

# 多技术合力的人脸识别系统设计

苏光大

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)

**摘要:**人脸识别系统结构复杂,也包含了多种技术.从多个角度阐述了多技术合力的人脸识别系统设计方法,内容涉及人脸图像采集、人脸识别算法、并行处理、综合系统集成4个部分.多技术合力的人脸识别系统设计方法体现了速度与智能化相结合的优势,也体现了系统的完备性和性能的互补性.给出了该方法在人脸识别率和识别速度上达到的性能指标,并给出了所设计的人脸识别系统的部分突出应用.

**关键词:**人脸识别; Gabor 滤波; 图像并行处理

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2009)06-0471-04

## Face recognition system designed to integrate multiple techniques

SU Guang-da

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

**Abstract:** Face recognition systems usually have complicated structures and integrate many techniques. In this paper, the design of a face recognition system that combines various technologies was explained from different perspectives, including facial image capture, face recognition algorithms, parallel processing, and system integration. Multi-technique integration reflects the advantages of combining hardware speed with artificial intelligence, as well as the completeness and complementary performance of the proposed face recognition system. Experiments with the suggested system showed improvements in recognition rate and recognition speed. Finally, some special applications of this system were presented.

**Keywords:** face recognition; Gabor transform; image parallel processing

人脸识别技术在国家安全和人民生命财产安全中具有重要的意义.当前,人脸识别已成为科技热点和应用热点.但是人脸图像由于姿态、光照、年龄等因素的变化而具有“一人千面”的特点,因此,人脸识别技术在适应性上面临着严峻的挑战.

人脸识别系统是一个高智能化、高速处理的复杂系统.在算法层面上,既包括人脸识别算法,还包括人脸图像预处理算法;而在系统层面上,不仅仅需要识别算法,还需要多方面的技术,特别是并行处理技术.

文献[1]论述了面向机器和面向算法的系统设计策略.本文在人脸识别系统的设计上采用多技术合力的设计方法,内容涉及人脸图像采集、人脸几何尺寸归一化、人脸识别算法、并行处理、综合系统集

成4个部分.该方法属于面向系统的设计方法,每一部分都体现了多技术合力的设计思想.本文还给出了人脸识别率和识别速度的性能指标.

### 1 人脸图像采集

通用人脸识别系统的框图如图1所示.

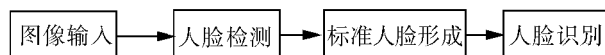


图1 通用人脸识别系统的框图

Fig. 1 General face recognition system framework

众所周知,人脸图像的质量严重影响人脸识别的性能.一个问题是人脸分辨率问题.人脸分辨率定义为人脸在图像中所占的像素数量,一般以两眼球中心点之间的距离来衡量.现在的人脸检测技术,最小可以检测到 $16 \times 12$ 点阵的人脸,而当前的人脸识别技术对这种超低分辨率的人脸难以直接进行自动识别.另一个问题是姿态问题.当姿态在 $\pm 15^\circ$ (包括

水平转动角、俯仰角、倾斜角)之内变化时,大部分人脸识别算法都能达到较高识别率,而对于大角度变化的人脸图像,其识别率却大幅度下降.光照问题也对人脸识别性能带来重大影响,在研制成功的二代证实名身份认证系统(如图2所示)中,为了获取更好的人脸图像质量,做了多方面的考虑.系统配置了2台摄像机以适应不同身高;为了使被识别者更好地配合,在被识别者面前安装了液晶显示器,以吸引被识别者看摄像机并知道自己的姿态是否端正;在摄像机四周安有日光灯,以便获得较好的光照;将二代身份验证机安装在胸前,便于拍摄到被识别者的正面图像(避免低头).这是针对主动人脸识别的设计,另一种针对被动识别中多姿态问题的摄像机布局图如图3所示.当被识别人的水平转动角在 $\pm 45^\circ$ 之间变化时,图3所示的多摄像机布局可以获得接近水平转动角 $\pm 15^\circ$ 的识别效果.



