

基于下颌轮廓线的人脸分类方法 *

王俊艳¹, 苏光大²

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)

摘要:在人脸正面图像中, 下颌轮廓线是一种相对稳定的形状特征, 但是如何提取和有效利用这个特征是一个难题。提出一种在识别中有效利用下颌轮廓特征进行人脸分类的方法。根据先验知识将人脸分为圆脸、尖脸和方脸, 据此建立下颌形状模板: 尖下巴、圆下巴和平下巴。对事先得到的下颌轮廓上的点进行模板匹配, 根据匹配结果进行轮廓线分类。该算法采用了基于先验分布和局部判别的方法, 先得到可能的轮廓点, 然后进行滤波去除伪下颌点, 得到真正位于下颌轮廓上的点, 再通过模板匹配进行分类。试验表明, 该方法分类效果良好, 可以有效提高大库人脸识别的速度和识别率。

关键词: 下颌提取; 人脸识别; 特征分类

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)02-0159-05

Human face classification method based on chin contour *

WANG Jun-yan¹, SU Guang-da²

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The research of face classification achieves people's attention with increasing of face database. In front-view images, chin contour is a relatively stable shape feature, but it is hard to extract by conventional edge-detection methods due to the complexity of grayscale distribution in chin area. A novel algorithm for chin contour extraction and a face classification method using chin contour are presented. Three chin templates were constructed and the template matching was done. Chin classification was achieved according to the matching results, and then face classification results were got. Based on prior distribution and local decision, the possible points of chin contour were got using the algorithm. The false points were deleted by filtering and the other points were joined to get chin contour. Then we classified them by template matching. Experimental results show that we can get good classification results of chins and faces by this algorithm, which is good enough to improve the recognition rate and speed on huge face database.

Key words: Chin contour extraction; Face recognition; Feature classification

收稿日期: 2003-05-14; 修订日期: 2003-08-14

基金项目: 国家“十五”攻关计划(2001BA8010B07)

作者简介: 王俊艳(1979-), 女, 河南中牟县人, 博士研究生, 研究方向为模式识别与图像处理。

0 引言

人脸识别是人类视觉中最突出的能力之一。近年来,自动人脸识别逐渐成熟,取得了广泛的应用。随着人脸数据库的增大,如何提高在海量数据库上的识别率和识别速度成为人们感兴趣和亟待解决的问题。分层结构有助于提高识别率和识别速度,主要有两种分层方法,一种是先在大库中进行快速的粗匹配,找出匹配度较高的人脸形成相似库(小库),然后在小库中用精细匹配的方法进行识别。另一种方法是先进行人脸分类,将大数据库分成若干小库,然后在小库中进行人脸的匹配与识别。

现有的关于人脸分类的研究主要是利用人脸轮廓线的曲率特征。凌旭峰等提出基于人脸轮廓线曲率特征进行分类及识别^[1],根据轮廓线曲率之间的互相关函数定义相似性,将人脸分为圆脸、椭圆脸、方脸、三角脸及其他脸型五类,由于曲率几何特征明显,具有位移和旋转不变性,可获得良好的分类效果。但是这种方法只利用了人脸轮廓的曲率特征,丢失了很多有用的细节信息,分类效果不够可靠。另外,还可以利用人脸五官的特征进行人脸分类。

下颔的形状特征在正面人脸图像中相对稳定,尤其是嘴巴以下的部分受表情影响很小,并且下颔轮廓包含了大部分的脸型信息,因此用它进行分类是可行的。但是由于下颔区域灰度分布复杂,受光照影响较大,使得下颔轮廓的提取具有相当的难度,而这将直接影响到分类的正确率。

