

人脸检测研究现状和发展

王良民, 张建明, 詹永照, 宋顺林

(江苏大学计算机科学与通讯工程学院, 江苏 镇江 212013)

[摘要] 人脸检测问题已经成为计算机视觉领域中的重要问题. 从显式特征和隐式特征两个方向出发, 分析了肤色模型、模板匹配、特征脸、人工神经网络、支持向量机及积分图像特征等多种方法在人脸检测中的应用, 对人脸研究问题的现状作了全面介绍, 并通过对相关论文的系统分析, 在相同的测试集上对部分方法进行了比较和评估, 指出了相应方法的适用性, 最后提出了该研究领域还存在的问题及发展趋势.

[关键词] 人脸检测; 人脸识别; 计算机视觉; 特征脸; 支持向量机; 人工神经网络

[中图分类号] TP391.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-7775(2003)03-0075-05

人脸检测是指在输入图片中确定人脸的位置及大小的过程. 人脸是一种极为复杂的、多维的模式, 也是最为典型的非刚性模式之一, 人脸检测问题的解决将为解决其他类似的复杂模式检测问题提供重要的启示, 这使得人脸检测问题拥有重要的学术价值. 目前国内外有关人脸识别问题的综述, 都很少涉及近两年的最新成果. 笔者系统分析了相关文献, 认为人脸检测算法的本质是寻找人脸区域区别于其他区域的特征, 符合这个特征的区域就是人脸区域. 为此, 将人脸检测算法分为两大类: ①基于显式特征的方法; ②基于隐式特征的方法. 根据这种分类对一些检测算法结构及其近期进展进行综合评述, 并指出当前存在的问题和发展趋势.

1 基于显式特征的方法

所谓显式特征是指对人类的肉眼来说直观可见的特征, 如肤色、脸部轮廓、脸部结构等. 基于显式特征的方法是指由人通过肉眼观察, 总结出人脸区别于“非人脸”区域的特征, 然后根据被检测区域是否满足这些“人脸特征”, 来判定该区域是否包含人脸. 根据所选择的“人脸特征”, 把基于显式特征的方法分以下三个方面综述: ①基于肤色模型的方法; ②模板匹配的方法; ③基于先验知识的方法.

1.1 基于肤色模型的方法

在彩色图像中, 颜色是人脸表面最为显著的特

征之一, 利用颜色检测人脸是很自然的想法. Yang等^[1]在考察了不同种族、不同个体的肤色后, 认为人类的肤色能在颜色空间中聚成单独的一类, 而影响肤色值变化的最主要因素是亮度变化. 因此他们采用广泛使用的 RGB 颜色空间, 在滤去亮度值的图像中通过比较像素点的 r 、 g 值与肤色范围来推断该像素点及其邻域是否属于人脸区域. 除了 RGB 颜色空间, 还有诸如 HSI^[2], Luv^[3], GLHS^[4] 等其他颜色空间被使用.

寻找到肤色区域后, 必须进行验证, 排除类肤色区域. Yoo等^[5]利用肤色像素的连通性分割出区域, 使用椭圆拟合各个区域, 根据椭圆长短轴的比率判断是否为人脸. 文献[2]根据“颜色相近”、“位置相邻”、“尺度相近”等规则进行类肤色区域归并, 最后, 用模板匹配、神经网络验证等手段确定该区域是否是人脸.

1.2 基于模板匹配的方法

模板匹配的方法一般是人为地先定义一个标准人脸模板, 计算输入图像与模板的似然度; 然后, 确定一个似然度阈值, 用以判断该输入图像中是否包含人脸. 标准人脸模板可以是固定的样板, 也可以是带变量的曲线函数.

文献[2]中采用“平均脸模板匹配”: 首先选取多个样本人脸, 构造平均脸原始模板, 按多种宽长比拉伸原始模板, 与待检测图像中所有可能尺度和形状

[收稿日期] 2002-10-15

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(60273040); 江苏省高校自然科学基金资助项目(02KJB520003); 教育部科技重点项目(01041)

[作者简介] 王良民(1977-), 男, 安徽潜山人, 硕士生, 主要从事模式识别及多媒体技术的研究.

