

融合人脸轮廓和区域信息改进人脸检测

方昱春 王蕴红 谭铁牛

(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室 北京 100080)

摘要 基于人脸轮廓信息和面部区域信息的互补性,提出了一种新颖的基于融合算法的轮廓-区域人脸检测器:采用一种新的特征提取方法有效地刻画人脸轮廓模式;基于支持向量机分别训练人脸轮廓分类器和面部区域分类器;基于最小错误率 Bayes 决策规则融合人脸轮廓和面部区域分类器。该文分别在标准头部图像库、BioID 人脸图像库(灰度人脸图像库)和彩色人脸图像库上测试了轮廓-区域人脸检测器。大量的实验结果表明了所提出的轮廓-区域人脸检测器通过引入轮廓信息有效地提高了人脸检测算法的精度。

关键词 人脸检测;支持向量机;信息融合;最小错误率;Bayes 决策规则

中图法分类号 TP391

Improving Face Detection through Fusion of Contour and Region Information

FANG Yu-Chun WANG Yun-Hong TAN Tie-Niu

(National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Based on the complementarity of face contour and facial region, the paper proposes a novel contour-region face detector. A new feature extraction method is proposed to efficiently depict face contour pattern. Both Face-Contour-Classifier and the Facial-Region-Classifier are trained as Support Vector Machine models. Bayesian decision rule is adopted to fusing both Face-Contour- and Facial-Region- classifiers. The proposed face detector is tested on a standard head image database, BioID gray color face image database and a color face database. Experimental results demonstrate the efficiency of the proposed contour-region face detector.

Keywords face detection; support vector machine; information fusion; Bayes decision rule

1 引言

自动、准确和快速检测人脸是实现脸像分析的一项关键任务。同时,人脸检测算法在视频库和图像库的检索中也有重要的作用。尽管人脸是人类视觉中最普遍的模式之一,但是让计算机在静态图像或视频序列中检测人脸却是一项困难的任务,这主要是因为:(1)图像中人脸数目和尺寸的不确定性;(2)面

部姿态和表情的多样性;(3)光照条件的多变性;(4)成像背景的复杂性。

在近十年里,大量的研究试图解决这些难点^[1~25]。一般的人脸检测算法通过逐步减少图像中的冗余信息来实现目标区域的检测,如图 1 所示。首先,确定图像中的候选人脸区域;其次,利用人脸检测器判别候选人脸区域是否包含人脸;为了解决人脸尺寸的不确定性,前两个步骤往往在图像的多个分辨率上重复进行;最后,通过对前面步骤检测结果

收稿日期:2002-10-31;修改稿收到日期:2003-09-09。本课题得到国家自然科学基金(69825105,60332010)、国家“八六三”高技术研究发展计划基金(2001AA114180)资助。方昱春,女,1975 年生,博士,研究方向包括模式识别、图像处理、机器学习和计算机视觉。E-mail: {ycfang, wangyh, tnt}@nlpr.ia.ac.cn。王蕴红,女,1968 年生,副研究员,研究方向为生物特征识别。谭铁牛,男,1964 年生,博士,研究员,博士生导师,研究方向为生物特征识别、序列图像理解和数字水印。

的综合处理确定图像中人脸的大小和位置.

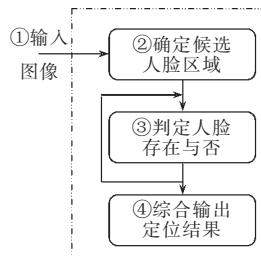
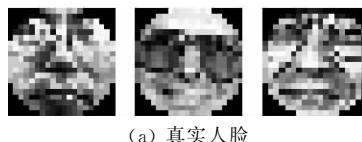


图 1 一般的人脸检测算法

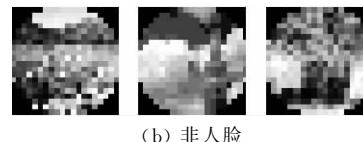
通常地,图像中人脸的位置是通过全图搜索方法来确定的.为了实现实时人脸检测,多分辨率方法^[1]、轮廓信息^[2]、面部特征点^[3~5]和肤色滤波器^[6~9]被采用来加速搜索过程.步骤②的功能是判定候选人脸区域为人脸或非人脸模式,被称为“人脸检测器”,是人脸检测的核心算法.一些研究者通过组合多项规则来实现人脸检测器算法^[1,2,4].另一类人脸检测器是模板匹配方法,研究者们采用了各种不同的基于区域^[6]、颜色^[7]、形状^[10]、图模型^[11,12]或边缘^[13]的人脸模板.其中最成功的人脸检测器是判

别候选区域为人脸或非人脸模式的统计模式分类方法^[8,9,14~24].在这类算法中,研究者们采用灰度共生矩阵^[14]、小波分析^[8,15,16]、矩方法^[9]、编码^[17]等多种算法来实现人脸模式的特征提取.广泛采用的分类器有支持向量机^[9,18,19]、神经网络^[21,22]和 Boosting^[16,24]等方法.通过采用基于积分图(integral image)的图像表示和基于 Adaboost 的分类器,Viola 和 Johns 的人脸检测算法^[16]有效地提高了基于统计模式分类的人脸检测算法的速度.Li 等^[24]进一步发展了这种算法,使其适应于多角度的人脸检测.

一般而言,基于统计模式分类的人脸检测器通过对面部区域和非面部区域样本的统计学习获得区分人脸和非人脸的分类器.因此,这种方法主要依赖面部器官分布的共性.尽管目前该方法相对于其它算法取得了较高的检测精度,然而,自然景物中存在的类面部区域使得面部区域和非面部区域难于区分.另外,一些经过预处理后的非面部区域具有和面部区域类似的灰度分布.如图 2 例示和参考文献 [20] 中图 3 的著名例示.



