

一种面向三维人脸识别的同一截面有效轮廓线提取算法

苗树艳 金 忠

(南京理工大学计算机科学与工程学院 江苏 南京 210000)

摘 要 针对三维人脸识别对表情及姿态变化的鲁棒性研究,提出一种基于人脸同一截面有效轮廓线的人脸识别方法。首先根据手工标定鼻尖点区域的法向量对人脸进行粗略矫正,再基于同一标准正中面人脸的迭代最近点(ICP)算法进行精确姿态矫正,标定精确鼻尖位置,提取过鼻尖的不同人脸同一截面横纵两条轮廓线。用阈值法提取过鼻尖点的有效轮廓线,采用 ICP 算法计算相似度,对两条轮廓线识别结果进行融合。实验结果表明,在 CASIA 3D 人脸库上对表情及姿态变化有较好的鲁棒性。

关键词 三维人脸识别 ICP 算法 同一截面 有效轮廓线 特征融合

中图分类号 TP3 文献标识码 A DOI: 10.3969/j.issn.1000-386x.2015.10.058

A 3D FACE RECOGNITION-ORIENTED EXTRACTION ALGORITHM FOR EFFECTIVE CONTOURS ON SAME SECTION

Miao Shuyan Jin Zhong

(School of Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210000, Jiangsu, China)

Abstract In light of the study on the robustness of 3D face recognition system for changes in expression and guise, we propose a face recognition method which is based on effective contours on same section of faces. First, the method corrects the face roughly based on the normal vector of the nose tip area manually calibrated, and then makes precise guise correction based on the ICP algorithm of the front faces with natural expression in same standard. Next, the method calibrates the precise position of nose tip, and extracts two contour lines of horizontal and vertical each passing the nose tips on the same section of different faces. The threshold method is used to extract the effective contours passing the nose tips, and the ICP algorithm is used to calculate the similarities, the recognition results of two contours are then fused. Experimental results show that on CASIA 3D face database the method has better robustness on the changes in expression and guise.

Keywords 3D face recognition Iterative closest point (ICP) algorithm Same section Effective contour Feature fusion

0 引 言

人脸识别是利用分析人脸的颜色、形状等信息特征进行身份识别的生物特征识别技术。因其操作简单、直接友好等特点,已成为模式识别领域的一个热点,并在电子商务、公共安全和自然人机交互等领域广泛应用。

对二维人脸识别技术的研究,已经在一定条件下取得了较好的识别效果。近年,随着 3D 技术的发展,三维人脸识别也逐渐成为一个研究热点。较之于二维人脸图像,人脸的三维识别的最大的优势在于其对光照、姿态、化妆和年龄等因素的不敏感性^[1]。

按照使用的数据或特征,目前主流的三维人脸识别算法有三种,即基于子空间的方法、基于三维点云的方法、基于轮廓线的方法和多分类器集成的方法。其中,基于子空间的方法将人脸深度数据用灰度图像表示,采用特征脸等子空间的方法进行识别。如 Xu 等人^[2]首先用一个规则的网格表示三维人脸表面,将姿态校正后,再用深度图的特征脸方法进行识别。基于三维点云的方法将人脸表面由三维点云表示,采用某种度量方法对人脸点云进行匹配识别。如 Pan 等人^[3]在 3D_RMA 数据库比较了 Eigenspace 和 Hausdorff 距离两种方法。Uchida 等人^[4]

用 ICP 算法对人脸三维点云进行匹配。基于轮廓线的方法以人脸某些轮廓线作为特征,采用某种度量对曲线进行匹配识别。如 Zou 等人^[5]提取到鼻尖点相同测地距离的点组成等测地轮廓线,用轮廓线的局部描述符进行识别。基于多分类器集成的方法通过提取多种特征,采用不同的分类器进行分类,将各个分类器的结果进行融合得到最终的分类结果。如 Chang 等人^[6]提取鼻尖周围的三个局部区域,分别用 ICP 算法进行匹配,最后将其结果进行融合。

