

一种稳定的人脸轮廓模型^①

周 维 胡同森 蒋成成 (浙江工业大学 信息工程学院 浙江 杭州 310014)

摘要: 用 Harris 算子提取被测人脸面上受表情影响较小的几个关键特征点, 由这些特征点的相对座标位置与正面人脸模型中对应点的相对座标位置之间的转化关系估计出被测人脸的姿态向量, 用此姿态向量与提取的点建立一个综合人脸轮廓模型。由于所提取的特征点受人脸表情变化影响很小, 在模型中又正确估计了人脸姿态, 因此, 此模型可以很好地抑制人脸表情和姿态变化的影响, 适合于作为识别人脸的依据。

关键词: Harris 算子; 关键特征点; 相对坐标; 姿态估计; 轮廓模型

A Robust Shape Model of Human Face

ZHOU Wei, HU Tong-Sen, JIANG Cheng-Cheng

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Firstly, the key feature points which have much less reaction under changing appearances are captured from a tested face. Then the transforming vectors between the relative coordinates of the captured points and each corresponding point in the face model are used to estimate the pose of the tested face. At last, a synthetical face shape model is established by using the captured points and the estimated pose vector. The shape model would be robust under changing appearances and poses because the points in the model are unchangeable under different appearances. In addition, this paper estimates the pose of the tested face correctly. The shape model will be fit for face recognition.

Keywords: Harris operator; key feature point; relative coordinate; pose estimation; shape model

1 引言

人脸识别技术在安全领域以及人-机交互方面都有着很广泛的应用。这项技术已经发展了大约半个世纪的时间, 而自上世纪 90 年代以来, 更是逐步成为了研究热点。人们的研究旨在寻找识别率更高、稳定性更好、计算代价更低、实用性更强的人脸识别系统。但是由于各种客观条件的限制, 目前尚没有一种方法可以兼有上述所有性能。

影响人脸识别系统性能的因素有很多, 如实时光照条件的变化、被识别人脸的姿态以及表情的变化、数据库人脸图像的缺少等等。现已有不少的研究主要针对这些问题, 如光照补偿和姿态补偿^[1]、姿态估计^[2]、表情估计等, 这些方法都相应地起到了一

定的作用, 笔者也曾研究过一个抑制光照影响的系统。然而这些方法大多只能对其中一方面起到控制作用。而在实际条件下, 多数情况都是多种影响同时存在, 因此, 我们需要研究一种可以同时适应多种条件的方法。

在研究中我们发现, 人脸面上存在一些特殊的关键点, 如眼角点、鼻尖点以及嘴巴中心点, 这些点不仅对人脸识别的贡献率较大^[3], 更重要的是这些点的相对位置在人脸表情变化时比较稳定, 因此, 如果用这些点来作为特征点, 将可以很好地抑制表情的影响。本次研究的方法就是通过提取非正面人脸的上述几个关键点(非全部), 由这几个点与标准正面人脸模型的点位关系估计出被测脸的姿态向量, 然后建立一个综合的人脸轮廓模型。由于此轮廓模型对人脸表情变化不敏感; 同时包

① 收稿时间:2009-06-09

含有人脸姿态信息;另外,此模型由少量特殊点建立,与图像的局部亮度关系不大,即受光照影响也较小。所以,将其用于实时人脸识别,效果将很好。

2 关键点提取

2.1 角点的定义

在二维图像中有一类很重要的局部特征点,即角点。角点没有明确的数学定义,人们一般认为是二维图像中亮度变化剧烈或边缘曲线上曲率极大值点,最直观的印象就是在平面上相交的两个方向上灰度变化均较大的点。图1是图像中理想的角点、边缘和平坦区域的示例。角点在二维图像中所占比例很小,这些点在保留图像重要特征的同时,可以有效地减少信息的数据量。比如在二维人脸图像中,眼角点、鼻翼点和嘴角点等都可以称之为角点,这些点都是识别人脸的关键依据。下面我们就来探讨一下如何提取人脸上的这些角点。



图1 角点(1)、边缘(2)、平坦区(3)

