

人脸检测方法综述^{*}

赵丽红, 刘纪红, 徐心和
(东北大学 人工智能与机器人研究所, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 人脸图像处理包括人脸检测、人脸识别、人脸跟踪、姿态估计和表情识别等。为了构造自动处理人脸图像的信息系统, 首先需要鲁棒、有效的人脸检测算法。分析了有关人脸检测问题的研究方法, 并对其进行了分类和评价。从基于知识的方法、特征不变方法、模板匹配方法和基于外观的方法等四个方面介绍了相关的算法和理论, 分析了各种方法的优缺点, 并提出了关于人脸检测问题的进一步研究方向。

关键词: 人脸检测; 人脸识别; 基于视觉的识别; 统计模式识别; 机器学习

中图法分类号: TP391. 41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3695(2004)09-0001-04

A Survey of Human Face Detection

ZHAO Li-hong, LIU Ji-hong, XU Xin-he
(Institute of Artificial Intelligence & Robotics, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110004, China)

Abstract: Research efforts in face image processing include face detection, face recognition, face tracking, pose estimation, expression recognition and so on. To build fully automated systems that analyze the information contained in face images, robust and efficient face detection algorithms are essentially required. The purpose of this paper is to categorize and evaluate these algorithms including knowledge-based methods, feature invariant approaches, template matching methods and appearance-based methods. After analyzing these algorithms and identifying their limitations, we conclude with several promising directions for future research.

Key words: Face Detection; Face Recognition; View-based Recognition; Statistical Pattern Recognition; Machine Learning

1 引言

近年来, 人脸和面部表情识别已经吸引了更多科研人员的注意。任何人脸处理系统的第一步都是检测人脸在图像中的位置。然而, 从一幅图像中检测人脸是一项极具挑战性的任务, 因为其尺度、位置、方向和位姿都是变化的, 面部表情、遮挡和光照条件也是变化的。

人脸检测(Face Detection)是指在输入图像中确定所有人脸(如果存在)的位置、大小和位姿的过程。人脸检测作为人脸信息处理中的一项关键技术, 近年来已成为模式识别与计算机视觉领域内一项受到普遍重视, 研究十分活跃的课题。

人脸识别或辨认、人脸定位以及人脸追踪等都与人脸检测密切相关。人脸定位的目的是确定图像中人脸的位置。假设一幅图像中只存在一张脸, 则面部特征检测的目的是检测特征的存在和位置, 如眼睛、鼻子(鼻孔)(眉毛)(嘴)(嘴唇)耳朵等。人脸识别或辨认是将输入图像与数据库中的图像比对, 如果存在, 报告匹配结果。人脸识别的目的是检验输入图像中的个体的身份, 而人脸追踪方法是实时地、连续地估计在图像序列中的人脸的位置和可能的方向。面部表情识别涉及识别人类的情感状态(高兴、悲伤、厌恶等)。很明显, 在任何解决上述问题的自动识别系统中, 人脸检测是第一步。

从一幅图像中检测人脸的方法可以分为以下四种:^[1]。

- (1) 基于知识的方法(Knowledge-based Methods)。它将典型的人脸形成规则库对人脸进行编码。通常, 通过面部特征之间的关系进行人脸定位。
- (2) 特征不变方法(Feature Invariant Approaches)。该算法的目的是在姿态、视角或光照条件改变的情况下找到存在的结构特征, 然后使用这些特征确定人脸。
- (3) 模板匹配方法(Template Matching Methods)。存储几种标准的人脸模式, 用来分别描述整个人脸和面部特征; 计算输入图像和存储的模式间的相互关系并用于检测。
- (4) 基于外观的方法(Appearance-based Methods)。与模板匹配方法相反, 从训练图像集中进行学习从而获得模型(或模板), 并将这些模型用于检测。

2 基于知识的方法

基于知识的方法是基于规则的人脸检测方法, 规则来源于研究者关于人脸的先验知识。一般比较容易提出简单的规则来描述人脸特征和它们的相互关系, 如在一幅图像中出现的人脸, 通常具有互相对称的两只眼睛、一个鼻子和一张嘴。特征之间的相互关系可以通过它们的相对距离和位置来描述。在输入图像中首先提取面部特征, 确定基于编码规则的人脸候选区域。