实际采集的三维人脸数据往往并非正面人脸,为此本文提出一种基于同一标准人脸图像的姿态矫正方法,针对姿态和表情问题,提取不同人脸同一截面的有效轮廓线,用于识别。在识别阶段,采用最近邻分类器,根据样本间的相似度来识别测试样本。

1 人脸姿态矫正

1.1 标准人脸图像

在实际提取的三维人脸数据中,人脸往往并非正面朝向摄像头,人脸深度图像在三维空间的各个方向通常有一定的偏转,

收稿日期:2014-05-15。国家自然科学基金项目(61373063)。苗树艳,硕士生,主研领域:人脸识别。金忠,教授。

并不是标准的面朝正面的人脸图像。为了获得更好的识别效果,需要首先对三维人脸进行姿态校正。

在人脸库中选取一张标准“正中面”人脸,即面朝正面的中性表情人脸作为基准,对样本集中的人脸图像进行姿态矫正。ICP 配准法主要用于解决具有自由形态的曲面配准问题,本文将使用 ICP 算法对人脸进行姿态矫正。如图 1 所示。

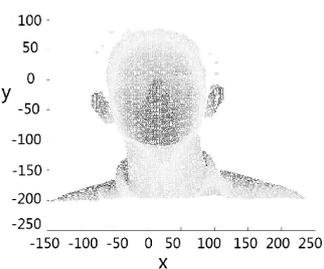


图 1 标准“正中面”人脸

1.2 ICP 算法

ICP 算法最初由 Besl 和 McKay 在 1992 年提出^[10],是一种基于四元数的点集到点集的配准方法。假设三维空间存在两组点集,分别为 P 和 Q。ICP 算法首先根据一定的准则确定两组点集中对应的点对,个数为 n。然后确定坐标变换,即旋转矩阵 R 和平移矢量 T,使得以下误差函数最小:

$$E(R, T) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \|q_k - (Rp_k + T)\|^2 \quad (1)$$

由于式(1)的求解基于最小二乘法,重复进行“确定对应关系点集-计算最优坐标变换”的过程,直到收敛准则得到满足,即得到最优配准。

ICP 算法具有计算简单、直观且精度较好的优点,但是算

$$R = I + \tilde{w}\sin\theta + \tilde{w}^2(1 - \cos\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta + w_x^2(1 - \cos\theta) & w_x w_y(1 - \cos\theta) - w_z \sin\theta & w_y \sin\theta + w_x w_z(1 - \cos\theta) \\ w_z \sin\theta + w_x w_y(1 - \cos\theta) & \cos\theta + w_y^2(1 - \cos\theta) & w_y w_z(1 - \cos\theta) - w_x \sin\theta \\ w_x w_z(1 - \cos\theta) - w_y \sin\theta & w_x \sin\theta + w_y w_z(1 - \cos\theta) & \cos\theta + w_z^2(1 - \cos\theta) \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 $\tilde{w} = \begin{bmatrix} 0 & -w_z & w_y \\ w_z & 0 & -w_x \\ -w_y & w_x & 0 \end{bmatrix}$ 。

根据鼻尖点法向量进行旋转后,与人脸图像对比如图 2 所示。

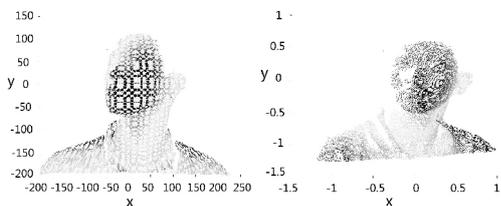


图 2 原图像及粗略旋转后的图像

1.4 人脸姿态精确矫正

虽然 ICP 算法能基本满足点云配准在精度上的要求,但其本身效率并不高,特别是对于实际测量中获得的大量点云数据,计算效率非常低。尽管截取了鼻子区域用于配准,效率依然有待提高。