分析下颔轮廓特征的方法主要是建立几何模型,通过动态曲线逼近的方法进行估计。对传统的下颔模型是做单抛物线逼近^[2],后来又有双半抛物线逼近^[3]。该模型在曲线逼近意义上令人比较满意,但损失了轮廓中大量的细节信息(只有抛物线的曲率是有效信息)。另外还有直接进行轮廓提取的 Snake 方法^[4]。理论上 Snake 方法提取的边界仅仅由能量函数决定,有很大的自由度,但选择最佳的能量函数是应用 Snake 方法的一大难题。由于它的边界搜索的自由度很大,必须要经过多次迭代才能找到最佳位置,计算复杂。基于 Snake 方法的模型有几何活动轮廓模型^[5]、活动轮廓模型^[6,7]、动态轮廓模型^[8]等。

提出了一种在正面黑白标准照片中提取人脸下颔轮廓线的新算法,先根据先验知识确定下颔区域,然后在区域内搜索局部极值点,得到可能的下颔轮廓点,再进行滤波,去除伪轮廓点,对剩余的点做匹配连接,得到下颔轮廓线。这样得到的轮廓线既包含了大量的细节特征,又避免了 Snake 方法复杂的计算量。文中建立了三种下颔轮廓模板,根据匹配结果进行下颔分类,从而实现人脸的分类,可以提高人脸识别的速度和识别率,使下颔轮廓特征有效地应用于人脸识别中。

1 下颔轮廓点的提取

1.1 边缘提取算法分析

在图像的轮廓处理中,常利用经典的边缘检测算子来检测边界。当轮廓处的梯度和其邻域点的梯度没有明显变化时,简单的边缘检测算子不能很好地提取该处的轮廓。观察所用的正面黑白照片如图 1 所示,图中(a)为原图,(b)为等灰度线图,(c)为 Sobel 梯度图,(d)为旋转后图,(e)为下颔区域,(f)为提取的下颔轮廓点,(g)为滤波后的下颔轮廓点,(h)为匹配的下颔轮廓线。由图(b)和图(c)可以看出各个器官的灰度常常和背景的灰度融合在一起。在梯度图中,梯度值较大的点一般是头发、瞳孔等灰度变化明显的强边缘的轮廓,不包含下颔轮廓点,因此如果对梯度图进行全局阈值划分是得不到下颔轮廓点的。简单的边缘提取算子无法提出边缘,需要采用其他方法。

实际上人脸、下颔和脖子的肤色几乎完全相同,



图 1 处理的中间结果和最终结果

Fig. 1 The temporal and final results of the processing

但在通常的光照条件下,下颌会在脖子上留下阴影。由于人脸图像只能提供二维的信息,因此,只能利用阴影信息来划分下颌和脖子的边界。常用的边缘检测算子不能很好地提取这种轮廓,但是人眼却可以分辨出下颌的边缘。人之所以能够找到它们的轮廓,先验知识起了很大的作用^[3]。人在寻找下颌轮廓的时候,先根据眼睛等明显的特征确定下颌大致的区域,然后从一些比较明显的轮廓线出发,如脸颊边缘线,按照假想中下颌的抛物线轨迹搜索,在假想的曲线附近寻找灰度最优点作为下颌的轮廓。因此,在进行下颌轮廓提取的时候,可以参考人眼的观察方式。

1.2 人脸的定位

在提取下颌轮廓时,先要确定下颌区域。只从图上搜索下颌区域是很困难的,但是人脸上各器官的分布满足一定的比例关系,因此可以先定位人脸中比较容易检测的器官,再由这些位置出发确定下颌区域。常用的方法是先检测眼球的位置^[9],但是眼球是可以转动的,位置不固定,如果根据眼球位置确定下颌区域,会有一定误差。实际的人脸图像中,比较稳定的是内眼角和外眼角的位置,由于内眼角间距较小,定位时的误差大,因此选择定位外眼角。

先通过模板匹配的方法得到图中人脸的大概区域,然后在人脸区域内进行搜索,得到眼球的位置,从眼球位置开始向外搜索,得到外眼角的位置。也可以先进行边缘提取,将图像转变为二值图像,然后用构造的眼睛模板在图中进行粗匹配,确定眼睛位置,进而得到外眼角的坐标。