的图像窗口进行匹配,并利用似然度计算公式计算出似然度,根据相应阈值进行判断。

文献[6]采用“双眼—人脸”模板,将平均脸的双眼模板剪裁出来,滤波时先使用双眼模板再使用人脸模板,以提高匹配速度并取得更好的性能。

不同于文献[2]定义的似然度,文献[7]将人脸图像二值化后,得到人脸轮廓,然后与模板库中不同大小的人脸模板匹配,根据图像与模板之间的Hausdroff距离及相关阈值判定取舍。

Yuille等^[8]提出用可变形模板来描述人脸的形状信息,通过和输入图像的边缘、峰、谷和可变形模板中参数进行动态性交互、修正,采用优化算法,在参数空间内进行能量函数极小化来判定人脸。文献[9]利用广义Hough变换的思想,设计出了一种匹配人像边缘曲线可变形模板,提高主持人口播帧检测方法的通用性。文献[10]设计了一种由粗到精的面部特征提取策略,在一定程度上解决了可变形模板参数初值确定的问题。

1.3 基于知识的方法

该法采用符合人脸生理结构特征的人脸镶嵌图(mosaic image)模型,并在分析了足够多的人脸图像样本的基础上,针对人脸的灰度、边缘、纹理等信息,建立一种关于人脸的知识库。在检测中,首先抽取这些灰度、边缘等信息,然后检验它是否符合知识库中关于人脸的先验知识。

Yang等^[11]将人脸的五官区域分别划分为 4×4 个马赛克块(四分图),见图1a。文献[12]采用了符合人脸生理结构特征的三分图分块方案(3×3 个马赛克块),见图1b。充分利用人脸器官的自然分布,使得规则制定过程中先验知识的利用更加直观。

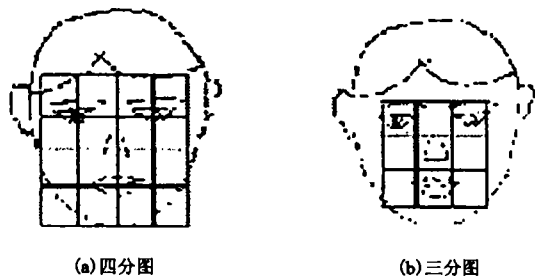


图1 五官区域划分图
Fig.1 The division of face

姜军等^[13]提出一种新的广义几何投影法,能很快地筛选出所有可能的不同尺寸的人眼区域,减少后续基于知识的多尺度空间遍历的工作量,该文还建立一个比较完备的人脸知识库,综合使用灰度规则^[11]、梯度规则^[12]、二值规则,降低检测虚警率。

2 基于隐式特征的方法

基于隐式特征的方法将人脸区域看成一类模式,使用大量“人脸”、“非人脸”样本训练、构造分类器,通过判别图像中所有可能区域是否属于“人脸模式”的方法来实现人脸检测。这类方法有特征脸法、人工神经网络法、支持向量机法、积分图像法。

2.1 特征脸法

特征脸法(eigenface)把单个图像看成一维向量,众多的一维向量形成了人脸图像特征空间,再将其变换到一个新的相对简单的特征空间,通过计算矩阵的特征值和特征向量,利用图像的代数特征信息,寻找“人脸”、“非人脸”两种模式在该特征空间中分布规律(图2)。

主分量分析是面向图像重建的一种降维方法。Turk^[14]等将此方法用于人脸识别,提出DFFS(Distance From Face Space)的距离度量概念,通过输入图像与人脸空间的距离来判定是否是“人脸”模式。

Moghaddam等^[15]不仅考虑了人脸子空间,还考虑了与其正交的补空间,使用DIFS和DFFS在两个空间里进行度量,取得了较好的效果。



图2 特征脸示例
Fig.2 The example of eigenface

Sung等^[17]采用k-均值聚类方法在特征空间里建立了6组对应的“人脸”和“非人脸”簇(Clusters),通过检测图像到各簇中心的距离来判断是否“人脸”模式。在训练过程中“非人脸”样本的收集是通过“自举”(bootstrap)的方法实现的,即把上一轮训练中的错误报警作为新增加的“非人脸”样本。文献[17]提出一种新的部分相交的分组方法,将较多的子模式分组训练,减小了训练中的运算量并增加了系统的可扩展性。

2.2 人工神经网络

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)的方法是通过训练一个网络结构,把模式的统计特性隐含在神经网络的结构和参数之中。基于人工神经网络的方法对于复杂的、难以显式描述的模式,具有独特的优势。在这方面,CMU的Rowley^[18,19]