(a) 真实人脸



(b) 非人脸

图 2 类面部区域非人脸模式示例

在实际生活中,人的视觉系统检测目标区域往往不是简单地依赖某一种信息,高精度的检测结果往往是通过综合多种信息实现的.轮廓作为上下文信息在人的视觉系统的人脸检测中具有和面部区域同样重要的作用.基于这种观察,本文引入了轮廓信息,通过融合轮廓和区域提高人脸检测器的精度.轮廓信息在早期的人脸检测研究中曾经被大量使用^[2,10~12].以往的工作往往基于图像中存在少量人脸和图像背景相对简单的假设,基于最优化算法搜索和分析图像中的边缘,通过图匹配或模板匹配等来实现人脸检测,因此算法的效率低,而且适用范围狭窄.本文则通过特征提取获得能够有效刻画人脸轮廓模式的特征,通过统计学习的方法来判别人脸轮廓模式.

基于人脸轮廓和面部区域的互补性,本文通过融合算法实现了一种新颖的轮廓-区域人脸检测器.不同于其它利用整体头部信息进行人脸检测的算法,该人脸检测器分别采用了适用于轮廓和区域的

特征提取方法:人脸轮廓信息适于用边缘点的分布刻画,人脸面部特征则适于通过灰度分布刻画.这是因为,人脸轮廓的共同之处在于形状,而其灰度分布则因为发型、发色等其它因素非常复杂,利用边缘信息比利用灰度信息可以获得更大的类间差异和更小类内差异.基于相似的原因,灰度信息更适用表征面部复杂的人脸面部区域.最后,我们通过大量的实验验证了引入人脸轮廓信息的必要性和所提出轮廓-区域人脸检测器的鲁棒性.

本文第 2 节主要介绍了人脸检测器的特征提取算法,侧重于所提出的人脸轮廓模式的特征提取.第 3 节详细论述了轮廓-区域人脸检测器的分类器设计和融合算法的分析与实现.第 4 节中的实验与分析包括了人脸轮廓特征提取的有效性分析、轮廓-区域人脸检测器相关参数选择的实验及其在各个图像库上的人脸检测结果,并作了分析比较.最后,我们在第 5 节中总结了本文的工作.

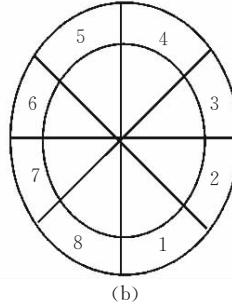
2 轮廓-区域人脸检测器的特征提取

2.1 人脸轮廓特征提取

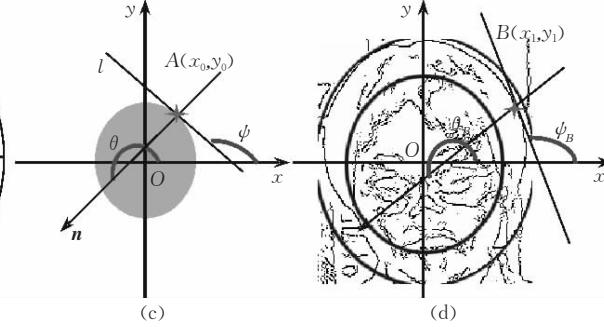
人的脸部和头部的轮廓可以被近似地看作椭圆形。因此在检测质量良好的边缘图像中，人的脸部和头部轮廓可以看作类椭圆。本文通过特征提取，对面部周围的椭圆环区域提取了一个 9 维的特征向量来刻画人脸轮廓模式，并且通过训练人脸轮廓分类器



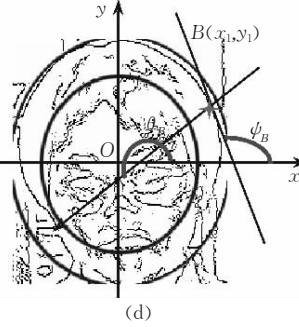
(a)



(b)



(c)



(d)

图 3 基于脸部轮廓的特征提取

第 9 维特征是基于边缘点的梯度方向和椭圆切线方向计算的。在一个标准的椭圆上任意选择边缘点 $A(x_0, y_0)$, 如图 3(c) 所示。过 A 作椭圆的切线 l , ψ 是 l 的倾角, 确定了椭圆方程和点 A , 则确定了角 ϕ 。设 A 点的边缘梯度方向为 n , 且 n 与横轴正方向的夹角为 θ , 令 $\phi = \begin{cases} \theta, & \theta \leq \pi \\ \theta - \pi, & \theta > \pi \end{cases}$, 可以证明 ϕ 和 ψ 的夹角满足式(1)。设椭圆上有 N 个边缘点, 则有式(2)成立。

$$|\phi - \psi| = \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| |\phi_i - \psi_i| - \frac{\pi}{2} \right| = 0 \quad (2)$$

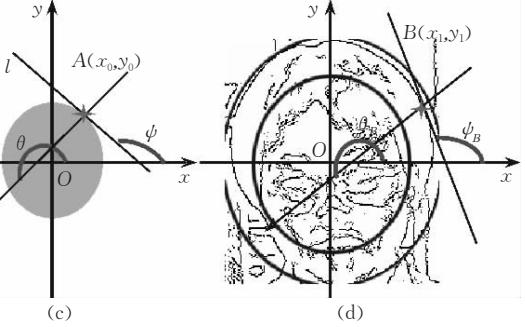
设 a 和 b 分别是椭圆环外椭圆的短半轴和长半轴。对于椭圆环内任意边缘点 $B(x_1, y_1)$ (见图 3(d)), 假定 B 位于一个和椭圆环同心并且和外椭圆具有相同长短轴比的椭圆上, 则可以通过式(3)确定 ϕ_B 。

$$\phi_B = a \tan\left(-\frac{b^2 x_1}{a^2 y_1}\right) \quad (3)$$

通过边缘检测, 我们可以计算出 θ_B 和相应的 ϕ_B 。当 $\left| |\phi_B - \psi_B| - \frac{\pi}{2} \right| \rightarrow 0$ 对于椭圆环内的所有边缘点成立时, 则可以认为这些边缘点围成了一个类椭圆。因此, 我们按照式(2)的左边计算表示人脸轮廓模式的第 9 个特征, 它以累计误差的形式反映了椭圆环区域内边缘点做成类椭圆的程度。