本文将对鼻子区域点云三次样条插值重采样后,再对采样后的点云进行配准,计算旋转矩阵。这样,不仅减少算法的时间代价,同时可以减少姿态旋转后的三

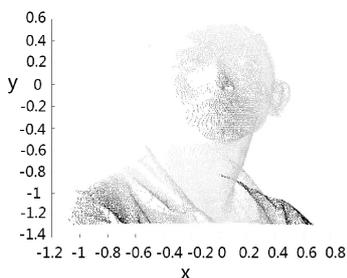


图 3 使用 ICP 算法旋转后的图像

法效率及全局最优的收敛性,很大程度上依赖于对给定的初始变换估计和在迭代过程中点云对应关系的确定^[7]。

因此,本文在使用 ICP 算法进行姿态矫正前,为迭代提供较好的初始值,首先使用鼻尖法向量对人脸姿态进行粗略的矫正。这不仅可以保证配准方向的合理性,提高配准精度,还能一定程度上提高收敛速度。并截取鼻子区域减少噪声点的影响,为 ICP 算法提供一个较好的初始位置。根据经验,以鼻尖为中心,半径为 4 cm 的区域可完整包含鼻子区域,为消除人脸边缘区域对配准的影响,同时为提高配准的效率,截取鼻子区域用于人脸旋转矩阵的计算。

1.3 人脸姿态粗略矫正

首先用鼻尖法向量对人脸方向进行粗略矫正,手工标定的鼻尖点作为人脸三维图像的旋转轴心,鼻尖法向量作为正面方向,将人脸图像旋转到“正面”位置,并将鼻尖点平移至原点。传统的法向量计算方法都是针对连续曲面,而点云数据所记录的信息是每个独立点的三维坐标,适合离散处理。本文使用文献[9]中的方法求得鼻尖位置的法向量,用于表示人脸粗略正面方向是可行的。

将求得的法向量 $V_{nose} = [k_1 \ k_2 \ k_3]$ 旋转到正面 $V_0 = [0 \ 0 \ 1]$,即计算旋转矩阵 R 使得 $RV_{nose} = V_0$ 。首先直接用两个向量的点积与叉乘分别计算出对应的夹角 θ 与旋转轴矢量,然后根据罗德里格旋转公式计算旋转矩阵 R^[8]。将计算出来的旋转轴向量单位化,记为 $w = (w_x \ w_y \ w_z)$ 。旋转矩阵 R 的计算如下:

维人脸数据产生的“空洞”问题对配准的影响。经过使用 ICP 算法进行精确矫正,图 2 右边所示的人脸图像旋转后如图 3 所示。

2 基于轮廓线 ICP 配准的识别算法

2.1 鼻尖精确定位及有效轮廓线提取

本文,将矫正后的人脸点云在侧面投影,提取人脸侧面轮廓线。由于手工标定的鼻尖点会有些许偏差,为此计算提取出的人脸侧面轮廓线的各个极值点,计算距离粗略鼻尖点最近的点,标定为精确人脸鼻尖点。再根据精确鼻尖坐标提取人脸横切面轮廓线。如图 4 所示。基于同一标准人脸使用 ICP 算法进行姿态矫正后的人脸,提取的轮廓线处于同一截面上。提取结果如图 5 所示。

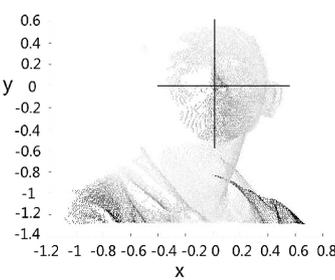


图 4 轮廓线提取

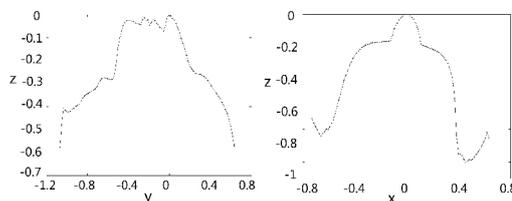


图 5 同一人脸图像的竖直面轮廓线及横切面轮廓线

基于精确的鼻尖坐标,在训练集上对阈值多次取值进行实验,确定最能区分不同人脸的阈值,即每人提取一幅图像作为临时测试集,多次试验取识别率平均值,计算使得识别率平均值最大的阈值。本文经过试验,在侧面人脸轮廓中,提取鼻尖以上的鼻梁,距离鼻尖点 6 cm 的轮廓,及鼻尖以下到嘴唇上方,距离鼻尖点 2 cm 的轮廓,构成竖直截面有效轮廓。在人脸横切面轮廓线中,提取鼻尖左右,距离鼻尖点 6 cm 的轮廓,构成水平截面有效轮廓。截取结果如图 6 所示。