的工作最为引人注目。Rowley^[18]设计的基于神经网络的人脸检测系统包含“过滤器”和“结果仲裁器”两个部分,算法的框架如图 3 所示。

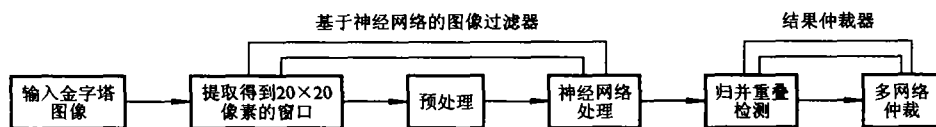


图 3 基于神经网络的人脸检测系统
Fig.3 Face detection system based on ANN

图中预处理包含亮度校正和直方图均衡两个步骤。对正面直立人脸的检测,文献[18]采用了自举的方法收集非人脸样本,并采用“归并重叠检测”和“多网络仲裁”技术降低错误报警率。此后,Rowly 在人脸检测系统中增加了一个路由网络(Router Network),用来检测人脸旋转的角度,解决了平面旋转人脸检测的问题^[19]。Roth 等^[20]采用 SNoW (Sparse Network of Winnows)的学习结构进行人脸检测,在 CMU 的人脸图像集上得到了 94.8% 的正确率。

2.3 支持向量机法

支持向量机(Support Vector Machine, SVM)法是在统计学习理论的基础上发展出一种新的模式识别方法,它是基于结构风险最小化原理的方法,较之于基于经验风险最小化的人工神经网络,一些难以逾越的问题,如:模型选择和过学习问题、非线性和维数灾难问题、局部极小点问题等都得到了很大程度上的解决^[21]。

但是直接使用 SVM 方法进行人脸识别有两个方面的困难:①训练 SVM 需要求解二次规划问题,计算复杂度高,内存需求量巨大;②在非人脸样本不受限制时,需要极大规模的训练集合,得到的支持矢量会很多,使得分类器的计算量过高。Platt^[22]提出的 SMO 算法(Sequential Minimal Optimization)有效地解决了第一个问题。Osuna 等人^[23]首先将 SVM 方法用于人脸检测问题,在训练中使用了大量人脸样本,采用“自举”的方法收集“非人脸”样本,并使用逼近优化的方法减少支持矢量的数量,在一定程度上解决了第二个问题;梁路宏等^[6]采用模板匹配与 SVM 方法相结合的人脸检测算法,在模板匹配限定的子空间内采用自举的方法收集“非人脸样本”,训练 SVM,降低了训练的难度和最终得到的支持矢量的规模,使得检测速度比单纯的 SVM 检测器提高了 20 倍,得到了与 CMU 的神经网络方法^[18]可比较的结果。Richman 等^[24]提出用人脸中的鼻子区域训练 SVM,减少了训练数据,且不用考虑 SVM

对发型、眼镜等饰物敏感,采集图像时也不要求人脸必须定位。该方法为柯达公司设计出了针对顾客图像的实用人脸检测系统。

2.4 基于积分图像特征法

基于积分图像(Integral Image)特征的人脸检测方法是 Viola 等^[25,26]新近提出的一种算法,它综合使用积分图像描述方法、Adaboost 学习算法及训练方法、级联弱分类器,积分图像是指该像素以前、以上所有像素灰度和。级联弱分类器如图 4 所示,是多个弱分类器的组合,弱分类器由单个传感器组成,传感器的输入是待检测图像子窗口,输出集是用来表示该检测窗口“是否”人脸模式{T, F}。文献[25]中构造的传感器结构简单、检测速度快,而且几乎不会漏检一张人脸,不过错误预警率较高。但是错误报警不影响后续处理的效果,所以把这样的弱分类器作为预处理器,并把多个弱分类器级联起来,就得到了一个检测速度快、精度高的算法。尤为可贵的是,作为针对单幅、灰度图像的检测方法,它的速度达到 15 帧/秒,基本满足实时检测的要求。

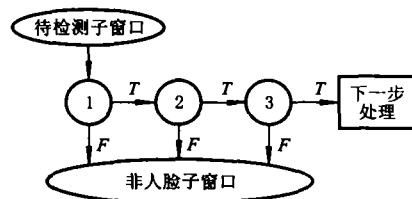


图 4 级联检测示意图
Fig.4 The cascade detection

3 相关工作的分析与评价

笔者在整理了近几年大量相关论文的基础上,综述了人脸检测问题的一些经典算法及其最新进展。总体来说,基于显式特征的方法直观且有较好的鲁棒性,易于为人所接受和采用。表 1 给出了不同类型的基于显式特征方法的优点和不足之处,为综合使用各种方法,取长补短提供参考。