图2 二代证实名身份认证系统

Fig. 2 Face authentication system using the second generation identity card of Chinese

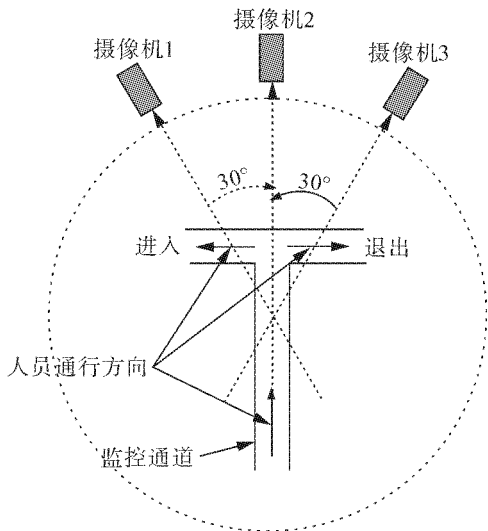


图3 3摄像机的监视人脸识别示意图

Fig. 3 Face monitoring using three video cameras

## 2 人脸识别算法

文献[2]提出了PCA人脸识别方法,在人脸识别中具有指导意义.在这些有益的研究成果基础上,构造了特征脸、特征眼眉、特征眼睛、特征鼻子、特征嘴巴并根据各自重要性的程度进行特征融合,由此形成了基于组合部件PCA的多模式人脸识别方法(MMP-PCA)<sup>[3]</sup>.

通过人脸定位,从整个人脸中自动提取出如图4所示的裸脸、眼+眉、眼、鼻、嘴5种部件.其中,以眼球为中心,对人脸进行了裁剪,并依据颌下点进行了三次曲线的切割,由此形成了不含头发和背景的裸脸.



图4 人脸部件划分

Fig. 4 Partition of facial parts

从训练集人脸中分离出裸脸、眼睛+眉毛、眼睛、鼻子、嘴巴,分别采用PCA方法形成特征脸、特征(眼睛+眉毛)、特征眼睛、特征鼻子、特征嘴巴.已知人脸的裸脸、眼睛+眉毛、眼睛、鼻子、嘴巴的投影特征向量可通过式(1)求得:

$$B_i = u_i^T \times q_i, \quad i = 1, 2, \dots, 5. \quad (1)$$

式中: $q_i$ 分别为已知人脸的裸脸、眼睛+眉毛、眼睛、鼻子、嘴巴图像,分别为从训练集人脸中得到的特征脸、特征(眼睛+眉毛)、特征眼睛、特征鼻子、特征嘴巴.

在人脸识别的过程,利用式(1)计算待识别人脸的投影特征向量,再与数据库中存储人脸的投影特征向量进行相似度计算.对裸脸、眼睛+眉毛、眼睛、鼻子、嘴巴5种人脸部件进行不同组合的识别.

Daugman<sup>[4]</sup>率先在计算机视觉中引入二维Gabor小波表示法,Gabor滤波器能够捕捉对应于空间频率(尺度)、空间位置以及方向的选择性局部结构信息,近年来人脸识别也广泛应用Gabor技术.在MMP-PCA的基础上引入了Gabor技术,由此形成了GGMMP-PCA人脸识别算法<sup>[5]</sup>(Gabor & Gray multi-modal part face recognition method based on principal component analysis).

二维Gabor函数<sup>[6]</sup>的公式表述如下:

$$\psi_{\mu,v}(z) = \frac{\|k_{\mu,v}\|^2}{\sigma^2} e^{\frac{\|k_{\mu,v}\|^2 \|z\|^2}{2\sigma^2}} [e^{ik_{\mu,v}z} - e^{-\frac{\sigma^2}{2}}].$$

(2)

式中:  $z = (x, y)$  表示二维点坐标, 波矢量  $k_{\mu,v}$  的定义为  $k_{\mu,v} = k_{\mu} e^{j\theta_v}$ ,  $k_{\mu} = k_{\max}/\lambda^{\mu}$ ,  $\theta_v = \pi v/n$ . 本文取  $n = 8, \sigma = 2\pi, k_{\max} = \pi/2, \lambda = \sqrt{2}$ , 以及  $\mu \in \{0, 1, 2, 3, 4\}, v \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ , 得到五尺度八方向的 Gabor 滤波器组. 各个滤波器的实部和虚部如图 5 所示.

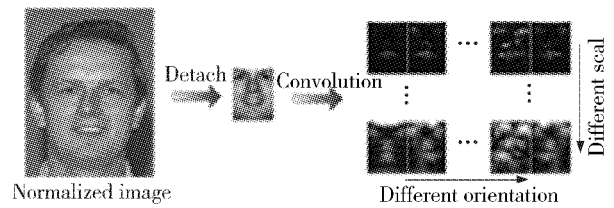


图 5 Gabor 滤波  
Fig. 5 Gabor transform

对图 4 所示的人脸部件进行 Gabor 滤波, 得到各部件的 Gabor 图像.