2.2 角点检测

角点的检测方法很多,但大致可以分为这样两类:基于图像边缘的角点检测^[4]以及基于图像灰度的角点检测。前者往往需要对图像边缘进行编码,很大程度上依赖于图像分割和边缘提取,具有相当大的难度和计算量,且一旦待检测目标局部发生变化,很可能导致操作的失败,因此,这种方法的使用范围很小。而基于图像灰度的角点检测算法采用多种方法直接根据图像灰度值的变化来处理图像中的每一个像素点及其邻域像素点,从而对角点进行定位。典型的算法如基于SUSAN算子的角点检测^[5]、Harris角点检测^[6,7]。这类算法可以看作是对图像的全局搜索,其特点是无需对图像作边缘分割,计算量相对较小。本文采用基于图像灰度的Harris角点检测算法来提取人脸图像上的角点。

2.3 Harris角点检测算法

根据角点最直观的意义,即在平面上相交的两个方向上灰度变化均较大的点,假定两个相交的方向分别为 x, y (x, y 不一定是水平和垂直方向)。利用差分

算子计算在每个像素点处沿着 x, y 方向发生较小位移量 $(\Delta x, \Delta y)$ 时的灰度变化 I_x, I_y ,并令矩阵 m 为:

$$m = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$I_x^2 = I_x * I_x, I_y^2 = I_y * I_y$$

为了提高抗噪能力,需对图像进行高斯平滑滤波: $I' = I * G$,其中 I 和 I' 分别代表原始图像和平滑处理后的图像, G 为离散二维零均值高斯函数;

$$G = \exp\left(-\frac{u^2 + v^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

经过高斯平滑滤波处理后将可以得到新的 m ,接下来利用 m 计算对应于每个像素的角点量 c ;

$$c = \frac{I_x^2 * I_y^2 - (I_x I_y)^2}{I_x^2 + I_y^2} \quad (3)$$

如果 c 同时满足以下两个条件则当前像素点就被认为是角点;

- ① c 大于某一给定阈值 T ;
- ② c 是某邻域内的局部极大值;

因此,角点数目将受到两方面因素的影响,即阈值越大,角点数目越少;另外,所选取的邻域的大小也会影响角点数目。

为了我们实验能够成功,我们最少需要提取到人脸的5个关键特征点。如果所取到的关键特征点数超过4个,则这些点必定不在人脸的同侧(因为人脸一侧最多只有4个关键特征点);如果取到的关键特征点数少于5个则后续实验将无法完成,即放弃后续实验,这也是本文所述方法的限制所在。

3 姿态估计

人脸姿态指的是人脸在特定头部姿势时的方向状态,其反映了包括头部摇摆、俯仰、偏斜三种动作引起的人脸的方向状态变化。在三维人脸坐标系下,我们可以将头部的三种动作看作是分别绕三个坐标轴的旋转,旋转的角度就反映了头部姿态变化的程度。因此,我们可以用标准正面人脸建立参考坐标系,用头部绕三个坐标轴旋转的角度构成的向量来描述当前人脸的姿态。但是本文研究的主要是二维人脸图像,很难确切测量三个方向的角度,只能通过对应二维点的坐标转

换关系来估计出人脸的姿态向量^[8]。具体步骤如下:

① 对数据库中的所有正面人脸,通过训练得到一个平均正面三维人脸模型;

② 对每张测试人脸根据 2.3 的方法必须取到 5 个以上关键特征点,并将被测人脸图像作一尺度变换,使得其与人脸模型的大小相同;

③ 根据获取的关键特征点中的一对对称点作一条对称轴(垂直于这对对称点的连线),并在对称轴上找到嘴巴中心点;

④ 以嘴巴中心点为坐标原点得到其它点的相对坐标;

⑤ 任选其中三个关键特征点为顶点构成三角形,三角形的三个顶点分别为 $(\alpha_k, r_k)(k=1,2,3)$,中心为 (c_0, r_0) ,对应点在人脸模型上 x 轴和 y 轴坐标分别为 (x_k, y_k) ,对应三角形的中心为 (x_0, y_0) ;