基于显式特征的方法共同的缺陷是依赖于固定的先验模式,适应变化的能力差。譬如出现彩色光

照改变了图像中的脸部颜色、图像大小改变、旋转人脸中双眼不在鼻子的正上方等人脸特征发生变化时,原有的肤色、模板、知识就不再适用。解决问题的出路在于综合使用多种方法,结合大量局部特征、实行多角度、多粒度检测。可是,这样也会导致计算时间大大增加,不再满足快速度人脸检测的要求。

表 1 基于显式特征方法的特点
Tab.1 The characteristic of implicit algorithm

检测方法	肤色模型	模板匹配	基于知识的方法
优点与适用场合	针对彩色图像而言,检测速度快;适用于对检测实时性要求较高的视频检测与跟踪	固定模板检测方法直观,鲁棒性好;可变形模板对非刚性模式具有较好的适应性	使用丰富的人脸特征,适用于复杂图像中的人脸检测;使用人脸特征少时,可实现实时检测与跟踪
缺点与需要改进的地方	高光或阴影的影响会造成人脸区域被分割而被漏检;类肤色区域的存在提高了预警率	固定模板对位姿、表情、尺度变化敏感;可变形模板的选择和参数的确定非常困难	在很大程度上依赖于人脸的先验知识;基于知识的多尺度空间遍历工作量较大,运算时间长

基于隐式特征的方法中“人脸”区别于“非人脸”的特征是通过样本学习的方法获得的,不是人类根据直观印象得到的表层规律。这样,不仅避免了因为人类肉眼观察的不完整、不精确而带来的错误,还能通过增加训练样本扩充检测的范围,提高检测系统的鲁棒性。但是,基于隐式特征的方法也各有特点,表 2 给出了不同类型的基于显式特征方法的优点和不足之处。

表 2 基于隐式特征方法的特点
Tab.2 The characteristic of explicit algorithm

方 法	优 点	缺点或需要改进的地方
本征脸法	标准人脸模板能抽象人脸全局信息;运算不涉及迭代,耗费时间短	单模板检测效率低;多模板提高了效率也增加了检测时间,模型的建立和参数初值确定依靠经验
神经网络法	检测效率较高;错误报警数目不多;训练成熟的网络检测速度快	多样本训练耗费时间多;单网络检测错误报警数目多
支持向量机法	比神经网络方法具有更好的泛化能力,能对未观测到的例子进行有效分类	“非人脸”样本复杂多样,造成支持向量数目多,运算复杂度大
基于积分图像法	检测速度快,基本满足实时检测要求;检测效率可以与神经网络方法比较	错误报警数目少时,检测率不高

要对人脸检测算法的性能作出精准的评估是一件很困难的事情,因为评估不同的方法需要有相同的测试集和同样的样本规模。也有一些论文报道的检测结果是基于目前比较公认的测试集,如:CMU-130,CMU-125,MIT-23 等,这些结果证实了表 2 的评价。由于多数报道是针对特定约束条件或应用背景下展开的,而且各种报道的训练样本规模都不相同,因此,表 2 的说明只是指出各种算法特点,为在特定背景下的综合使用提供参考。

4 结 论

在系统分析研究相关文献的基础上,对人脸检测问题的研究现状进行了综述,并通过对各类算法的性能分析和评估,暴露了目前存在一些问题,如:没有统一的标准对各类算法性能进行定量的评价,针对具体问题而设计的算法性能更是无法评估;普适的解决非刚性模式识别问题的方法尚未出现,有赖于人工智能等相关学科的发展提供更有用的工具;现行有效实用的算法也不多,且都在进一步改进中。为此,笔者认为:

- (1) 在特定的约束条件下,对现有方法进行改进,综合使用原有各种方法,是该领域解决应用问题的主要方向。
- (2) 新方法、新工具的迅速引入,是推动人脸检测研究新进展的主要力量。
- (3) 公正、客观评价各种方法的性能将要求推出更大规模、涵盖面更广的公用测试集和针对具体应用背景的特种测试集。
- (4) 更进一步或者更细致的工作如:人脸表情识别、人体上肢运动检测、手势即手语识别等将是该领域进一步发展的方向。

[参 考 文 献]

[1] Yang J, Waibel A. A Real-Time Face Tracker[C]. In: IEEE Proc of the 3rd Workshop on ACV, Florida, 1996.

