

侧面轮廓与人耳特征相结合的人耳检测与识别

刘颖 裴明涛 贾云得

(北京理工大学计算机科学技术学院智能信息技术北京市重点实验室,北京 100081)

摘要 为实现人耳的自动检测与识别,提出了结合侧面轮廓特征、人耳统计特征以及人耳与侧面轮廓的位置特征进行人耳检测与识别的方法。该方法分为离线的训练阶段和在线的检测与识别阶段。在离线阶段,通过训练得到一个综合特征向量,包括人脸侧面轮廓特征、人耳统计特征以及人耳相对于侧面轮廓的位置特征。在线的检测与识别过程分为两步:第1步是用侧面人脸轮廓进行粗检测,第2步是用人耳的统计特征和相对于侧面轮廓的位置特征进行精确定位和识别,即在定位的同时实现人耳的识别。实验结果表明,上述方法具有速度快、效率高和鲁棒性好的特点。

关键词 人耳检测 侧面轮廓 人耳识别

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)02-0196-06

Human Ear Detection and Recognition Based on Face Profile and Ear Feature

LIU Ying, PEI Ming-tao, JIA Yun-de

(Beijing Laboratory of Intelligent Information Technology, School of Computer Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract A new method which combined face profile, ear feature and relative position of ear and face profile to detect and recognize human ear is proposed in this paper. This method consists of off-line training and on-line detection and recognition. At the offline stage, a compositive feature vector which includes face profile contour, ear coordinates and the statistical features of ears is obtained. At the online stage, the ear is coarsely detected by the face profile contour, and accurately localized and recognized by the statistical features of ears and the relative position. Experimental results with real ear images show that the proposed method has good performance.

Keywords ear detection, face profile, ear recognition

1 引言

自从人耳被证明具有普遍性,唯一性和永久性等特征^[1-2]以来,它作为一种具有良好应用前景和研究价值的生物特征已经越来越受到研究者的关注。人耳检测是人耳识别的前提和基础,它的性能直接决定着整个系统的性能。近年来,出现了一些

基于3维深度图的人耳自动检测方法。Yan等人实现了一个自动3维人耳识别系统^[3],利用主动轮廓算法并结合颜色和深度信息,在包含人耳区域的2维和3维的原始扇形图像数据中检测人耳区域。Chen Hui等人提出了利用形状模型模板在侧面人脸深度图上定位人耳区域的方法^[4]。他们还提出了另一种人耳自动检测的方法^[5]。通过离线模板建立,在线的明显边缘检测、阈值、膨胀和连接算法

收稿日期:2007-08-30;改回日期:2007-11-26

第一作者简介:刘颖(1983~),女,北京理工大学计算机应用技术专业硕士研究生。主要研究方向为生物特征识别,图像处理等。

E-mail: liuyingfan@bit.edu.cn

处理,最后通过模板匹配来定位人耳区域。

然而,目前许多的人耳识别研究都是基于2维灰度图像的,2维灰度图比3维深度图更容易获得,对设备的要求较低,且计算量相对较小。如LU等人提出的基于统计形状模型的人耳识别方法^[6],该方法采用主动形状模型在统计意义上对人耳的形状和局部外观进行建模,最后用特征耳形状来进行人耳识别;还有Hurley等人用力场变换的方法来进行人耳识别^[7],等等。

相对而言,基于2维灰度图的人耳自动检测的研究还相对甚少。由于人耳的肤色与人脸相似,根据肤色进行人耳检测很难得到满意的效果,同时人耳的颜色与人脸的颜色接近,通过人耳的边缘进行人耳的检测与定位也很容易受到噪声的影响。而人脸的侧面轮廓特征相对比较容易获得,而且每个人的耳相对于其侧面轮廓的位置是固定的。因此提出了结合侧面轮廓特征、人耳统计特征以及人耳与侧面轮廓的位置特征进行人耳检测与识别的方法,该方法分为离线和在线的两个步骤,离线的步骤中可训练得到一个综合特征向量,包括侧面人脸轮廓特征、人耳的位置坐标和人耳的统计特征;在线的检测过程分为两步:第1步是用侧面人脸轮廓进行粗检测,第2步是用人耳的统计特征和相对于侧面轮廓的位置特征进行精确定位与识别。