这种方法存在的问题是很难将人类知识转换为明确定义的规则。如果规则是详细的(严格的), 由于不能通过所有的规则检测可能失败; 如果规则太概括(通用), 可能会有较高的错误接收率。此外, 很难将这种方法扩展到在不同的位姿下检

测人脸, 因为列举所有的情况是一项很困难的工作。

Yang 和 Huang 使用分层的基于知识的人脸检测方法^[2], 他们的系统由三级规则组成。在最高级, 通过扫描输入图像的窗口和应用每个位置的规则集找到所有可能的人脸候选区。较高级的规则通常描述人脸看起来像什么, 而较低级的规则依赖于面部特征的细节。多分辨率的分层图像通过平均和二次采样生成, 如图 1 所示。编码规则通常在较低的分辨率下确定人脸的候选区, 包括人脸的中心部分(图 2 中较浅的阴影部分), 其中有四个基本上相同的灰度单元。

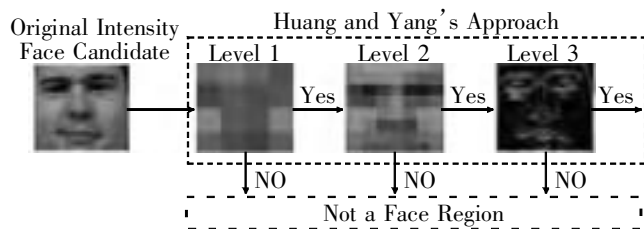


图 1 分层图像

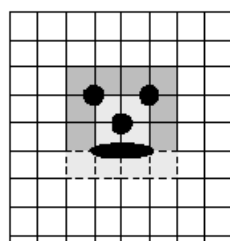


图 2 人脸候选区

在人脸的上层周围部分具有相同的灰度。人脸的中心部分和上层周围的灰度不同。最低分辨率的 (Level 1) 图像用于搜索人脸的候选区并在后面较精细的分辨率下作进一步处理。在 Level 2 完成人脸候选区的局部直方图均衡化, 并进行边缘检测。继续存在的候选区在 Level 3 用其他的人脸特征, 如眼睛、嘴等对应的规则进行检查。这种方法的特点是用从粗一细的策略来减少所需要的计算, 虽然它没有很高的检测率, 但采用多分辨率分层的思想和指导搜索的规则已经用到后面的人脸检测工作中^[3]。

Kotropoulos 和 Pitas^[3] 提出了一种类似于文献[1]的基于规则的定位方法。用投影方法确定面部特征, $I(x, y)$ 是 $m \times n$ 图像中 (x, y) 位置的灰度值, 图像的水平投影定义为 $HI(x) = \sum_{y=1}^n I(x, y)$ 和 $VI(y) = \sum_{x=1}^m I(x, y)$ 。通过在 HI 中的急剧变化检测到两个局部最小点, 它对应于头部的左右两边, 获得输入图像的水平轮廓。类似地, 获得垂直的轮廓, 局部最小点的确定用于定位嘴唇、鼻尖和眼睛。这些检测到的特征组成了面部候选区。

李华胜等人提出通过区域增长从人脸图像中分割出人脸, 再利用边缘检测、Hough 变换、模板匹配和方差投影技术可以快速有效地提取出人脸面部器官, 如眼睛、鼻子和嘴巴等特征。实验结果表明其所采用的方法具有较高的准确率 (95.5%) 和光照鲁棒性^[4]。

姜军等人提出了一种基于知识的快速人脸检测方法^[5]。采用符合人脸生理结构特征的人脸镶嵌图模型。在分析了足够多的人脸图像样本基础上, 针对人脸图像的灰度和边缘信息, 建立了一种较为完备的知识库; 为加快检测速度, 采用了多级检测步骤。实验结果表明, 其方法具有较强的鲁棒性, 能够很好地解决复杂背景下的多人脸检测问题。

卢春雨等人^[6]对镶嵌图方法进行了改进, 按照人脸器官

的分布将人脸划分为 3×3 个马赛克块, 在检测中自适应地调整各块的大小, 使用一组基于各块灰度和梯度统计特征的知识规则检验该区域是否为人脸, 取得了较好的实验结果。