[2] 艾海舟, 梁路宏, 徐光佑, 等. 基于肤色和模板的人脸检测[J]. 软件学报, 2001, 12(12): 1784-1792.

[3] Hongo H, Ohya M, Yasumoto M. Focus of Attention for Face and Hand Gesture Recognition Using Multiple Cameras[C]. In: pro 4th IEEE Inter Conf on AFGR,

- 2000.
- [4] 陶霖密,彭振云,徐光佑. 人体的肤色特征[J]. 软件学报,2001,12(7):1032-1041.
- [5] Yoo T W, Oh I S. A Fast Algorithm for Tracking Humane Faces Based in Chromatic Histogram[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(10):967-978.
- [6] 梁路宏,艾海舟,肖习攀,等. 基于模板匹配与支持向量机的人脸检测[J]. 计算机学报, 2002,25(1):22-29.
- [7] 刘翼光,沈理. 利用 Hausdroff 距离人脸图像定位算法[J]. 计算机研究与发展,2001,38(4):475-481.
- [8] Yuille A, Hallinan P, Cohen D. Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates [J]. International Journal of Computer Vision,1992, 8(2):99-111.
- [9] 马宇飞,白雪生,徐光佑,等. 新闻视频中口播帧检测方法的研究[J]. 软件学报,2001,12(3):377-381.
- [10] 山世光,高文,陈熙林. 基于文理分布和变形模板得面部特征提取[J]. 软件学报,2001,12(4):570-577.
- [11] Yang G Z, Huang T S. Human Face Detection in a Complex Background[J]. Pattern Recognition, 1994, 27(1): 53-63.
- [12] 卢春雨,张长水,闻芳,等. 基于区域特征的快速人脸检测[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999,39(1):101-105.
- [13] 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,2002,7A(1):6-10.
- [14] Turk M, Pentland, A. Eigenface for Recognition[J]. J Cog Neurosci, 1991,23(3):71-86.
- [15] Moghaddam B, Pentland A. Probabilistic Visual Learning for Object Representation[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997,19(7): 696-710.
- [16] Sung K K, Poggio T. Example - Based Learning for View-Based Human Face Detection[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(1):39-51.
- [17] 陈刚,戚飞虎. 实用人脸识别系统的本征脸法实现[J]. 计算机研究与发展, 2001,38(2):170-175.
- [18] Rowley H A, Baluja S, Kanade T. Neural Network Based Face Detection[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(1):23-38.
- [19] Rowley H A, Baluja S, Kanade T. Rotation Invariant Neural Network Based Face Detection[C]. In:Proceeding of IEEE Computer Society Conference on CVPR'98. California, 1998.
- [20] Roth D, Yang M H, Ahuja N. A SNoW-Based Face Detector[C]. In: Advance in Neural Information Processing Systems 12(NIP12), Cambridge, MA, 2000.
- [21] 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J]. 自动化学报,2000,26(1):32-42.
- [22] Platt J C. Sequential Minimal Optimization: A Fast Algorithm for Training Support Vector Machine [R]. MSR: Technical Report MSR-TR-98-14, 1998.
- [23] Osuna E, Freund R, Girosi F. Training Support Vector Machine: A Application to Face Detection [C]. In: Proc of CVPR, Puerto Rico,1997.
- [24] Richman M S, Parks T W. Detection of Nose and Faces in Consumer Images[R]. <http://www.ti.com/sc/docs/general/dsp/fest99/avi/>, 2002.
- [25] Viola P, Jones M. Robust Real-Time Object Detection [C]. In: Proc of IEEE Workshop on SCTV, 2001.
- [26] Viola P, Jones M. Fast and Robust Classification Using Asymmetric Adaboost and a Detector Cascade[R]. <http://www.merl.com/people/viola/research/publications/2002>.

Recent Research and Development in Human Face Detection

WANG Liang-min, ZHANG Jian-ming, ZHAN Yong-zhao, SONG Shun-lin

(School of Computer Science and Telecommunications Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: Face detection has been a key issue for computer vision. A comprehensive survey of the recent face detection research is presented. Based on systematic analysis, such algorithms as color-based method, template matching, eigenface, ANN, SVM and integral-image-based method are discussed. Comparative evaluations about the algorithms based on common datasets and the applicable field of each algorithm are presented. The existing problems and the future development in this area are also discussed.

Key words: face detection; face recognition; computer vision; eigenface; support vector machine; artificial neural network

(责任编辑 王云华)