判断图像中的椭圆环区域是否属于类椭圆。

如图 3(a) 所示, 脸部和头部的轮廓可以被长、短轴比例恰当的两个椭圆所包围。因此我们通过对这个椭圆环区域内的边缘作特征提取以表征人脸轮廓模式。首先, 我们依照幅角把椭圆环八等分, 如图 3(b) 所示, 累加划分后的每一个子区域内的边缘点数, 并且用椭圆环周长和椭圆环内的边缘点数标准化该累加值, 作为刻画人脸轮廓模式的 8 维特征。它们反映了边缘点在椭圆环上的分布密度。



2.2 人脸轮廓特征提取

人脸面部特征的分布具有很强的共性, 如图 4(a) 所示, 面部区域被认为是空间分布确定的(spatially well-defined)模式之一^[20]。本文的面部区域分类器就是依赖这种信息判别图像中的一个方形子区域是否属于面部区域模式。

首先对方形子区域做预处理:(1)标准化尺寸为 20×20 ; (2)加掩模去除面部区域四角(每个角 17 个像素)的背景干扰; (3)通过直方图均衡归一化非掩模区域中的亮度分布。图 4(b) 给出了一个示例。预处理后非掩模区域中像素的灰度值作成了表征人脸区域的 332 维特征向量。



图 4 面部区域模式图例

3 轮廓-区域人脸检测器的分类器设计

3.1 基于支持向量机的面部特征和人脸轮廓分类器

我们采用了最小化结构风险的支持向量机作为面部区域特征和人脸轮廓特征的分类器。作为真实

风险的界,结构风险可以表示为经验风险和 VC 置信项(VC Confidence)之和^[27]. VC 置信项决定了分类器的推广能力. 实际应用中,结构风险最小化是通过调谐经验风险和推广能力来实现的. 由于支持向量机优于一般分类器的推广能力,我们采用了这种分类器. 可以认为,支持向量机首先把特征映射到高维空间,在高维空间中求解线性分类面,使得二类的间隔最大. 对于二分类问题,给定训练样本集 $\{(x_i, y_i)\}$, $i=1, 2, \dots, l$, 其中 $x_i \in R^N$, $y_i \in \{-1, 1\}$, 通过求解二次规划可以获得该问题的解,如式(4)所示.

$$f(x) = \sum_{i \in SV} \alpha_i y_i K(x_i, x) + b \quad (4)$$

其中, α_i 是 w 的非 0 元, SV 代表支持向量的集合. 通过引入满足 Mercer 条件的非线性核函数代替二次优化中的内积项, 支持向量机简便地实现了非线性分类^[27]. 对于大容量的训练样本集, 还需要采用分解算法实现二次规划问题的求解^[28]. 训练参数的选择决定了支持向量机在样本集上的分类性能. 由于实际应用领域的复杂性, 这一问题目前还没有从理论上得到解决. 参数选择只能通过在参数空间中的穷举搜索确定. 我们通过在局部参数空间中寻优, 确定了核函数和控制推广能力的间隔参数 c . 本文主要比较了以下 3 类核函数:

(1) 线性核函数 LF(Linear Function):

$$K(x, y) = x \cdot y \quad (5)$$

(2) 多项式核函数 PF(Polynomial Function):

$$K(x, y) = (x \cdot y + 1)^d \quad (6)$$

(3) 径向基核函数 RBF(Radial Basis Function):

$$K(x, y) = e^{-\frac{\|x-y\|^2}{2s^2}} \quad (7)$$

3.2 基于最小错误率 Bayes 决策规则的融合算法

仅仅依赖人脸轮廓分类器, 则会误判复杂背景中存在的类椭圆模式; 仅仅依赖面部区域分类器, 则会误判自然景物中的类面部区域. 而若将二者结合起来, 则可以以更高的精确度判定人脸和非人脸. 对于轮廓-区域人脸检测器, 融合算法是一个分类器, 它的输入特征是两个特征级分类器输出的匹配值. 因此, 融合分类器的作用是在这个二维匹配值空间中寻找一个分类面. 本文所提出的人脸轮廓分类器和面部区域分类器分别具有了一定的分类能力. 在此基础上, 我们采用了最小错误率 Bayes 决策规则来实现融合. 该分类器采用后验概率形成决策面, 从理论上使平均错误率最小. 我们通过融合面部区域分类器和人脸轮廓分类器输出的匹配值, 实现了轮廓-区域人脸检测器.

设待判样本 $x=(c_x, r_x)$, c_x 和 r_x 分别为人脸轮廓分类器和面部区域分类器的输出, 且设 x 属于人脸和非人脸的后验概率分别为 $P(F|x)$ 和 $P(\bar{F}|x)$. 按照 Bayes 公式, 有

$$P(F|x) = \frac{p(x|F)P(F)}{p(x|F)P(F) + p(x|\bar{F})P(\bar{F})} \quad (8)$$

$$P(\bar{F}|x) = \frac{p(x|\bar{F})P(\bar{F})}{p(x|F)P(F) + p(x|\bar{F})P(\bar{F})} \quad (9)$$

且可得负对数似然比形式的最小错误率 Bayes 决策规则^[29]:

$$-\ln p(x|F) + \ln p(x|\bar{F}) \geq \ln \frac{P(F)}{P(\bar{F})} = Threshold, \\ x \in \left\{ \begin{array}{l} F \\ \bar{F} \end{array} \right\} \quad (10)$$

由于我们所处理图像的复杂性和任意性, 并且搜索是在图像的整个范围内进行的, 可以假设人脸轮廓模式和面部区域模式在图像中的出现是相互独立的. 因此有

$$p(x|F) = p(c_x, r_x|F) = p(c_x|F)p(r_x|F) \quad (11)$$

$$p(x|\bar{F}) = p(c_x, r_x|\bar{F}) = p(c_x|\bar{F})p(r_x|\bar{F}) \quad (12)$$

将式(11), (12)代入式(10)得到轮廓-区域人脸检测器的最终决策规则

$$-\left[\ln p(c_x|F) + \ln p(r_x|F) \right] + \\ \left[\ln p(c_x|\bar{F}) + \ln p(r_x|\bar{F}) \right] \geq \ln \frac{P(F)}{P(\bar{F})} = \\ Threshold, \quad x \in \left\{ \begin{array}{l} F \\ \bar{F} \end{array} \right\} \quad (13)$$