2 离线训练

以下是离线训练阶段。实验中,采用了CMU(carnegie mellon university)的侧面人脸图像库进行训练和测试。图1为图像库中的一幅示例图像。



图1 实验图像示例

Fig. 1 Example image

2.1 计算侧面人脸轮廓特征

首先检测侧面人脸的轮廓,然后对侧脸轮廓进行弗里曼编码,并对侧脸轮廓进行细化。这样得到的侧脸轮廓为一条单像素宽的轮廓。如图2所示。



图2 侧面人脸轮廓

Fig. 2 Example of face profile

对求得的侧脸轮廓线,用得到的弗里曼编码求取侧脸轮廓的8个曲率最大的点,并把这8个点作为侧脸轮廓的特征点。设 $A_i, i=1, \dots, 8$ 为从上到下依次8个特征点。如图3所示。



图3 侧脸轮廓特征点

Fig. 3 Feature points on face profile

得到特征点之后,通过特征点 A_1 和 A_3 将训练集图像进行归一化,包括角度和大小。并且通过下面的方法来计算每个轮廓的特征:

设 t_1, t_2, \dots, t_7 为表示距离的特征, t_8, \dots, t_{13} 为表示角度的特征,具体定义如下:

$$t_i = \frac{A_i A_{i+1}}{h} \quad i=1, 2, \dots, 7 \quad (1)$$

$$h = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \overline{A_i A_{i+1}} \quad (2)$$

$$t_{i+7} = \frac{\angle A_i A_{i+1} A_{i+2}}{g} \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (3)$$

$$g = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \angle A_i A_{i+1} A_{i+2} \quad (4)$$

则每个轮廓的特征向量为 $T_k = [t_1, t_2, \dots, t_{13}]$, $k = 1, 2, \dots, n$ 。其中 n 为训练集中图像的总数。据研究结果表明,侧脸轮廓特征向量可以用于不同人的身份验证^[8],但其可靠性较差,因此,在本文中侧脸轮廓只是用来进行人耳区域的粗检测。

2.2 计算人耳的位置特征

采用一块矩形区域手动标注出人耳的位置,如图 4 所示。

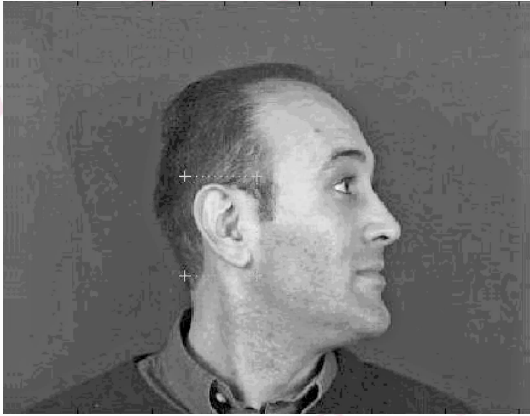


图 4 手动标注的人耳区域

Fig. 4 Ear region labeled by hand

这样,只需要存储矩形区域对角的两个点作为人耳的位置特征,定义为

$$EL_i = \{(x_{i1}, y_{i1}), (x_{i2}, y_{i2})\} \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

n 的意义同上。将人耳矩形图像截取并保存下来用于下一步的特征训练。截取并进行归一化后的人耳图像如图 5 所示。

2.3 计算人耳的统计特征

主成分分析(principal component analysis, PCA)是统计理论中的基本方法之一,也是常用于人脸等生物特征进行特征提取的主要方法之一,很早就有研究者将它用于人脸识别等领域^[9]。本文采用主成分分析方法对训练集中每个人的人耳图像进行特征提取,得到每幅侧面人脸图像的人耳特征向量,设为

$$\Omega_j = [\omega_{j1}, \omega_{j2}, \dots, \omega_{jm}] \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$



图 5 训练集中的人耳图像示例

Fig. 5 Ear images in the training set

2.4 综合特征向量

这样通过以上的离线训练步骤,对于每一幅训练集图像,得到的信息包括轮廓特征向量 T_k , $k = 1, 2, \dots, n$;人耳的位置特征向量 EL_i , $i = 1, \dots, n$ 和人耳的统计特征向量 Ω_j , $j = 1, 2, \dots, n$ 。将这 3 个特征向量组合起来,形成一个综合特征向量,记为

$$PF_i = \{T_i, EL_i, \Omega_i\} \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