3 基于特征的方法

基于特征的方法不仅可以从已有的面部特征而且可以从它们的几何关系进行人脸检测。与基于知识的方法相反, 它是寻找人脸的不变特征用于人脸检测。人们已经提出了许多先检测人脸面部特征, 后推断人脸是否存在的方法。面部特征, 如眉毛、眼睛、鼻子、嘴和发际, 一般利用边缘检测器提取, 根据提取的特征, 建立统计模型描述特征之间的关系并确定存在的人脸。基于特征的算法存在的问题是, 由于光照、噪声和遮挡等使图像特征被严重地破坏, 人脸的特征边界被弱化, 阴影可能引起很强的边缘, 而这些边缘可能使得算法难以使用。

Sirohey 提出了从复杂的背景中分割人脸进行人脸识别的定位方法^[7]。它使用边缘图和启发式算法来去除和组织边缘, 而只保存一个边缘轮廓, 然后用一个椭圆拟合头部区域和背景间的边界。Graf 等人提出定位灰度图像的面部特征和人脸的检测方法^[8]。在滤波以后, 用形态学的方法增强具有高亮度、含有某些形状(如眼睛)的区域。Leung 等人提出一种基于局部特征检测器和任意图匹配的概率方法, 在复杂场景中定位人脸^[9]。其目标是找到确定的面部特征的排列。典型的人脸用五个特征(两只眼睛、两个鼻孔和鼻子与嘴唇的连接处)来描述。Yow 和 Cipolla 提出了一种基于特征的方法^[10,11]。在第一阶段, 应用了二阶微分 Gaussian 滤波器, 在滤波器响应的局部最大点检测感兴趣的点, 指出人脸特征可能的位置; 第二阶段, 检查感兴趣点周围的边缘并将它们组成区域。这种方法的优点是可以在不同的方向和位姿上检测人脸^[12]。Han 等人提出了一种基于形态学的技术进行眼部分割进而实现人脸检测的方法^[13]。他们认为眼睛和眼眉是人脸最突出和稳定的特征, 特别适合人脸检测。

彭进业等人提出了一种在图像的反对称双正交小波分解数据域中, 实现多尺度对称变换的方法, 并将它应用于脸部图像中主要特征点的定位^[15]。王延江等人提出了一种快速的彩色图像中复杂背景下人脸检测方法^[16]。其方法首先计算对彩色图像中与人的肤色相似的像素进行聚类, 然后利用小波分解对每一个候选区域进行人脸特征分析, 如所检测到的区域特征分布与某一预先定义的人脸模型相似, 则确认该区域代表人脸。

在人脸检测和手的跟踪等许多应用中, 已经使用了人类的皮肤颜色作为特征^[17~23]。虽然不同的人有不同的皮肤颜色, 研究表明主要的不同在于它们的亮度而不是它们的色度。标注皮肤像素的颜色空间包括 RGB、规格化的 RGB、HSV(或 HIS)、YcrCb、YIQ、YES、CIE XYZ 和 CIE LUV。人们已经提出了许多方法用于构建颜色模型。最简单的模型是使用 Cr、Cb 值定义一个皮肤色调像素区域, 也就是 $R(Cr, Cb)$, 从皮肤颜色像素得到样本。仔细选择阈值 $[Cr_1, Cr_2]$ 和 $[Cb_1, Cb_2]$, 如果像素值 (Cr, Cb) 满足 $Cr_1 \leq Cr \leq Cr_2, Cb_1 \leq Cb \leq Cb_2$, 就被分类到皮肤色调中。

皮肤颜色通常不能独自进行人脸检测和追踪。近年来, 人

们已经提出几种使用形状分析、颜色分割和运动信息结合的模块化系统在图像序列中用于定位和追踪头部和人脸的方法。

4 模板匹配

Sakai 等人使用眼睛、鼻子、嘴和人脸轮廓等子模板建模,检测照片中的正面人脸^[24]。每一个子模板按照线分割定义。基于最大梯度变化提取输入图像的线,然后与子模板匹配。计算子图像和轮廓模板之间的相互关系去检测人脸的候选区域,完成用其他子模板在候选区域的匹配。

Craw 等人提出了一种基于正面人脸的形状模板(也就是人脸的外形)定位方法^[25]。用 Sobel 滤波器提取边缘,将边缘组织在一起,根据几个约束条件去搜索人脸模板。在头轮廓定位以后,用相同的过程以不同的尺度重复定位眼睛、眼眉和嘴唇等特征。