⑥ 对以上点的坐标有以下转换关系:

$$\begin{pmatrix} c_k - c_0 \\ r_k - r_0 \end{pmatrix} = M_i \begin{pmatrix} x_k - x_0 \\ y_k - y_0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中 M_i 为投影矩阵,也称旋转矩阵,因为 M_i 是由三个方向旋转角构成的。(4)中的投影关系实际上应为三维坐标到三维坐标的转换,即三维人脸模型上的点转换为被测人脸上的点,而被测人脸图像为二维,只有相应的 x 轴和 y 轴坐标值。因此(4)式应为:

$$\begin{pmatrix} c_k - c_0 \\ r_k - r_0 \\ h_k - h_0 \end{pmatrix} = M_i \begin{pmatrix} x_k - x_0 \\ y_k - y_0 \\ z_k - z_0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

h_k 为被测人脸特征点的 z 轴坐标值。假设被测人脸对三个坐标轴的旋转角度分别为 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$, 则 M_i 为:

$$\begin{pmatrix} \cos\theta_y \cos\theta_z & \cos\theta_y \sin\theta_z & -\sin\theta_y \\ -\cos\theta_x \sin\theta_z + \sin\theta_x \sin\theta_y \cos\theta_z & \cos\theta_x \cos\theta_z + \sin\theta_x \sin\theta_y \sin\theta_z & \sin\theta_x \cos\theta_y \\ \sin\theta_x \sin\theta_z + \cos\theta_x \sin\theta_y \cos\theta_z & -\sin\theta_x \cos\theta_z + \cos\theta_x \sin\theta_y \sin\theta_z & \cos\theta_x \cos\theta_y \end{pmatrix}$$

根据 M_i 可以得到一个对应的姿态向量,即 $\alpha_i = (\theta_x, \theta_y, \theta_z)^T$ 。

⑦ 对所有关键特征点所能构成的全部三角形都应用上述过程,可以得到一系列的 M_i 和 α_i ;

⑧ 用 M_i 将给定的人脸模型投影到被测人脸图像,由于此处 M_i 只由其中三个关键点的坐标转换关系获得,因此其它几个点会有投影误差,设投影误差为 e_i ;

⑨ 如果 e_i 大于 e_0 (给定的阈值),就舍弃此 M_i , 否则保留此 M_i , 并取权值 $\omega_i = (e_i - e_0)^2$;

⑩ 根据下式得到总的人脸姿态向量 α ;

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^K \alpha_i * \omega_i}{\sum_{i=1}^K \omega_i} \quad (6)$$

α 即代表被测人脸的姿态,其反映了被测人脸三个方向的的旋转角度。

4 综合轮廓模型

4.1 轮廓图

对一个非正面人脸,由 2 我们至少可以得到 5 个关键特征点,在 3 中又可以估计出其姿态向量 α 。根据 α 首先将所取到的关键点恢复为正面人脸点,然后根据对称关系得到另一半脸上的对应关键点。这样我们就可以得到所有必须的点: 4 个眼角点、两个鼻翼点,以及嘴巴中心点。由这 7 个点构成一个轮廓图,即人脸轮廓图。

4.2 轮廓图的描述

Kauppien 比较了各种典型形状识别方法,实验表明基于物体轮廓坐标序列的傅立叶描述子具有最佳的形状识别性能^[9]。对上面所得到的人脸轮廓图,以嘴巴中心点为起始点 (x_0, y_0) ,然后沿着顺时针方向绕行一周,可以得到一个点序列: $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_6, y_6)$,如果记 $x(k) = x_k, y(k) = y_k$, 并把它们用复数表示,则得到一个坐标序列:

$$s(k) = x(k) + iy(k), k = 0, 1, 2, \dots, 6 \quad (7)$$

计算 $s(k)$ 的离散傅立叶变换,得到:

$$a(u) = \sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{-i2\pi k u / K}, u = 0, 1, 2, \dots, 6 \quad (8)$$

$a(u)$ 称为轮廓的傅立叶描述子^[10]。通过傅立叶逆变换,可以由 $a(u)$ 恢复出原来的 $s(k)$, 因此,理论上可以用 $a(u)$ 构成的序列来表示轮廓图。