3 人耳区域的粗定位

对于一幅系统拍摄下来待进行身份验证的测试图像,进行如下的人耳区域粗定位。设 T_{kj} 表示训练集中第 k 个侧面人脸轮廓的第 j 个特征, s_j 表示输入的测试图像侧脸轮廓的第 j 个特征,则判别函数为

$$f_k = \sqrt{\sum_{j=1}^{13} \omega_j (T_{kj} - s_j)^2} \quad (8)$$

式中, ω_j 为权值,其计算方法如下:

(1) 对于距离特征:

$$\omega_j = \frac{b_j}{\sum_{i=1}^7 b_i} \quad (9)$$

式中, $b_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (T_{kj} - a_j)^2$, $j = 1, 2, \dots, 7$;

$$a_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n T_{kj} \circ$$

(2) 对于角度特征:

$$\omega_j = \frac{b_j}{\sum_{i=7}^{13} b_i} \quad (10)$$

式中, $b_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (T_{kj} - a_j)^2, j = 7, 8, \dots, 13; a_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n T_{kj} \circ$

通过 2.1 节介绍的方法求得输入测试图像的侧面轮廓特征 $s_j, j = 1, 2, \dots, 13$, 计算式(8)的值, 如果计算结果 f_k 小于某一给定阈值, 则将 f_k 对应的训练库中的图像加入到候选集中, 并且用候选集中训练图像对应的综合特征向量的人耳位置特征坐标在测试图像上截取矩形区域, 作为人耳的候选区域, 也即人耳粗定位的结果。需要指出的是, 这一步只是进行粗分类, 把一些明显不符合的训练集图像去掉, 减少后续步骤需要处理的数据量, 因此阈值的设定比较宽松。粗定位人耳区域的结果如图 6 所示。

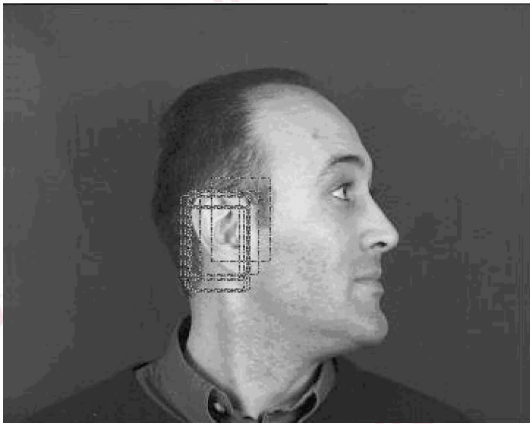


图 6 人耳粗定位结果
Fig. 6 Possible ear locations

4 人耳区域的精确定位与识别

4.1 基于 EigenEar 的人耳检测

主成分分析方法除了应用在人脸识别领域外, 也被广泛应用于人脸或其他物体检测。有研究表明, 人脸图像投影到人脸子空间时不会发生很大的变化, 投影后的图像还是像人脸, 而不是人脸的其他图像投影到人脸子空间就会和原来的图像有很大的

差异。因此, 有研究者利用这点进行人脸检测, 并且取得了不错的效果^[9-10]。基于 EigenEar 的人耳检测基本思想是将图片上的每一块子区域与用人耳子空间的基重建的图像进行比较, 得到一个距离 ξ 。这样逐点的移动区域就得到了一系列的距离 $\xi(x, y)$:

$$\xi^2 = \|\phi - \hat{\phi}\|^2 \quad (11)$$

式中, $\phi = \Gamma - \Psi, \Gamma$ 为待检测图像上的一块子区域, Ψ 为平均脸, $\hat{\phi}$ 是 ϕ 在人脸空间上的投影。对应于最小距离的位置就是人耳的位置。

4.2 人耳区域的精确定位与识别

经过粗分类后, 设得到 H 个候选人耳区域, 每个候选人耳通过投影到前面训练得到的人耳子空间, 可得到对应的人耳特征向量为 $\alpha_i, i = 1, 2, \dots, H$ 。首先采用基于 EigenEar 的人耳检测的基本思想, 将每个候选人耳图像与用人耳子空间的基重建的图像进行比较, 如果它们之间的距离很大, 说明此候选人耳区域不是人耳区域或者是很不精确的人耳区域, 此处隐含的用到了人耳与侧面轮廓的位置特征, 当根据侧面轮廓得到的人耳位置不是准确的位置时, 则将这些候选人耳区域去除(如图 7 所示), 然后再计算剩余候选区域的人耳特征向量 $\alpha_i, i = 1, 2, \dots, H$ 与 f_k 对应的综合向量的人耳特征向量的距离, 也即对候选人耳图像进行人耳识别, 选取距离最小的候选人耳区域作为精确定位结果, 同时也是最终的识别结果。