对于 $p(c_x|F)$, $p(c_x|\bar{F})$, $p(r_x|F)$ 和 $p(r_x|\bar{F})$ 的估计, 我们采用极大似然估计分别拟合了正态分布、Beta 分布、Gamma 分布、Weibull 分布和非参数的 Parzen 窗密度估计方法, 并且通过 Kolmogorov-Smirnov 拟合优度的假设检验选择拟合最优的密度函数. 对于 $p(c_x|F)$ 和 $p(c_x|\bar{F})$, 我们选择了 Parzen 窗密度估计方法拟合, 并且采用了拟合结果相对光滑的高斯函数作为窗函数, 具体概率密度形式如式(14).

$$f(x|N, h_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{V_N} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_i)^2}{2h_N^2}} \quad (14)$$

其中, x_i 为第 i 个样本, N 为样本数, h_N 和 V_N 分别为采样的窗边长和窗体积. 对于 $p(r_x|F)$ 和 $p(r_x|\bar{F})$,

我们分别拟合了 Weibull 分布和正态分布, 概率密度函数的形式如式(15), (16)所示.

$$f(x | a, b) = abx^{(b-1)} e^{-ax^b} \quad (15)$$

$$f(x | u, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} \quad (16)$$

具体的比较分析和拟合结果见本文实验第 4.1.3 节. 第 4.2 节中的实验说明了所提出人脸检测器的有效性.

4 实验与分析

在本文的实验中, 我们采用了 ROC 曲线来反映验证分类器的分类性能. ROC 曲线是错误拒绝率 FRR(False Rejection Rate)关于错误接受率 FAR(False Acceptance Rate)的曲线. 这两类错误之间存在相互制约的关系, 一个好的算法应当能够保证二者都比较低. 由于 FRR 和 FAR 的等错误率点代表了平均错误率最小的点, 因而对算法评估具有较高的价值, 我们在 ROC 曲线中用虚线标注了等错误率点.

4.1 轮廓-区域人脸检测器的训练

根据上述分析, 我们分别训练了人脸轮廓分类器、面部区域分类器和轮廓-区域人脸检测器. 我们采用了 6228 个正样本和 9174 个负样本训练人脸轮廓分类器, 采用了 6228 个正样本和 13600 个负样本训练面部区域分类器, 采用了 5904 个正样本和 9414 个负样本训练轮廓-区域分类器.

4.1.1 人脸轮廓特征有效性比较

首先, 我们采用了如下两个统计量分析了所提取的各维人脸轮廓特征的有效性: (1) 正样本集上的标准差 (Std); (2) 基于 Fisher 准则的正、负样本集上的可区分度 (D). 按照前者, 若 Std 值小, 则该维特征的散度小, 因而该维特征更稳定. 按照后者, 由

于 Fisher 准则是类内散度和类间散度的比, D 值大, 则该维特征可以区分正负样本的能力相应较强. 表 1 中分别记录了 9 维轮廓特征的 Std 和 D 值.

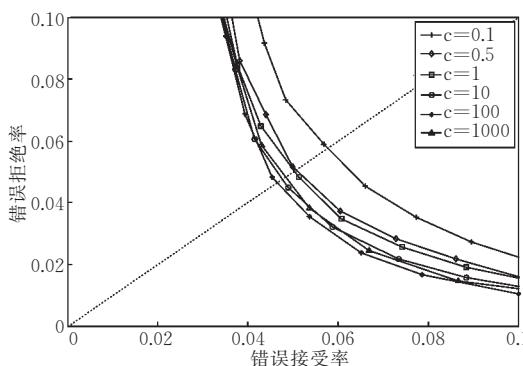
表 1 人脸轮廓模式各维特征有效性的比较

| 维数 | Std | D |
|----|--------|--------|
| 1 | 0.0636 | 0.3074 |
| 2 | 0.0673 | 0.2860 |
| 3 | 0.0639 | 0.1905 |
| 4 | 0.0658 | 0.1036 |
| 5 | 0.0666 | 0.0660 |
| 6 | 0.0637 | 0.1824 |
| 7 | 0.0659 | 0.2681 |
| 8 | 0.0630 | 0.3002 |
| 9 | 0.0138 | 1.5491 |

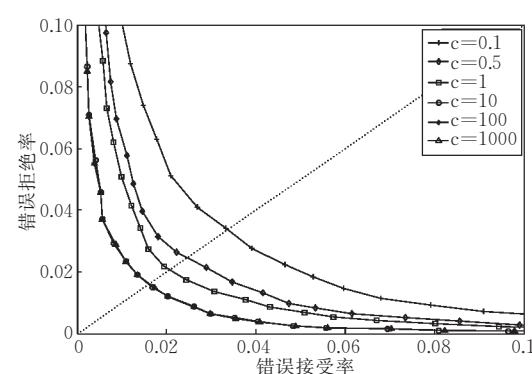
从表 1 中我们可以观察到, 表征类椭圆度的第 9 维特征的 Std 值显著的小于其余 8 维特征, 并且相应的 D 值显著地大于其余 8 维特征. 因此, 第 9 维特征对人脸轮廓分类器的贡献最大. 而比较前 8 维表征边缘点分布密度的特征, 我们发现第 4, 5 维的 Std 值相对略大而 D 值相对略小. 参照图 4(b) 可知, 这两维特征分别反映了人脸上部的边缘点分布密度. 由于人的发型的多样性, 因此这两维特征不稳定且可分离度略弱是正常的.