然后可以根据外眼角的位置进行图像的旋转,将倾斜的图像校正,使两个外眼角的纵坐标相同,从而简化下颌的数学模型。

设图像的高度和宽度分别为 h 和 w , 倾斜角度为 θ , 外眼角的坐标为 $A(x_l, y_l)$ 和 $B(x_r, y_r)$, 需要旋转的角度为 θ (见图 2):

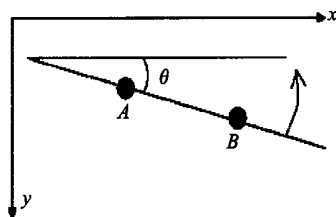


图2 图像校正示意图

Fig.2 Image rectification

$$\theta = \arctan \frac{y_r - y_l}{x_r - x_l} \quad (1)$$

原图中的 (x, y) 校正后在新图中的坐标为 (x', y') , 做仿射变换。有:

如果 $\theta > 0$, 则:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ w \sin \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

如果 $\theta < 0$, 则:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -h \sin \theta \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

为了保证校正后的图像内每一个像素点都有正确的灰度值,在程序中采用的是公式(2)和公式(3)的逆变换,即对于每一个 (x', y') , 计算相应的 (x, y) , 从而得到对应的灰度值。图 1(d) 是校正后的图像。

1.3 下颌点的提取

根据外眼角的位置和人脸各器官的比例关系,可以确定下颌所在的矩形区域。下颌的轮廓和脸颊的轮廓是分不开的,下颌的轮廓线中有一部分随表情变化,只有鼻翼与嘴角连线的延长线之间的部分是不随表情变化的,因此确定下颌区域的时候只要包括这一段在内即可。对校正后的人脸的外眼角之间的区域进行横向投影,如图 3 所示,投影图的谷点即是各个人脸部位的纵坐标。由先验知识可知,人脸的特征分布满足一定的比例关系,由此可确定下颌所在的区域(见图 1(e))。

对标准正面人脸图像,下颌上的点具有以下特征:该点的灰度值 $I(x, y)$ 比较小;六个方向的梯度值 $G(x, y)$ (见图 4) 比较大,其中下巴的左边部分 $G_1(x, y)$ 、中间部分 $G_2(x, y)$ 和右边部分 $G_3(x, y)$ 均较大。

$$G(x, y) = G_1(x, y) + G_2(x, y) + G_3(x, y) \quad (4)$$

$$G_1(x, y) = I(x+1, y-1) - I(x-1, y+1)$$

$$G_2(x, y) = I(x, y-1) - I(x, y+1)$$

$$G_3(x, y) = I(x-1, y-1) - I(x+1, y+1)$$

由于下颌位于脖子前面,其阴影成在脖子上,因此下颌轮廓点的梯度值是正的。可以在 $G(x, y) > 0$ 的点中选择 $I(x, y)/G(x, y)$ 最小的点作为可能的下颌轮廓点。设下颌区域的左上端点坐标为 (L, T) , 右下端点坐标为 (R, B) 。对于下颌区域的每一

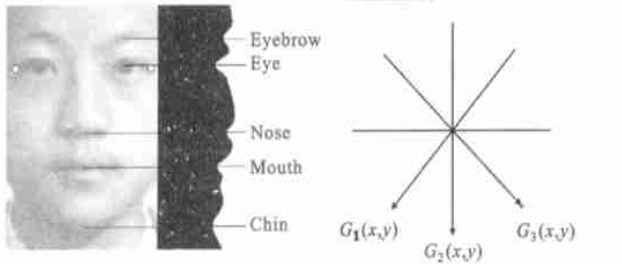


图 3 面部横向投影及特征纵坐标定位图
Fig. 3 Facial horizontal projection and vertical coordinate of features