图 7 不精确的人耳区域
Fig. 7 False ear region

5 实验结果

选取了 CMU 人脸图像库中的 200 幅侧面人脸图像进行实验, 包括 20 个人, 每人 10 幅图像。选取 140 幅图像(20 人, 每人 7 幅图像)进行训练, 选取剩余的 60 幅侧面人脸图像进行测试。训练集和测试集中的侧面人脸图像包含了姿态和光照的变化, 并且有些图像还有眼镜或者耳饰的遮挡。对于图 6 的粗检测结果, 得到的精确定位结果如图 8 所示。



图 8 人耳区域的精确定位

Fig. 8 Precisely ear location

对于其他 59 幅测试侧面人脸图像也有类似的人耳区域精确定位结果,可沿精确定位的人耳区域边缘将人耳图像截取下来,得到的人耳精确定位部分图像如图 9 所示。



图 9 人耳区域精确定位部分结果

Fig. 9 Results of precisely ear location

在以上精确定位的过程中同时也进行了人耳识别。而且本系统中的识别效果较文献[11]中直接结合人耳与侧面轮廓进行识别的效果要好,识别结果分析如表 1 所示。这是由于在本文提出的方法中还使用了人耳与侧面轮廓之间的位置特征,当两个

人的侧面轮廓和人耳都比较相似,而他们的人耳与侧面轮廓的相对位置不同的时候,文献[11]中的方法将无法正确识别,而本文的方法还可以根据他们的人耳与侧面轮廓之间的位置关系来进行区分。

表 1 两种识别方法的最高识别率和平均识别率

Tab. 1 The recognition rate of two methods

	单位:%	
	文献[11]的方法	本文方法
最高识别率	86.84	91.07
平均识别率	71.25	73.61

6 结 论

本文提出了一种新的人耳检测与识别的方法,结合了侧面轮廓特征、人耳与侧面轮廓的位置特征以及人耳特征实现了人耳的精确定位与识别。目前使用了经典的 PCA 方法来计算人耳的特征。今后将研究使用子空间的其他方法以及流形分析的方法来计算人耳特征,以进一步提高系统的识别率。

参考文献 (References)

- 1 Iannarelli A. Ear Identification. Forensic Identification Series [M]. California, CA, USA: Paramount Publishing Company, 1989: 158-164.
- 2 Kyong Chang, Bowyer K, Sarkar S, *et al.* Comparison and combination of ear and face images in appearance-based biometrics [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(9): 1160-1165.
- 3 Yan Ping, Bowyer K, Kevin W. An automatic 3D ear recognition system [A]. In: Proceedings of the 3rd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission [C], Chapel Hill, North Carolina, USA, 2006: 326-333.
- 4 Chen Hui, Bhanu B. Shape model-based 3D ear detection from side face range images [A]. In: Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], San Diego, CA, USA, 2005: 122-128.
- 5 Chen Hui, Bhanu B. Human ear detection from side face range images [A]. In: Proceedings of International Conference on Pattern Recognition (ICPR) [C], Cambridge, UK, 2004: 574-577.
- 6 Lu Lu, Zhang Xiao-xun, Zhao You-dong, *et al.* Ear recognition based on statistical shape model [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Innovative Computing, Information and Control [C], Beijing, China, 2006: 353-356.
- 7 Hurley D J, Nixon M S, Carter J N. A New Force Field Transform for Ear and Face Recognition [A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference of Image Processing [C], Vancouver,

- Canada, 2000:25-28.
- 8 Okamoto N, Chen W, Iida N, *et al.* Automatic Extraction of Contour Lines and Feature Points from Profile Images[A]. In: Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering[C], Waterloo, Canada,1997:831-834.
- 9 Turk M, Pentland A. Eigenfaces for Recognition [J]. Journal of Cognitive Neuroscience,1991,3(1):71-86.
- 10 Moghaddam Baback, Pentland Alex. Probabilistic visual learning for object representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997,19(7):218-234.
- 11 Guo Song, Wei Li-feng. Biometric recognition technology based on information fusion [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004,25(4):640-641. [郭颂,魏立峰. 基于信息融合的身份识别技术[J]. 仪器仪表学报, 2004,25(4):640-641.]