3D faces[C]// WAGGENSPACK W. Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. August 8-13, 1999, Los Angeles, California, USA. New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999: 187-194.
- [4] CHEN Q, WU H, FUKUMOTO T, et al. 3D head pose estimation without feature tracking[C]// Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. Los Alamitos, Calif: [s. n.], 1998: 88-93.
- [5] 叶航军,白雪生,徐光. 基于支持向量机的人脸姿态判定[J]. 清华大学学报, 2003, 43(1): 67-70.
- [6] 梁国远, 查红彬, 刘宏. 基于三维模型和仿射对应原理的人脸姿态估计方法[J]. 计算机学报, 2005, 28(5): 792-800.
- [7] LOPEZ R, HUANG T S. 3D Head pose computation from 2D images: template versus features[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Washington D. C., October 23-26, 1995. Washington D. C. USA: IEEE Computer society, 1995: 599-602.
- [8] SHIMIZU I, ZHANG Z, AKAMATSU S, et al. Head pose determination from one image using a generic model[C]// Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 14-16 Apr, 1998. Los Alamitos, Calif, USA: IEEE, 1998: 100-105.
- [9] YANG R, ZHANG Z. Model-based head pose tracking with stereo vision[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 21-21 May 2002. Washington DC, USA: IEEE, 2002: 255-260.
- [10] GONG X, WANG G Y. An automatic approach for pixel-wise correspondence between 3D faces[C]// Proceedings of the 2006 International Conference on Hybrid Information Technology. Washington, DC, USA: IEEE Computer Science, 2006: 198-205.
- [11] GONG X, WANG G Y. Realistic face modeling based on multiple deformations[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2007, 14(4): 110-117.
- [12] YAO P, EVANS G, CALWAY A. Using affine correspondence to estimate 3-D facial pose[C]// PITAS I. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Thessaloniki, Greece, October 7-10, 2001. Thessaloniki, Greece: IEEE, 2001: 919-922.

作者简介:



熊黎丽(1983-),女,四川人,硕士研究生。主要研究方向为计算机视觉,人脸识别。E-mail: sealilyxiong@163.com。

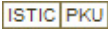


王国胤(1970-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为模式识别,神经网络,粗糙集,粒计算。E-mail: wanggy@cqupt.com。



龚勳(1980-),男,博士,主要研究方向为计算机视觉,模式识别。E-mail: gongzzzz@126.com。

(编辑:何先刚)

作者：[熊黎丽](#)，[王国胤](#)，[龚勋](#)，[XIONG Li-li](#)，[WANG Guo-yin](#)，[GONG Xun](#)
作者单位：[熊黎丽, XIONG Li-li\(重庆邮电大学计算机科学与技术研究所, 重庆, 400065\)](#)，[王国胤, 龚勋, WANG Guo-yin, GONG Xun\(重庆邮电大学计算机科学与技术研究所, 重庆, 400065; 西南交通大学信息科学与技术学院, 四川成都, 610031\)](#)
刊名：[重庆邮电大学学报（自然科学版）](#) 
英文刊名：[JOURNAL OF CHONGQING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年，卷(期)：2010, 22 (3)

参考文献(12条)

1. [YANG R;ZHANG Z Model-based head pose tracking with stereo vision](#) 2002
2. [SHIMIZU I;ZHANG Z;AKAMATSU S Head pose determination from one image using a generic model](#) 1998
3. [YAO P;EVANS G;CALWAY A Using affine correspondence to estimate 3-D facial pose](#) 2001
4. [GONG X;WANG G Y Realistic face modeling based on multiple deformations\[期刊论文\]-Journal of China Universities of Posts & Telecommunication](#) 2007 (04)
5. [GONG X;WANG G Y An automatic approach for pixel-wise correspondence between 3D faces](#) 2006
6. [LOPEZ R;HUANG T S 3D Head pose computation from 2D images:template versus features](#) 1995
7. [梁国远;查红彬;刘宏 基于三维模型和仿射对应原理的人脸姿态估计方法\[期刊论文\]-计算机学报](#) 2005 (05)
8. [叶航军;白雪生;徐光 基于支持向量机的人脸姿态判定\[期刊论文\]-清华大学学报](#) 2003 (01)
9. [CHEN Q;WU H;FUKUMOTO T 3D head pose estimation without feature tracking](#) 1998
10. [BLANZ V;VETTER T A morphable model for the synthesis of 3D faces](#) 1999
11. [LIU Z;ZHANG Z;CHUCK J Rapid modeling of animated faces from video\[外文期刊\]](#) 2001 (04)
12. [PIGHIN F;HECKER J;LISCHINSKI D Synthesizing realistic facial expressions from photographs](#) 1998

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_cqydxzb-zrxx201003022.aspx