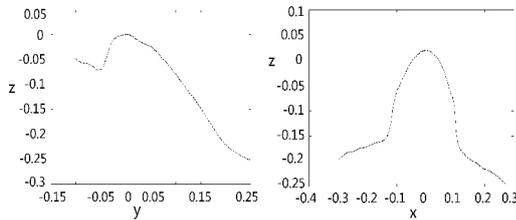


图 6 阈值法提取的同一人脸的两条有效轮廓线

2.2 基于 ICP 算法的曲线相似度计算

根据上文的介绍的 ICP 算法,定义不同人脸的轮廓线距离为:

$$Dis(L_1, L_2) = E(R, T) \quad (3)$$

由于实际中获得的轮廓线为一个点集,为提高算法的速度,本文将对初始轮廓点集进行插值。由于事先基于同一标准正中面人脸姿态进行校正过,在计算轮廓配准误差时,将插值后对应的点作为初始的点。

使用 ICP 算法对两个不同人分别五幅图像的轮廓线进行配准,根据最终配准结果,两个人的轮廓线对比如图 7 所示,结果显示同一人脸的轮廓线会聚合到一起,而不同人脸的轮廓线则会分离。

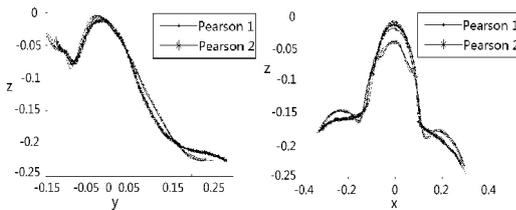


图 7 不同人脸轮廓线对比

使用 ICP 算法进行姿态矫正后的人脸,虽然并不是传统意义下完全正面的人脸,但是本文基于同一标准“正中面”人脸图像进行校准,同样可以提取人脸同一截面,且具有区分意义的轮廓线。

最后,对同一人脸的两条有效轮廓线进行加权,计算最终的不同人脸的相似度。

$$Dis(P_1, P_2) = w_1 \times Dis(L_{11}, L_{21}) + w_2 \times Dis(L_{12}, L_{22}) \quad (4)$$

其中, $w_1 + w_2 = 1$ 。

3 实验结果分析

实验数据来自 CASIA 3D 人脸库。该人脸库由中国科学院自动化研究所采集制作,包括不同姿态、表情、光照变化的人脸三维图像。本文从 CASIA 人脸库中选取前 30 个对象的人脸三维图像,每个对象包括正面中性表情 5 幅、不同表情下的 10 幅、及不同姿态的 14 幅三维人脸图像。

每个对象的 5 幅正面中性表情图像构成训练集,每个对象

10 幅不同表情的共 300 幅图像构成测试集 1,每个对象 14 幅有一定偏转角度的共 420 幅图像构成测试集 2。

首先对选取的整个人脸库利用本文提出的方法进行相关的姿态校正处理,用本文的方法提取同一截面纵横轮廓线,用阈值法提取有效轮廓线。

对测试集 1 及测试集 2 分别使用本文方法进行识别。实验中,调整纵横轮廓的权重 w_1 和 w_2 ,识别结果如图 8 及表 1 所示。结果显示了融合算法对识别的有效性,且同一截面的轮廓线具有区分意义。