4.1.2 支持向量机的参数确定

支持向量机参数的选择依据是多种多样的. 在我们的实验中, 以反映分类器精度的 ROC 曲线为主要标准和以决定分类器速度的支持向量数目选择参考标准, 确定了支持向量机的核函数和参数. 由于篇幅限制, 我们仅仅在此通过图 5 和表 2 给出了精度和速度分析的例示. 图 5(a) 和 (b) 分别表示人脸轮廓分类器和面部区域分类器随 c 变化而得到的 ROC 曲线. 观察图 5(a), $c=100$ 时分类器的效果最佳. 观察图 5(b), 随着 c 值增加到 10, 分类器的效果不再明显增加. 表 2 列出了支持向量数目和每 1 万个样本的计算速度. 通过对两个参数的反复测试, 我



(a) 人脸轮廓分类器 c 的选择 (核函数为 PF, $d=3$)



(b) 面部区域分类器 c 的选择 (核函数为 RBF, $s^2=25$)

图 5 参数 c 的比较与选择

们综合 ROC 曲线所反映的分类精度和支持向量数所决定的分类速度,对人脸轮廓分类器选择了 $c=100$, $s^2=0.5$ 的 RBF 核函数,对面部区域分类器选择了 $c=10$, $s^2=35$ 的 RBF 核函数.

表 2 支持向量数目和计算时间比较

| 核函数 | 支持向量数 | 计算时间(s/10000样本) |
|-------------------|-------|-----------------|
| LF | 2103 | 0.007 |
| PF($d=2$) | 1244 | 12.2 |
| PF($d=3$) | 1158 | 11.2 |
| RBF($s^2=1$) | 1271 | 11.8 |
| RBF($s^2=0.5$) | 1167 | 10.7 |
| RBF($s^2=0.25$) | 1080 | 9.8 |

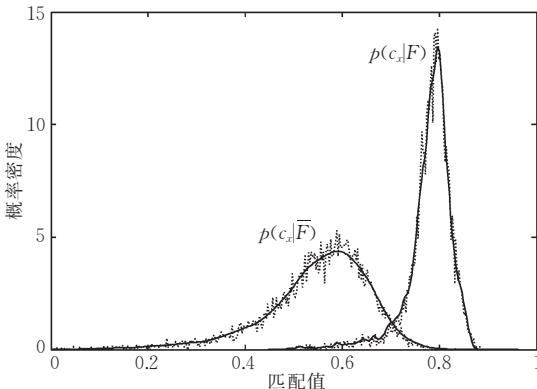
4.1.3 人脸轮廓分类器和面部区域分类器匹配值的概率密度的拟合

由于一些标准的参数分布对随机变量的取值范围有特定要求,例如,Beta 分布的随机变量定义域为 $[0,1]$.因此,我们首先通过线性变换把人脸轮廓分类器和面部区域分类器所输出的匹配值映射到 $[0,1]$,然后对变换后的匹配值作分布拟合试验.其中,线性

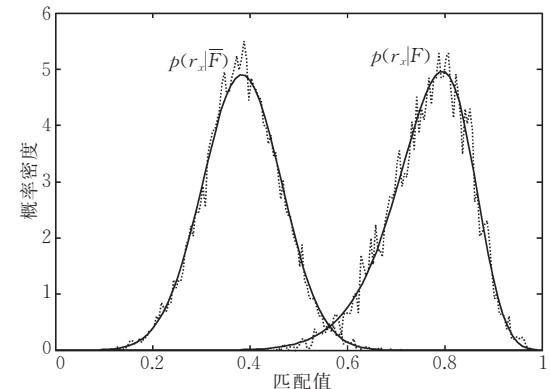
变换的参数是通过对训练样本的匹配值进行统计确定的.首先,采用极大似然法估计各类待选分布的参数.对于所拟合的分布,我们采用了 Kolmogorov-Smirnov 假设检验方法作拟合优度检验.表 3 列出了各个分布的检验统计量值和置信水平为 0.05 时的检验临界值.当检验统计量的值小于临界值,则我们在该置信水平下保留该假设.观察表 3,我们发现对于 $p(c_x|F)$, $p(c_x|\bar{F})$, $p(r_x|F)$ 和 $p(r_x|\bar{F})$, 检验统计量的最小值分别在拟合 Parzen 窗、Parzen 窗、Weibull 分布和正态分布时获得,并且后三者都小于临界值.对于 $p(c_x|F)$, 尽管检验统计量的值大于临界值,但是相对于其它分布,其拟合优度最接近临界值.因此我们对 $p(c_x|F)$, $p(c_x|\bar{F})$, $p(r_x|F)$ 和 $p(r_x|\bar{F})$, 分别拟合了 Parzen 窗、Parzen 窗、Weibull 分布和正态分布.拟合结果如图 6 所示,其中虚线为样本直方图曲线,实线为我们所拟合的概率密度曲线.虚、实曲线的吻合程度从直观上说明了所拟合分布的合理性.

表 3 分布拟合优度的 Kolmogorov-Smirnov 假设检验结果

| | 正态分布 | Beta 分布 | Gamma 分布 | Weibull 分布 | Parzen 窗 | 临界值 |
|------------------|--------|---------|----------|------------|----------|--------|
| $p(c_x F)$ | 0.1587 | 0.1379 | 0.1730 | 0.0867 | 0.0501 | 0.0249 |
| $p(c_x \bar{F})$ | 0.0824 | 0.0926 | 0.1267 | 0.0501 | 0.0168 | 0.0198 |
| $p(r_x F)$ | 0.0658 | 0.0310 | 0.0776 | 0.0245 | — | 0.0249 |
| $p(r_x \bar{F})$ | 0.0152 | 0.0174 | 0.0304 | 0.0374 | — | 0.0169 |



(a) 人脸轮廓分类器匹配值概率密度拟合



(b) 面部区域分类器匹配值概率密度拟合

图 6 概率密度拟合结果

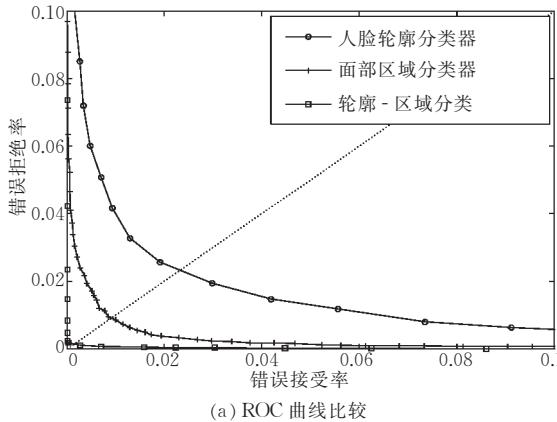
4.2 轮廓-区域人脸检测器的性能评估

我们通过比较实验测试了所提出的人脸检测器判别人脸和非人脸模式的能力. 测试集由正样本集(5904 幅手工剪裁好的头部图像)和负样本集(8885 幅从动物、景物等其它图片中随机剪裁的、与头部具有类似纵横比的子图像)组成. 通过 ROC(Receiver Operating Curve) 曲线, 我们比较了人脸轮廓分类器、面部区域分类器和轮廓-区域人脸检测器, 如图 7 (a) 所示.