Govindaraju 等人提出两个阶段的人脸检测方法^[26]。人脸模型根据边缘定义的特征构成,这些特征描述了正面人脸的左边、发际和右边的曲线。人脸必须是垂直、无遮挡和正面的。

Miao 等人提出了用于人脸检测的层次模板匹配方法^[27]。在第一阶段,为了处理旋转图像,输入图像从 - 20 ° ~20 ° 旋转,每次旋转 5 °。多分辨率图像层次形成和边缘提取使用 Laplacian 操作符。人脸模板通过六个人脸成分产生的边缘组成:两个眼眉、两只眼睛、一个鼻子和一张嘴。最后,应用启发式确定人脸的存在。实验结果表明在图像含单个人脸要比图像中含有多个人脸的结果好。

梁路宏等人使用了直接的平均脸模板匹配方法^[28]。其方法考虑到眼睛在人类辨识人脸过程中的特殊作用,使用双眼模板首先进行粗筛选,然后使用不同长宽比的人脸模板进行匹配,最后使用马赛克规则进行验证。

周激流等人提出了一种全新的人脸脸部轮廓提取算法,即运用先验模板及交替补偿机制的方法提取脸部轮廓^[29]。实验证明,其提出的特征提取算法高效且鲁棒性能好。

5 基于外观的方法

模板匹配中的模板是由专家预定义的,与模板匹配中的方法不同,基于外观方法中的“模板”是从图像中的样本学习的。通常,基于外观的方法依靠统计分析和机器学习技术找到相应的人脸和非人脸图像的特征。学习的特征由分布模型或判别函数形成,用于人脸检测,同时,由于计算效率和检测有效性的原因通常需要降维。

许多基于外观的方法可以被理解为概率结构。从图像中提取的特征向量可以看作是一个任意的变量 x , 此随机变量通过类条件概率密度函数 $p(x|face)$ 和 $p(x|non\ face)$ 描述人脸和非人脸。可以用 Bayesian 分类器或最大似然函数将一个候选图像位置分类为人脸或非人脸。不幸的是, x 的高维度使简单实现 Bayesian 分类器是不可行的, 因为 $p(x|face)$ 和 $p(x|non\ face)$ 是多峰的, $p(x|face)$ 和 $p(x|non\ face)$ 是否存在自然参数化的形式还不清楚。因此, 在基于外观的方法中, 大多数工作涉及的是由经验确定的参数或用非参数方法近似 $p(x|face)$ 和 $p(x|non\ face)$ 。在这方面人们主要研究了特征脸(Eigenfaces) 方法^[30, 31] 和基于分布的方法(Distribution-based Methods)^[32, 33]

用于人脸检测。另一种方法是在人脸和非人脸之间找到判别函数。通常将图像模式投影到较低的维数空间, 然后形成判别函数进行分类, 或者利用多层神经网络形成非线性的决策面。使用神经网络进行人脸检测的优点是使训练一个系统来获得人脸模式的复杂类条件密度成为可行; 而缺点是必须大范围地调整网络结构(如层的个数、节点的个数、学习速度等) 以获得非凡的性能^[34 ~43]。

隐藏 Markov 模型(Hidden Markov Model, HMM) 也被人们用于人脸检测^[44, 45]。在 HMM 用于模式识别问题时, 需要确定许多隐藏的状态形成一个模式, 然后, 训练 HMM 从样本中学习传统状态间的概率, 其每个样本被表示为观察序列。训练 HMM 的目的是通过 HMM 模型中的参数调整最大化观察的训练数据的概率。训练 HMM 模型以后, 观察的输出概率确定了其所属的类别。近年来, 人们又提出了支持向量机(Support Vector Machines, SVMs) 和其他的核函数方法^[46 ~49]。这些方法将模式投影到较高维数空间, 然后在投影的人脸和非人脸模式之间形成一个决策面。SVMs 分类器是线性分类器, 所选择的分类超平面使未知测试样本的分类错误最小。最优超平面是通过权值结合训练向量的小子集(称为支持向量) 来定义的, 然而, 其时间和内存的计算量是很大的。