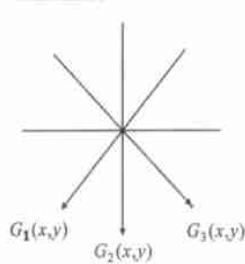


图 4 六方向梯度图
Fig. 4 Grades image of six directions

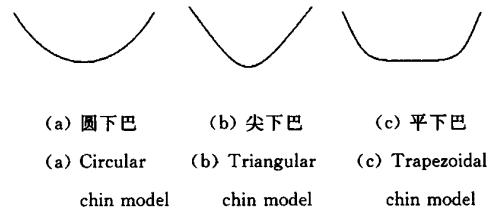


图 5 理想的下颌模型
Fig. 5 Perfect models of chins

列, 即 $L < j < R$, 下颌轮廓点由下式可得:

$$G(x_i', y_j) > 0$$

$$\frac{I(x_i', y_j)}{G(x_i', y_j)} = \max \left\{ \frac{I(x_i, y_j)}{G(x_i, y_j)} \right\} \quad (5)$$

其中, $T < i, i' < B$ 。

根据公式(5)所述特征, 得到一个可能的下颌轮廓点的集合(如图 1(f)所示)。由于噪声的存在, 并不是集合中的每个点都是下颌轮廓点, 因此需要去除其中的伪下颌轮廓点。下颌轮廓是连续的曲线, 设计一个散点滤波器, 去除明显不属于下颌轮廓的点(如图 1(g)所示)。

2 下颌模板匹配

对下颌轮廓点有多种应用方式。可以采用距离判决、曲线拟合等。这里选择了一种比较简单有效的方式, 对位于下颌轮廓上的点进行曲线拟合, 常用的是抛物线模型, 但是抛物线模型不适用于尖下巴和平下巴, 因此还要采用折线模型。

图 5 是圆下巴、平下巴和尖下巴的理想模型, 其中(a)为抛物线(二次曲线)模型, (b)和(c)简化为折线模型。

2.1 抛物线模型

由于进行了图像旋转, 所以这里下颌的曲线应是正抛物线, 即二次曲线 $y = ax^2 + bx + c$, 根据已知的下颌轮廓上的 n 个点确定二次曲线的系数 a 、 b 和 c 。第 i 个点的坐标为 (x_i, y_i) , 均方误差为 E , 则有:

$$E = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)^2 \quad (6)$$

由均方误差最小准则, 可得:

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial c} = 0 \quad (7)$$

改写成矩阵的形式, 即:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \end{bmatrix} \quad (8)$$

由上式可解得 a 、 b 和 c , 然后由公式(6)可计算出均方误差 E 。根据 a 、 b 和 c 可以得到下颌的拟合曲线, 拟和结果如图 1(h)所示。

2.2 折线模型(分段线性模型)

对于折线模型, 采用分段线性拟合。对于尖下巴模型, 先确定下颌底端点, 对其左边或右边的点进行直线拟合, 考虑精确度, 端点处的几个点采用抛物线拟合。

由于折线不连续, 为方便运算和处理, 考虑对称性, 只拟合半边。

对于平下巴模型, 先计算横线和折线的交点, 交点附近采用抛物线模型, 两边分别进行直线拟合。

3 下颌分类

根据经验, 通常可以将下颌分为圆下巴、尖下巴和平下巴。对每一组下颌轮廓点 S , 分别进行圆下巴、尖下巴和平下巴匹配, 可以得到三个均方误差 E_1 、 E_2 和 E_3 。根据下面的判决进行分类:

$$S \in \begin{cases} \text{圆下巴} & \text{如果 } \min(E_1, E_2, E_3) = E_1 \\ \text{尖下巴} & \text{如果 } \min(E_1, E_2, E_3) = E_2 \text{ (9)} \\ \text{平下巴} & \text{如果 } \min(E_1, E_2, E_3) = E_3 \end{cases}$$