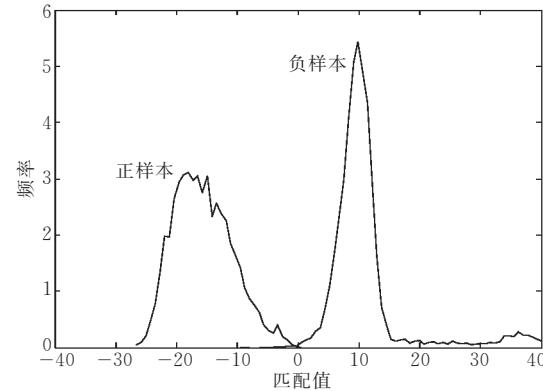
通过比较图 7(a) 中人脸轮廓分类器、面部区域分类器和轮廓-区域人脸检测器的 ROC 曲线, 我们可以观察到基于融合算法的轮廓-区域人脸检测器的分类效果显著地优于人脸轮廓分类器和面部区域分类器. 图 7(b) 是基于该测试集所得到的轮廓-区域人脸检测器匹配值的直方图, 通过和图 6(a), (b) 的比较, 同样直观地证明了我们所实现的轮廓-区域人脸检测器区分人脸和非人脸的高精度. 由于人脸检测器是人脸检测算法的一个关键环节, 即使是很

小的误差也会导致整体的人脸检测算法较高的错误率,因此我们所实现的高性能的轮廓-区域人脸检测

器保证了人脸检测算法的高准确度.



(a) ROC 曲线比较



(b) 轮廓-区域人脸检测器匹配值直方图

图 7 人脸检测器比较

4.3 轮廓-区域人脸检测器在人脸检测中的应用

按照图 1 中的人脸检测算法检测人脸框架:通过在图像的多个分辨率上进行全图搜索确定人脸的大小和位置;通过人脸检测器来判别人脸和非人脸模式,我们分别在灰度人脸图像库和彩色人脸图像库上应用了所提出的轮廓-区域人脸检测器.对于彩色图像,我们首先采用肤色滤波器^[26]确定图像中的肤色区域.然后对图像进行逐窗搜索,依据图像子窗中肤色区域的分布和面积确定当前搜索区域是否为候选人脸.在多分辨率的搜索过程中,为了适应正面人脸在一般范围内的旋转变化,我们选择了覆盖候选人脸区域的、符合人脸统计的三种不同长短轴比(分别为 1.41, 1.25 和 1.13)的多个椭圆环区域.对它们分别提取特征输入人脸轮廓分类器,并且通过比较其输出值选择能最优秀表征人脸轮廓模式的椭圆

环区域.最后,通过后处理综合各个分辨率上的检测结果并输出最终的人脸检测结果.

4.3.1 人脸检测算法在灰度图像库上的测试

我们在 BioID 库^①(最新的公开测试库之一)上测试了所提出的人脸检测器. BioID 库是目前公开发布的最大的人脸检测算法测试图像库,由 1521 幅包含丰富面部表情变化和一定范围内姿态变化的灰度人脸室内图像组成.在该人脸库中,我们采用的候选人脸区域的搜索范围是从 60×60 到 180×180 的图像子区域. 检测结果如图 8 例示,小的方形框代表面部区域,大的矩形框代表人脸轮廓区域. 观察图 8 中的检测结果,我们发现轮廓区域人脸定位器可以在一定程度上获取面部区域和人脸轮廓之间的相对位置关系,这对于人脸姿态估计和人脸识别有着潜在的应用价值.



图 8 在 BioID 库中的检测结果示例

4.3.2 人脸检测算法在彩色图像库中的测试

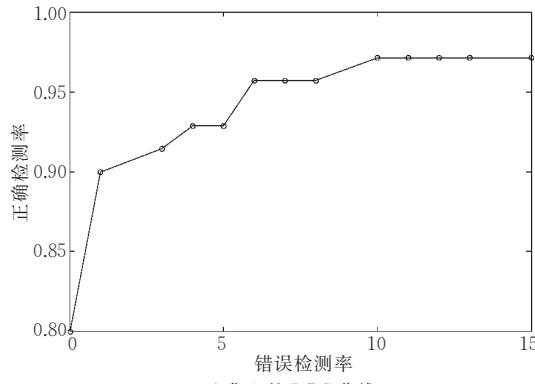
我们所采用的彩色人脸图像库由不限定获取条件的、具有较广泛代表性的图像组成:半数以上是从互联网上下载收集的任意图片,另外还包括扫描的照片、用 CCD 摄像头和数码相机拍摄到的图像.根据潜在应用领域的差异,我们将整个测试集划分为 A 集和 B 集. 前者由 65 幅人脸大小相对较大、背景相对简单的图像组成. 后者由 72 幅复杂图像组成,其中包括复杂室外背景下拍摄的图像、包含大小不

一的多人脸的图像以及人脸尺寸非常小(20×20)的图像,对人脸检测工作具有很高的挑战性(如图 11 例示). 在 A 集上,候选人脸为从 60×60 到 120×120 的图像子区域;在 B 集上,候选人脸为从 20×20 到 60×60 的图像子区域. 对于每一幅图像,我们由低向高以 1.05 为分辨率变化比率作了多分辨率搜索.