6 讨论

本文将人脸检测方法分为四个主要类别: 基于知识的方法、特征不变方法、模板匹配方法和基于外观的方法。实际上有一些方法也可以被分类到不止一种方法中, 例如, 模板匹配方法通常使用人脸模型和子模板提取人脸特征, 然后利用这些特征定位和检测人脸。所以, 近年来人们提出了基于混合方法的人脸检测方法。基于混合的方法结合了两种或更多种前面提到的方法, 进而形成更准确和鲁棒的人脸检测系统。如人们已经提出了基于颜色和运动的融合方法, 运动、颜色、形状信息融合方法, 颜色分割、运动检测、形状分析的融合方法等进行人脸检测。基于混合方法的优点是实现了信息的融合, 混合方法的优势是使一种方法的缺点被另一种方法的优点补偿。因此, 混合方法将是未来人脸检测研究领域的主要课题。目前复杂背景图像中的人脸检测方法多针对正面端正的人脸。多姿态人脸的检测(特别是侧面人脸的检测) 还存在很大的困难, 有效的方法还不多。这方面的研究也将是一个重点。

参考文献:

[1] ing- Hsuan Yang, David J Kriegman. Detecting Faces in Images: A Survey[J] . IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1) : 34- 58.

[2] S Huang, G Z Yang. Human Face Detection in a Complex Background[J] . Pattern Recognition, 1994, 27(1) : 53- 63.

[3] Kotropoulos, I Pitas. Rule- based Face Detection in Frontal Views Proc[C] . Int 'l Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, 1997. 2537- 2540.

[4] 李华胜, 杨桦, 袁保宗. 人脸识别系统中的特征提取[J] . 北京交通大学学报, 2001, 25(2) : 4.

[5] 姜军, 张桂林. 一种基于知识的快速人脸检测方法[J] . 中国图像图形学报(A 版) , 2002, 7(1) .

[6] 卢春雨, 张长水, 闻方, 等. 基于区域特征的快速人脸检测法[J] .

清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(1): 101-105.