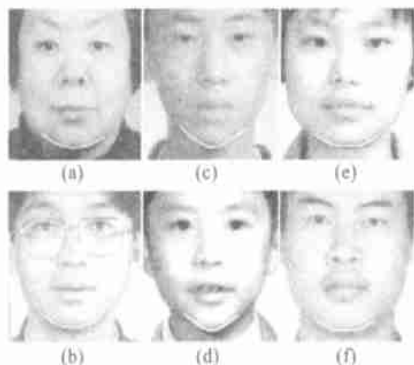


图 6 部分分类结果

Fig. 6 Some classification results

表 1 给出了图 6 中 6 幅人脸图像用 3 种模板匹配后的均方误差以及分类结果,其中均方误差按下颌宽度进行了归一化。

表 1 部分拟合的均方误差和分类结果

Tab. 1 The square differences of some samples on curve fitting and classification results

Test sample	E_1 (1e+3)	E_2 (1e+3)	E_3 (1e+3)	Class
a	1.8091	8.4215	72.361	Circular chin
b	3.7138	9.2902	67.433	Circular chin
c	2.5613	0.42266	0.58484	Triangular chin
d	7.3257	5.1440	7.9234	Triangular chin
e	1.0349	43.580	4.4973	Trapezoidal chin
f	1.7731	47.962	4.5312	Trapezoidal chin

4 实验结果和讨论

用于实验的人脸数据库包含不同个体、不同光照条件下的 656 幅正面人脸灰度图像。实验结果表明该方法能有效地进行下颌的提取和分类,从表 2 可以看出提取和分类的结果是令人满意的,因此该方法用于人脸分类和识别中,可以有效地提高人脸识别的速度和识别率,尤其是对于大库人脸识别问题,具有重要意义。

图 6 示出了下颌提取和分类的部分结果,其中第一列是圆下巴,第二列是尖下巴,最后一列是平下巴,可以看出该方法得到的结果与人类的分类结果是一致的。

表 2 下颌提取和分类的正确率

Tab. 2 The correct rates of extraction and classification

	Test samples	Correct samples	Correct rates
Extraction	656	625	95.3 %
Classification	625	574	92.0 %
Total correct rate	95.3 % × 92.0 % = 87.7 %		

参考文献:

- [1] 凌旭峰,杨杰,杨勇.基于轮廓线曲率特征的人脸分类及识别[J].红外与激光工程,1999,28(4):37-39.
- [2] Li Xiaobo, Nicholas Roeder. Face contour extraction from front-view images[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(8): 1167-1179.
- [3] Kampmann M. Estimation of the chin and cheek contours for precise face model adaptation[A]. Proceedings of ICIP IEEE[C]. 1997,3. 300-303.
- [4] Greg I Chiou, Jenq Neng Hwang. A knowledge driven stochastic active contour model (KDS-SNAKE) for contour finding of distinct features[A]. Proceedings of 1993 International Joint Conference on Neural Networks[C]. 1993. 2057-2060.
- [5] Huang Fuzhen, Su Jianbo. Face contour detection using geometric active contours[A]. Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation[C]. 2002. 2090-2093.
- [6] Darui Sun, Zhou Zhaojie, Wu Lenan. Face boundary extraction by statistical constraint active contour model[A]. Proceedings of IEEE ICSMC[C]. 2002. 371 \ | 373.
- [7] Li Yong, Zhang Changshui, Lv Xiaoguang. Face contour extraction with active shape models embedded knowledge[A]. Proceedings of ICSP2000[C]. 2000. 1341 \ | 1350.
- [8] Hichem Sahbi, Nozha Boujemaa. Rotust matching by dynamic warping for accurate face recognition [A]. Proceedings of IEEE [C]. 2001. 1010-1013.
- [9] 严超,苏光大.人脸特征的定位与提取[J].中国图像图形学报,1998,3(5):375-380.