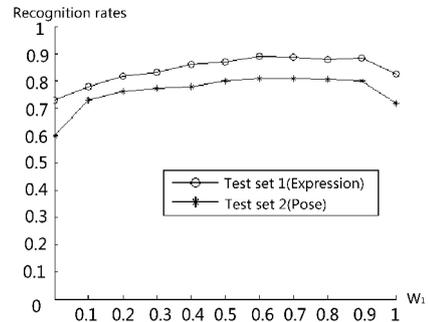


图 8 不同测试集上的识别结果

表 1 不同测试集上的识别结果

测试集	w_1	识别率
测试集 1	0.6	89.00%
测试集 2	0.6	80.77%
整个测试集	0.6	84.57%

可以看出,在姿态变化的测试集上,识别率有了一定的下降。根据偏转角及偏转方向的不同情况,对识别结果分别进行统计,实验结果如图 9 及表 2 所示。

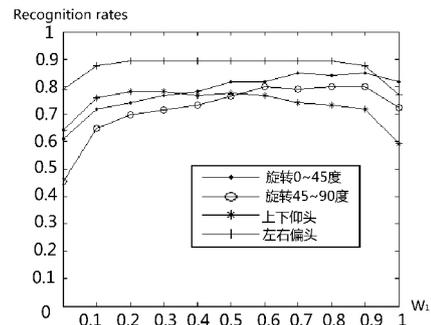


图 9 不同姿态下识别结果

表 2 不同姿态下识别结果

姿态变化	w_1	识别率
偏转 $0^\circ \sim 45^\circ$	0.9	85%
偏转 $45^\circ \sim 90^\circ$	0.9	79.82%
上下仰头	0.2	78.33%
左右偏头	0.2 ~ 0.8	维持在 89.47%

经分析,上下仰头时,对纵轮廓线影响较大;偏转角度较大时,对横轮廓线影响较大。识别下降的原因可能是由于姿态旋转后产生的空洞现象较严重造成。

为测试不同表情对识别率的影响,根据表情变化的不同程度,对识别结果分别进行统计。实验结果如图 10 及表 3 所示。

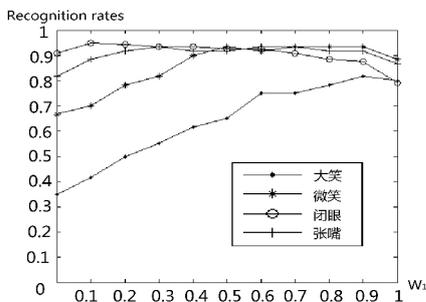


图 10 不同表情下识别结果

表 3 不同表情下识别结果

表情变化	w_1	识别率
微笑	0.6	93.3%
大笑	0.9	81.67%
闭眼	0.1 ~ 0.9	维持在 90% 左右
张嘴	0.2 ~ 0.9	维持在 90% 以上

经分析,微笑及大笑时对横切轮廓线影响较大,这可能是由于人在笑时面部肌肉牵动鼻翼,使得横切轮廓线变形的缘故造成的。

为进一步测试本文方法的有效性,用文献[4]和文献[6]中的方法在测试集上进行对比实验,实验结果如表 4 所示。实验结果表明,本文方法较文献中的方法有一定的有效性。经过对识别结果分析,本文识别率相对较高是因为对表情具有更好的鲁棒性,而在姿态变化时识别率有所下降,原因可能是姿态矫正后的空洞现象会对轮廓线有一定影响。

表 4 不同方法的识别结果

方法	测试集 1	测试集 2	整个测试集
文献[4]	71.67%	85.47%	79.72%
文献[6]	85.33%	82.85%	83.89%
本文	89.00%	80.77%	84.57%

4 结 语

本文针对不同表情及不同姿态的人脸识别问题,提出一种基于人脸同一截面有效轮廓线融合的识别方法。该方法在实验中,取得了较好的实验效果,对于有表情或姿态变化的情况下有一定的鲁棒性。表情或姿态变化时对不同截面影响较大,两条轮廓线融合的方法,在一定程度上可以消除这一影响。接下来的工作,将尝试寻找一种更有效的人脸重建方法,消除点云采集对轮廓线的影响。同时,将尝试使用更多特征融合的方法提高识别率也是未来工作的一个方向。

参 考 文 献

[1] 王跃明,潘纲,吴朝晖. 三维人脸识别研究综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(7): 819-829.