- [7] A Sirohey. Human Face Segmentation and Identification Technical Report CS-TR-3176[R]. Univ. of Maryland, 1993.
- [8] P Graf, et al. Locating Faces and Facial Parts[C]. Proc. 1st Int'l Workshop Automatic Face and Gesture Recognition, 1995. 41-46.
- [9] K Leung, M C Burl, P Perona. Finding Faces in Cluttered Scenes Using Random Labeled Graph Matching[C]. Proc. 5th IEEE Int'l Conf. Computer Vision, 1995. 637-644.
- [10] C Yow, R Cipolla. A Probabilistic Framework for Perceptual Grouping of Features for Human Face Detection[C]. Proc. 2nd Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 1996. 16-21.
- [11] C Yow, R Cipolla. Feature-based Human Face Detection[J]. Image and Vision Computing, 1997, 15(9): 713-735.
- [12] C Yow, R Cipolla. Enhancing Human Face Detection Using Motion and Active Contours[C]. 3rd Asian Conf. Computer Vision, 1998. 515-522.
- [13] C Han, et al. Fast Face Detection via Morphology-based Pre-Processing[C]. 9th Int'l Conf. Image Analysis and Processing, 1998. 469-476.
- [14] Rowley, et al. Neural Network-based Face Detection[C]. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1996. 203-208.
- [15] 彭进业, 俞卞章, 王大凯, 等. 多尺度对称变换及其应用于定位人脸特征点[J]. 电子学报, 2002, (3).
- [16] 王延江, 袁保宗, 唐晚芳. 一种快速彩色图像中复杂背景下人脸检测方法[J]. 电子学报, 2002, (10).
- [17] L Crowley, J M Bedrune. Integration and Control of Reactive Visual Processes[C]. 3rd European Conf. Computer Vision, 1994, (2): 47-58.
- [18] L Crowley, F Berard. Multi-Modal Tracking of Faces for Video Communications[C]. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. 640-645.
- [19] Kjeldsen, J Kender. Finding Skin in Color Images[C]. 2nd Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 1996. 312-317.
- [20] J Jones, et al. Statistical Color Models with Application to Skin Detection[C]. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1999. 274-280.
- [21] 周宗恒, 韩懿, 高艳芳. 基于 KL 肤色的人脸初定位[J]. 计算机工程, 2001, 27(4): 109-111.
- [22] 彭振云, 陶霖密, 等. 基于颜色分割和 KL 变换的人脸特征检测[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2001, 41(4/5): 218-221.
- [23] McKenna, Y Raja, S Gong. Tracking Colour Objects Using Adaptive Mixture Models[J]. Image and Vision Computing, 1998, 17(3/4): 223-229.
- [24] Sakai, M Nagao, et al. Line Extraction and Pattern Detection in a Photograph[J]. Pattern Recognition, 1969, 1: 233-248.
- [25] Craw, H Ellis, J Lishman. Automatic Extraction of Face Features[J]. Pattern Recognition Letters, 1987, 5: 183-187.
- [26] Govindaraju. Locating Human Faces in Photographs[J]. Int'l Computer Vision, 1996, 19(2): 129-146.
- [27] Miao, et al. A Hierarchical Multiscale and Multiangle System for Human Face Detection in a Complex Background Using Gravity-Center Template[J]. Pattern Recognition, 1999, 32(7): 1237-1248.
- [28] 梁路宏, 艾海舟, 何克忠. 基于多模板匹配的单人脸检测[J]. 中国图像图形学报, 1999, 823-830.
- [29] 周激流, 张晔, 等. 基于先验模板的人脸面部特征提取的研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(5): 337-339.
- [30] Kirby, L Sirovich. Application of the Karhunen-Loève Procedure for the Characterization of Human Faces[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(1): 103-108.
- [31] Turk, A Pentland. Eigenfaces for Recognition[J]. Cognitive Neuroscience, 1991, 3(1): 71-86.
- [32] -K Sung, T Poggio. Example-based Learning for View-based Human Face Detection[R]. Technical Report AI Memo 1521, Massachusetts Inst. of Technology AI Lab, 1994.
- [33] -H Yang, N Ahuja, D Kriegman. Mixtures of Linear Subspaces for Face Detection[C]. 4th Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 2000. 70-76.
- [34] Agui, Y Kokubo, et al. Extraction of Face Recognition from Monochromatic Photographs Using Neural Networks[C]. 2nd Int'l Conf. Automation, Robotics, and Computer Vision, 1992.
- [35] Propp, A Samal. Artificial Neural Network Architectures for Human Face Detection[J]. Intelligent Eng. Systems through Artificial Neural Networks, 1992, 2.
- [36] Soulie, E Viennet, B Lamy. Multi-Modular Neural Network Architectures: Pattern Recognition Applications in Optical Character Recognition and Human Face Recognition[J]. Int'l Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1993, 7(4): 721-755.
- [37] Burel, D Carel. Detection and Localization of Faces on Digital Images[J]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15(10): 963-967.
- [38] -H Lin, S-Y Kung, L-J Lin. Face Recognition/Detection by Probabilistic Decision-based Neural Network[J]. IEEE Trans. Neural Networks, 1997, 8(1): 114-132.
- [39] Rowley, S Baluja, T Kanade. Neural Network-based Face Detection[C]. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1996. 203-208.
- [40] Rowley, S Baluja, T Kanade. Neural Network-based Face Detection[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(1): 23-38.
- [41] Rowley, S Baluja, T Kanade. Rotation Invariant Neural Network-based Face Detection[C]. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1998. 38-44.
- [42] 杨前邦, 李介谷. 神经网络和遗传算法在人脸定位中的应用[J]. 上海交通大学学报, 1998, 32(9): 93-97.
- [43] 梁路宏, 艾海舟, 徐光佑, 等. 基于模板匹配与人工神经网络确认的人脸检测[J]. 电子学报, 2001, (6): 744-747.
- [44] S Samaria, S Young. HMM Based Architecture for Face Identification[J]. Image and Vision Computing, 1994, 12: 537-583.
- [45] 李士进, 杨静宇, 等. 基于奇异值特征和隐马尔可夫模型的人脸检测[J]. 中国图像图形学报(A版), 2001, 6(7): 681-688.
- [46] Osuna, R Freund, F Girosi. Training Support Vector Machines: An Application to Face Detection[C]. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. 130-136.
- [47] wang In Kim, et al. Face Recognition Using Support Vector Machines With Local Correlation Kernels[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2002, 16(1): 97-111.
- [48] 梁路宏, 艾海舟, 等. 基于模板匹配与支持矢量机的人脸检测[J]. 计算机学报, 2002, 25(1): 22-29.
- [49] 凌旭峰, 杨杰, 叶晨洲. 基于支撑向量机的人脸识别技术[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(5): 318-322.

作者简介:

赵丽红(1962-), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为图像处理与模式识别。