我们采用了经典的人脸检测评价方法——错误

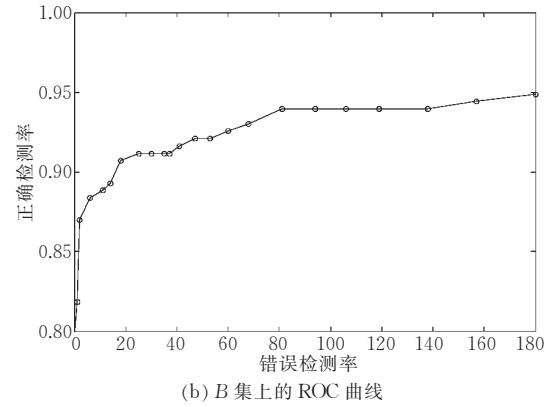
^① <http://www.bioid.com/technology/facedatabase.html>.

检测数关于正确检测率的 ROC 曲线,在 A,B 集上分别评估了我们的算法。我们在 A 集和 B 集上统计得到的检测结果分别如图 9(a),(b) 所示。我们可以看到,在两个测试集上都取得了较高的正确检测率,A 集上的检测结果略好于 B 集。



(a) A 集上的 ROC 曲线

图 10 和图 11 是按照图 9 中正确检测率趋于饱和的点对应的阈值获得的一些检测结果例示。我们可以观察到,所提出的轮廓-区域人脸检测器对人脸的局部遮挡、对面部表情变化、人脸的平面旋转和深度旋转都有一定的适应性。



(b) B 集上的 ROC 曲线

图 9 彩色图像库中的定位结果比较

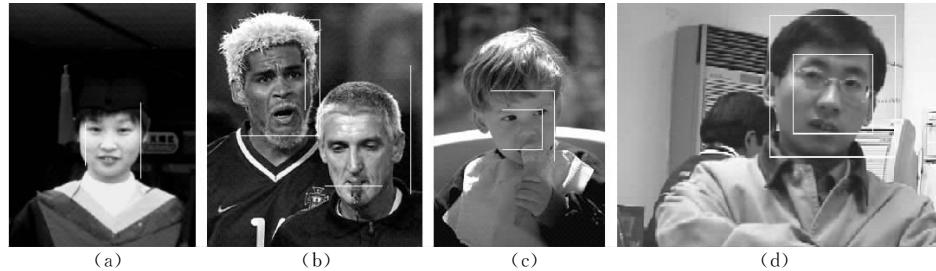


图 10 A 集上的几个检测结果图例

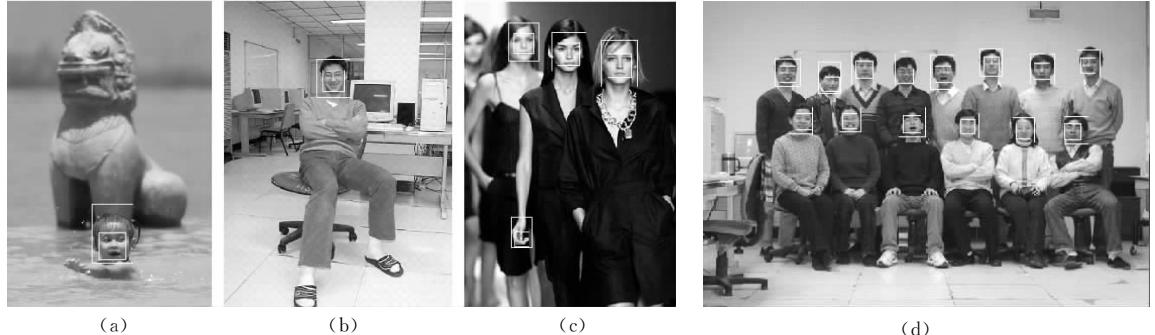


图 11 B 集上的几个检测结果图例

5 结论和展望

本文提出了一种新颖的基于融合算法的轮廓-区域人脸检测器。融合多源信息进行目标检测和人类生物视觉的机理是一致的。本文主要贡献在于:(1)提出了能够有效刻画人脸轮廓模式的特征提取方法;(2)轮廓-区域人脸检测器通过人脸轮廓分类器和面部区域分类器的互补提高了候选人脸判别的准确率。大量的实验分析表明:(1)融合多源信息的

人脸检测算法可以获得更高的检测精度;(2)轮廓-区域人脸定位器的检测结果可以在一定程度上反映面部区域和人脸轮廓的相对位置关系,具有用于估计人脸姿态的潜在价值。今后的工作中,我们将考虑通过 Bootstrapping 方式的训练提高人脸检测器的精度,采用 Boosting 方法训练分类器提高人脸检测器的速度,并且进一步改进融合算法的结构,不仅实现轮廓信息和区域信息的并行融合,同时把轮廓信息用于串行融合和后处理,并且在这些工作的基础上,实现高精度、高速度的人脸检测系统。

致 谢 感谢中央民族大学魏凤荣教授和北京大学钱敏平教授对分布拟合和假设检验问题给予的热情指导,感谢德国多特蒙德大学 Joachims 博士提供 SVM-light 应用程序用于本文研究。