[2] Xu Chenghua, Wang Yunhong, Tan Tieniu, et al. A new attempt to face recognition using 3D eigenfaces [C]//The 6th Asian Conference on Computer Vision: ACCV, 2004: 884-889.

[3] Pan Gang, Wu Zhaohui, Pan Yunhe. Automatic 3D face verification from range data [C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech, & Signal Processing, 2003: 133-136.

[4] Naohide Uchida, Takuma Shibahara, Takafumi Aoki, et al. Koji Kobayashi. 3D face recognition using passive stereo vision [C]//IEEE International Conference on Image Processing, 2005: 950-953.

[5] 邹红艳, 达飞鹏. 基于轮廓线局部描述符的三维人脸识别[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(5): 1561-1563.

[6] Kyong I Chang, Bowyer K W, Flynn P J. Adaptive rigid multi-region selection for handling expression variation in 3D face recognition [C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005: 865-891.

[7] 戴静兰, 陈志扬, 叶修梓. ICP 算法在点云配准中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(3): 517-521.

[8] 刘海波, 高飞, 崔丽丽, 等. 罗德里格矩阵在点云配准中的应用[J]. 信息通信, 2013, 10(8): 45-46, 126.

[9] 李宝, 程志全, 党岗, 等. 三维点云法向量估计综述[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(23): 1-7.

[10] Besl P J, McKay N D. A Method for Registration of 3D Shapes [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 239-256.

(上接第 219 页)

行人检测方法 ES-ULBP, 该方法根据行人的垂直边缘对称性以及纹理特征实现了行人目标的检测, 并对 ULBP 特征进行了改进, 通过放大 ULBP 特征向量, 可以更准确地描述行人的纹理特征。实验表明, ES-ULBP 在行人检测的召回率和准确率上都有提高, 且检测速度加快。但是在实验过程中仍然发现, ES-ULBP 仍存在少量的漏检、错检。下一步拟通过融合行人的运动特征, 在进一步提高行人检测的准确率、召回率, 加快检测速度的同时, 降低漏检率, 减少错检率, 实现视频中行人检测的实时性与更高的准确性。

参 考 文 献

[1] 叶林, 陈越林, 林景亮. 基于 HOG 和颜色特征的行人检测[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(4): 134-138.

[2] 郭烈, 赵宗艳, 聂倩, 等. 利用腿部区域 HOG 特征的行人检测方法[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(1): 217-221.

[3] 高爱华, 杨韶瑞, 秦文. 一种改进的行人检测方法[J]. 西安工业大学学报, 2012, 32(4): 259-262.

[4] 付洋, 宋焕生, 陈艳, 等. 一种基于视频的道路行人检测方法[J]. 视频应用与工程, 2012, 36(13): 140-144.

[5] Xiaoyu Wang, Tony X Han, Shuicheng Yan, et al. An HOG-LBP Human Detector with Partial Occlusion Handling [J]. Computer Vision and Pattern Recognition, 1997: 193-199.

[6] Navneet Dalal, Bill Triggs. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection [J]. CVPR, 2005, 1(20): 886-893.

[7] Tuzel O, Porikli F M, Meer P. Pedestrian detection via classification on Riemannian manifolds [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(10): 1713-1727.

[8] Qiang Z, Mei-Chen Y, Kwang-Ting C, et al. Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients [C] // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Computer Society Conference on, 2006: 1491-1498.

[9] Wu B, Nevatia R. Simultaneous object detection and segmentation by boosting local shape feature based classifier [C] // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Computer Society Conference on, 2007: 1-8.

[10] Tuzel O, Porikli F M, Meer P. Pedestrian detection via classification on Riemannian manifolds [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(10): 1713-1727.

[11] 王玮, 黄非非, 李见为. 使用多尺度 LBP 特征描述与识别人脸[J]. 光学精密工程, 2008, 16(4): 696-704.