GGMMP-PCA 人脸识别算法的框图如图 6 所示.

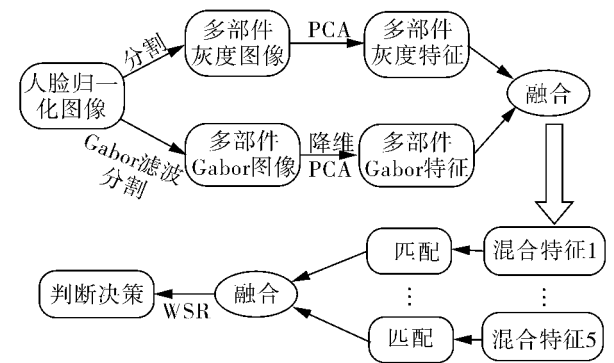


图 6 GGMMP-PCA 人脸识别算法的框图  
Fig. 6 GGMMP-PCA face recognition algorithm framework

多部件灰度特征和多部件 Gabor 特征进行特征级融合, 组成混合特征. 计算相似度时, 仍按照各个部件的重要性程度, 采用加权和规则进行融合. GGMMP-PCA 方法体现了多特征多部件合力的设计思想. 图 7 给出了各个部件和融合的 ROC 曲线, 表 1 给出了灰度图像 MMP-PCA、Gabor 图像 MMP-PCA 以及 GGMMP-PCA 的识别率.

表 1 FERET-fb 数据库下的测试结果

Table 1 Experimental results of using FERET-fb database %			
算法	FAR = 0.1%		FAR = 1%
	时的 GAR	时的 GAR	
MMP-PCA	92.44		97.58
GMMP-PCA	96.07		99.19
GGMMP-PCA	98.88		99.80

在其他测试集上也得到与图 7 和表 1 类似的测试结果, 这里不再赘述. 图 7 表明, 全局 (5 部件融合) 识别模式的识别率优于单部件识别模式的识别率; 表 1 表明, 灰度 + Gabor 识别算法 GGMMP-PCA 的识别率优于灰度识别算法 MMP-PCA 的识别率, 也优于 Gabor 识别算法 GMMP-PCA 的识别率.

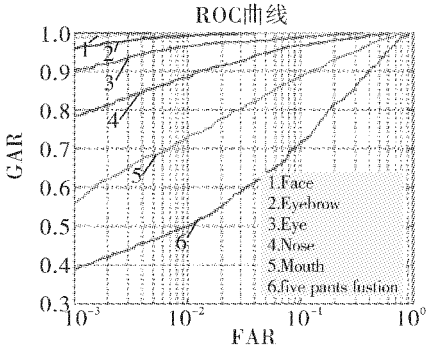


图 7 各个部件和融合的 ROC 曲线  
Fig. 7 ROC curves of each part and multiple parts

3 MMX 和集群技术的应用

在大数据库中进行人脸识别, 最耗时的环节是相似度计算, 采用 MMX 技术和集群计算机技术来提高计算速度, 图 8 给出了应用集群计算机的实验结果, 表 2 给出了应用 MMX 技术的实验结果<sup>[7]</sup>.

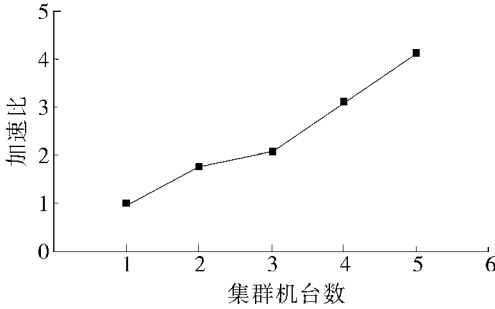


图 8 应用集群计算机的实验结果  
Fig. 8 Experimental result of using multi-computer

表 2 MMX 加速的实验

Table 2 Experiment of MMX speedup			
数据容量/万	VC 实现/s	MMX 实现/s	加速比 $R_{\max}$
5	2.176 6	0.152 6	14.26
10	4.337 5	0.299 2	14.50
20	8.723 8	0.602 6	14.48

系统的加速比为  $R$ , 则

$$R = R_{\text{MMX}} \times R_{\text{cluster}}.$$

(3)

采用 MMX 和集群计算机技术 (使用 5 台从机), 查询速度达到了 256 万/s.