参 考 文 献

- 1 Yang G., Huang T. S. Human face detection in a complex background. *Pattern Recognition*, 1994, 27(1): 53~63
- 2 Govindaraju V.. Locating human faces in photographs. *International Journal of Computer Vision*, 1996, 19(2): 129~146
- 3 Kin C. Y., Cipolla R.. Feature-based human face detection. *Image and Vision Computing*, 1997, 15(9): 713~735
- 4 Miao J., Yin B. *et al.*. A hierarchical multiscale and multiangle system for human face detection in a complex background using gravity-center template. *Pattern Recognition*, 1999, 32(5): 1237~1248
- 5 Han C., Liao H. M. *et al.*. Fast face detection via morphology-based pre-processing. *Pattern Recognition*, 2000, 33(10): 1701~1712
- 6 Cai J., Goshtasby A.. Detecting human faces in color images. *Image and Vision Computing*, 1999, 18(1): 63~75
- 7 Wu H., Chen Q., Yachida M.. Face detection from color images using a fuzzy pattern matching method. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(6): 557~563
- 8 Garcia C., Tziritas G.. Face detection using quantized skin color regions merging and wavelet packet analysis. *IEEE Transactions on Multimedia*, 1999, 1(3): 264~277
- 9 Terrillon J. C., Shirazi M. N. *et al.*. Invariant face detection with support vector machine. In: Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition, Barcelona, 2000, 4: 210~217
- 10 Wang J., Tan T.. A new face detection method based on shape information. *Pattern Recognition Letters*, 2000, 21(6~7): 463~471
- 11 Leung T. K., Burl M. C., Perona P.. Finding faces in cluttered scenes using random labeled graph matching. In: Proceedings of the 5th International Conference on Computer Vision, Cambridge, 1995, 637~644
- 12 Sirohey S. A.. Human face segmentation and identification. Computer Vision Laboratory, University of Maryland: Technical Report CS-TR-3176, 1993
- 13 Jesorsky O., Kirchberg K. J., Frischholz R. W.. Robust face detection using the hausdorff distance. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication, Halmstad, Sweden, 2001, 90~95
- 14 Dai Y., Nakano Y.. Face-texture model based on SGLD and its application in face detection in a color scene. *Pattern Recognition*, 1996, 29(6): 1007~1017
- 15 Papageorgiou C. P., Oren M., Poggio T.. A general frame- work for object detection. In: Proceedings of International Conference on Computer Vision, India, 1998, 555~562
- 16 Viola P., Jones M.. Robust real-time object detection. COMPAQ Cambridge Research Laboratory: Technical Report A. I. Memo No. 1687, 2001
- 17 Roth D., Yang M.-H., Ahuja N.. A SNOW-based face detector. In: Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems, 2000, 12: 855~861
- 18 Heisele B., Poggio T., Pontil M.. Face detection in still gray images. Massachusetts Institute of Technology: Technical Report A. I. Memo No. 1687 of Massachusetts Institute of Technology, 2000
- 19 Osuna E., Freund R., Girosi F.. Training support vector machines: An application to face detection. In: Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Juan, Puerto Rico, 1997, 130~136
- 20 Sung K., Poggio T.. Example-based learning for view-Based human face detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20(1): 39~50
- 21 Rowley H. A., Baluja S., Kanade T.. Neural network-based face detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20(1): 23~38
- 22 Schneiderman H., Kanade T.. Probabilistic modeling of local appearance and spatial relationships for object recognition. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Santa Barbara, CA, 1998, 45~51
- 23 Feraud R., Bernier O. J. *et al.*. A fast and accurate face detector based on neural networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, 23(1): 42~53
- 24 Li S. Z., Zhu L., Zhang Z. Q. *et al.*. Statistical learning of multi-view face detection. In: Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision. Copenhagen, 2002, Part VI, 67~81
- 25 Yang M., Kriegman D. K., Ahuja N.. Detecting faces in images: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(1): 1~25
- 26 Fang Y., Tan T.. A novel adaptive color segmentation algorithm and its application to skin detection. In: Proceedings of the 11th British Machine Vision Conference, BMVA, 2000, 1: 23~31
- 27 Burges C. J. C.. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1998, 2(2): 121~167
- 28 Joachims T.. Making large-scale SVM learning practical. Scholkopf *et al.* ed. *Advances in Kernel Methods-Support Vector Learning*, Chapter 11, MIT Press, 1999
- 29 Bian Zhao-Qi, Zhang Xue-Gong. *Pattern Recognition*. 2nd Edition. Beijing: Publish of Tsinghua University, 2002, 9~82(in Chinese)
- (边肇祺, 张学工. 模式识别. 第二版. 北京: 清华大学出版社, 2002, 9~82)

**FANG Yu-Chun**, born in 1975,

Ph. D.. Her research interests include pattern recognition, image processing, machine learning and computer vision.

WANG Yun-Hong, born in 1968, associate professor.

Her current research interests include biometrics, statistical pattern recognition and digital image processing.

TAN Tie-Niu, born in 1964, Ph. D., professor and Ph.

D. supervisor. His current research interests focus on personal identification based on biometrics, visual surveillance and digital watermarking.

第一届全国 Web 信息系统及其应用会议(WISA2004)

征文通知

由电子政务与办公自动化专业委员会主办、华中科技大学、东南大学与武汉大学承办,将于 2004 年 10 月在武汉召开。

本次会议的主题是“Web 时代的电子政务”,将在 Web 技术、信息系统、电子政务与办公自动化等方面进行深入广泛学
术交流。会议将为来自国内外的研究者、开发者和用户提供一个 Web 时代信息论坛,交流有关 Web 信息系统应用的成果和经
验,探讨 Web 时代的电子政务所面临的关键性挑战问题和研究方向。

会议期间除进行会议论文交流外,还将邀请著名学者作特邀报告,举办研讨会、专题讨论会/会议论文将由其它著名计算机核心期刊发表或由中央级出版社出版论文集。

征文范围(包括但不限于)

Web 信息挖掘与检索

Web 站点逆向工程与维护技术

语义 Web 与智能 Web

Web 测试与 Web 应用的质量保证

Web 与网格计算

多媒体数据管理

Web 与数据库技术

工作流模型

XML 与半结构化数据管理

组件与中间件技术

Web 信息系统环境与基础

代理技术及信息管理

Web 应用框架和体系结构

自动文本索引与分类技术

Web 与信息系统安全性

决策支持与分析技术

Web 信息系统开发工具

电子政务与电子商务框架及应用

Web 系统度量与分析技术

电子政务与办公自动化发展现状与趋势

来稿要求

本次会议只接受 Email 投稿。

所有来稿请先投中文稿(优秀论文审后再译成英文稿),一般不超过 6000 字,由于出版论文集,来稿须附中英文摘要、关键词、资助基金与主要参考文献,注明作者及主要联系人姓名、工作单位、详细通信地址(含 Email 地址)与作者简介。

联系地址

大会网址:<http://cse. seu. edu. cn/pcegoa/conf/wisa2004/>

论文投稿地址:210096 南京 东南大学计算机科学与工程系 徐宝文 周晓宇(zhouxy@seu.edu.cn)

研讨会与专题讨论会联系地址:100872 北京 中国人民大学信息学院 孟小峰(xfmeng@ruc.edu.cn)

重要日期

征文截止日期:2004 年 4 月 30 日

录用通知发出日期:2004 年 6 月 10 日