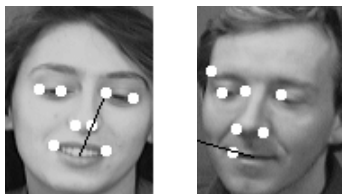
5 实验结果

根据前面的叙述,我们不难发现,建立本文中的模型的关键在于准确定位关键特征点以及估计人脸姿态。经过实验得到的结果如图 2 所示。图 2(a)是通过 Harris 角点检测算法得到的人脸关键特征点,实验中所取参数分别为:以半径为 15 个像素点的圆区域作为邻域范围,阈值 $T=3000$ 。图 2(b)是根据取得的非正面人脸特征点进行人脸姿态估计的结果。图中黑线

表示当前人脸平面的法线方向,此法线是根据被测人脸与正面人脸模型法线三个方向的偏转角度所作,这三个角度即被测人脸姿态向量中的三个角度。



(a) 人脸关键点提取结果



(b) 人脸姿态估计结果(黑线表示当前人脸平面的法向量)

图2 实验处理结果

图2(a)看出,用本文的方法可以比较准确地定位人脸关键特征点,这也是后续实验成功的保证。但同时我们还取到了一些不必要的点,综合实验表明,这些点主要集中在耳朵、眉毛以及胡须位置。其中处于眉毛和耳朵处的点因为都在必须点的外部,所以对本文的实验影响较小;如果取到胡须上的点则对人脸姿态估计实验有一定的影响。

6 结论与展望

本文首先分析了目前二维人脸识别技术的关键问题所在,即一般的二维人脸识别系统皆易受到诸如光照条件、人脸姿态以及表情等变化因素的影响,进而根据问题,“对症下药”,提出了一种能够解决这些问题的综合方法,即通过提取被测人脸上受表情影响较小的几个关键特征点,由这些特征点的相对坐标位置与正面人脸模型中对应点的相对坐标位置之间的转化关系估计出被测人脸的姿态向量,用此姿态向量与提取的点建立一个综合人脸轮廓模型。由于所提取的特征点受人脸表情变化影响很小,在模型中又正确估计了人脸姿态,因此,此模型可以很好地抑制人脸表情和姿态变化的影响;另外,这里我们所建立的是轮廓模型,与人脸图像局部灰度信息关系不大,因而这个模型受光照条件的影响也很小。

综合以上分析,本文所建立的轮廓模型非常适合于二维人脸识别。不过,这个模型所包含的人脸信息终究不够多,在某些情况下,比如人脸形状不规则(不对称)、人脸姿态过于复杂、光照条件极其恶劣等,仅用本模型做人脸识别其可信度将下降,因此,笔者下一步将把此轮廓模型与二维图像灰度信息作一合理的融合,并作为识别人脸的依据,以此来克服上述问题。

参考文献

- 1 Sotiris M, Michael G. S Robust face recognition using 2D and 3D data: Pose and illumination compensation. *Pattern Recognition*, 2005,(38):2537-2548.
- 2 Breitenstein MD, Kuettel D, Weise T, van Gool L. Real-Time Face Pose Estimation from Single Range Images. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on Volume, Issue, 23-28 June 2008. 1-8.
- 3 Wang YJ, Chua CS, Ho YK. Facial feature detection and face recognition from 2D and 3D images. *Pattern Recognition Letters*, 2002,(23):1191-1202.
- 4 Luo B, Cross ADJ, Hancock ER. Corner detection via topographic analysis of vector-potential. *Pattern Recognition Letters*, 1999,(20):635-650.
- 5 Mauricio H, Geovanni M. Facial Feature Extraction Based on The Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus(SUSAN) Algorithm. *Picture Coding Symposium 2004 (PCS-2004)*, San Francisco, California, USA, December 2004.
- 6 Harris C, Stephens MJ. A combined corner and edge detector. In *Alvey Vision Conference*, 1988. 147-152.
- 7 Schmid C, Mohr R, Bauckhage C. Evaluation of interest point detectors. *International Journal of Computer Vision*, 2000,37(2):151-172.
- 8 Tong Y, Wang Y, Zhu ZW. Robust facial feature tracking under varying face pose and facial expression. *Pattern Recognition*, 2007,(40):3195-3208.
- 9 Kauppien H, Seppanen T. An experiment comparison of autoregressive and Fourier based descriptors in 2D shape Classification. *IEEE Trans on PAM I*, 1995,(2): 201-207.
- 10 姚敏,等.数字图像处理.北京:机械工业出版社,2006. 273-276.