## 4 模拟像形成与识别的综合技术

模拟像技术常用于公安刑侦工作<sup>[8]</sup>,按照模拟像来源来划分,分临摹模拟像、目击者模拟像、视频监视模拟像和颅像复原模拟像.基于部件的人脸识别方法有利于模拟像的人脸识别.图9给出了模拟像人脸识别成功应用的结果.

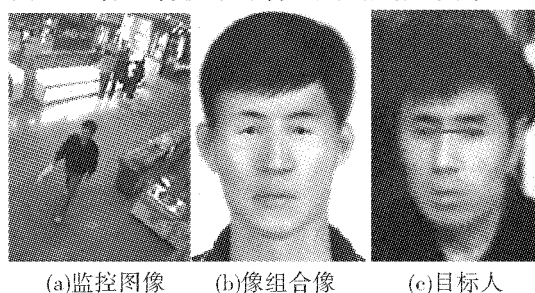
用图9左上角的模拟像去识别,在40万人的数据库中,目标人处于第4名.



图9 模拟像人脸识别成功应用的图示

Fig. 9 Successful application of face recognition using simulation picture

由于视频监控的高速发展,监视模拟像的需求与日俱增,但常规视频监控的人脸图像的分辨率常处于超低分辨率水平,现有的人脸识别技术难以直接识别超低分辨率的人脸图像.针对这一类问题,采用了模糊图像复原、人像组合人脸识别等综合技术,以多技术集成的方法,在超低分辨率人脸的模拟像形成与识别方面取得了突出的研究成果.图10给出了模糊图像复原和人像组合技术综合应用的成功案例.



(a)监控图像 (b)像组合像 (c)目标人

图10 模糊图像复原和人像组合的综合应用

Fig. 10 Integration application of blurry picture reversion and face combination

## 5 结束语

多技术合力的人脸识别系统在人脸识别算法上则体现了多特征、多部件的特点.在设计的人脸识别系统中,多技术合力的设计还涉及很多方面,这里不再赘述.作者依据多技术合力思想设计的人脸识别系统,用在了2008北京奥运会上,也建成了我国首个千万级的海量人脸识别应用系统,取得了显著的

应用效果.

值得指出的是,人脸识别技术,涉及到许多方面,如姿态、光照、年龄、形状特征点定位等等.随着研究的深入,将出现一些新的算法、新的系统,以提高人脸识别的适应性.目前,硬件实现的Gabor滤波,大大提升GCMMP-PCA算法的速度.可以预见,采用专用硬件,多姿态人脸识别可能会达到实时应用的效果.多技术合力的思想,在设计新的算法、新的系统中,仍有重要的应用价值.

## 参考文献:

- [1] 苏光大. 图像并行处理技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 20-23.
- [2] TURK M, PENTLAND A. Face recognition using eigenfaces [C]//Proc IEEE CVPR'91. Lahaina, aui, USA, 1991: 586-591.
- [3] SU Guangda, ZHENG Cuiping, DING Rong, DU Cheng. MMP-PCA face recognition method [J]. Electronics Letters, 2002, 38(25): 1654-1656.
- [4] DAUGMAN J G. Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profile[J]. Vision Research, 1980, 20: 847-856.
- [5] XIANG Yan, SU Guangda. Multi-parts and multi-feature fusion in face verification [C]//2008 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage, USA, 2008: 102-107.
- [6] LEE T. Image representation using 2D Gabor wavelets[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(10): 959-971.
- [7] MENG Kai, SU Guangda, LI Congcong, FU Bo, ZHOU Jun. A high performance face recognition system based on a huge face database [C]//2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Guangzhou, China, 2005: 5159-5164.
- [8] SU G D, SHANG Y. A multimodal and multistage face recognition method for simulated portrait [C]//Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2006). Hong Kong, China, 2006: 1013-1017.

作者简介:



苏光大,男,1948年生,教授,博士生导师,目前主要研究方向为图像识别(人脸识别、指纹识别)和高速图像处理.提出了图像邻域计算理论和视频图像1:1采样理论.研制成功的人脸识别系统、计算机人像组合系统、模糊图像复原系统在我国公安办案工作中广泛应用,破

获了大量的刑事案件.研制成功的人脸识别技术成功用于2008年北京奥运会;NIPC-3邻域图像并行计算机,在邻域图像处理的速度上达到了国际最高水平.获发明创业奖和发明展金奖,6次获省部级科技成果奖,获5项国家发明专利,3次获清华大学先进工作者称号.发表学术论文120余篇,著有《微机图像处理系统》、《图像并行处理技术》2部专著.