

文章编号 1004-924X(2004)03-0316-07

## 虹膜识别技术的发展与应用

浦昭邦, 杨帆, 陈炳义, 陈世哲

(哈尔滨工业大学 自动化检测与控制系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:**在对虹膜识别技术的研究现状、识别框架、系统构成等进行全面分析的基础上,介绍了虹膜图像获取、图像预处理、特征提取、特征匹配及性能评价指标等主要内容。剖析了该技术面临着高质量图像采集困难,稳定性、可行性有待验证等主要问题,提出了该技术的 research 发展方向及应用前景,包括虹膜特征信息与其他生物特征信息及非生物特征信息相融合;建立虹膜特征识别的网络身份认证系统;高效快速的识别算法及通用性和兼容性强的虹膜识别芯片。

**关键词:**图像处理;身份鉴别;虹膜识别

中图分类号:TP391.4 文献标识码:A

## Development and application of Iris recognition technology

PU Zhao-bang, YANG Fan, CHEN Bing-yi, CHEN Shi-zhe

(*Department of Automation Measurement & Control Engineering,  
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*)

**Abstract:** Iris identification technology is a biological characteristic identification technology with the lowest error reception rate and the lowest error refusal rate. It differentiates accuracy from error of identification by collecting iris image, abstracting features and matching features. Because of its commonness, uniqueness, reliability and also anti-interference, this technology has high academic value and very wide future applications. Through the complete analysis of current research situation, identification framework, and system component, acquisition and pretreatment of iris image, extraction of features, matching of features and evaluation of performance are discussed, and the problems of this technology, such as the difficulty of acquiring high quality images, and stability and feasibility to be testified are reviewed as well. The direction of further research and development and future application of this technology cover the fusion of iris identification information with other biology identification information and non-biology identification information; set-up of iris identification network system; highly efficient identification calculation and identification chip with commonness and strong compatibility.

**Key words:** image processing; private authentication; iris recognition

# 1 概 述

身份是指从行政法律或经济社会方面确定个人的地位或权利。身份识别就是验证个人的真伪,以防范冒名顶替者的违法犯罪活动。目前,身份识别主要靠各种证件(如身份证、智能卡等)、个人识别码(如口令、密码等)及生物特征识别。由于证件容易被剽窃、转移或丢失,识别码容易被忘记、破解,所以生物特征识别是目前最为方便与安全的识别技术。它不需要随身携带任何证件,记住任何密码,是一种方便、快捷、可靠的识别方法<sup>[1]</sup>。生物特征识别是通过人体所固有的生理特征或行为特征对个人身份进行鉴定的技术。常见的生物特征有指纹、掌纹、虹膜、视网膜、脸型、声音、笔迹、DNA、人体气味等<sup>[2-3]</sup>。其中,虹膜识别是一种重要的个人身份识别手段。

虹膜是位于眼角膜之后,晶状体之前,巩膜和瞳孔之间的环形可视薄膜,包含纹理、血管和斑点等多个细微特征。由于它具有普遍性、唯一性、稳定性、可靠性、非侵犯性、可采集性等特点<sup>[4]</sup>,是错误接受率和错误拒绝率较低的一种生物识别技术<sup>[5-6]</sup>,因此虹膜识别具有很高的研究价值和广阔的应用前景。

虹膜特征用于个人身份鉴别是 1987 年两个眼科专家 Leonard 和 Aransafir 提出的。1993 年英国剑桥大学的 John Daugman 博士<sup>[7-8]</sup>提出了虹膜识别算法,开创了这一领域的先河。近年来,国内外学者对虹膜识别技术进行了深入和广泛的研究,并取得了较大的进展。具有虹膜识别功能的自动取款机、出入口虹膜识别系统近年来也先后在美国、日本、英国等国家开发并应用。我国的虹膜识别技术由于刚刚起步,投入的人力、物力很少,目前仍没有生产出实用产品。中科院自动化研究所、深圳思创集团、吉林大学等研究机构均已开展了虹膜识别技术的研究,并取得了一定的理论和实验成果<sup>[9-11]</sup>。

虹膜特征识别系统逻辑上包括 2 个模块,注册模块和识别模块。在注册模块中,首先对用户的虹膜图像进行采集、预处理、特征提取等过程得到虹膜特征信息,并将此信息与其姓名或其标识(ID)联系起来,然后一并存储在数据库中,创建用

户模板。在识别模块中,同注册过程一样获取用户的虹膜特征信息,然后与事先注册在数据库中的模板相匹配,检验用户的身份。

利用虹膜识别技术进行身份鉴别可以分为 2 类,即验证和辨识。验证就是通过把一个现场采集到的虹膜与一个已经注册的虹膜进行一对一的比对,来确定身份的合法性。实际上就是通过回答“他是他自称的这个人吗?”来辨别身份的真伪,其框架如图 1 所示。辨识则是将现场采集到的

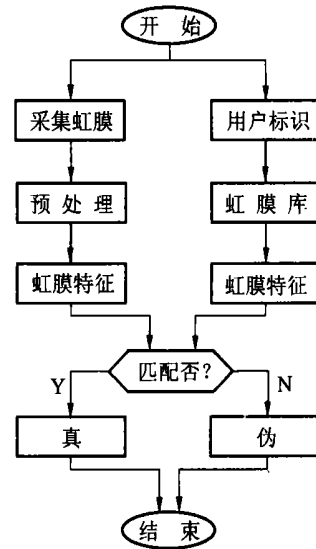


图 1 验证框架

Fig. 1 Validation frame

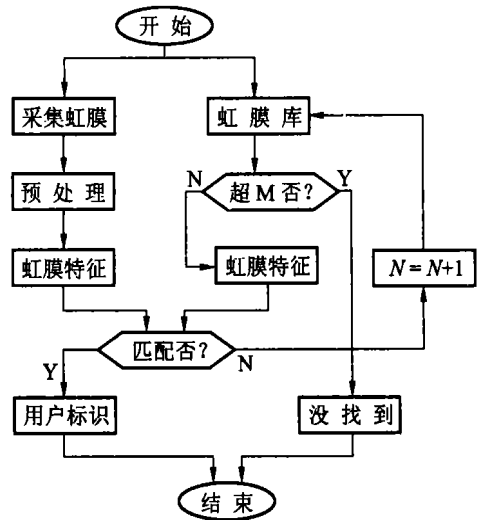


图 2 辨识框架

Fig. 2 Identification frame

虹膜同虹膜库中的虹膜逐一比对,即一对多匹配,直至找到相匹配的虹膜或搜索完整个样本数据库后给出无对应虹膜的结论(没找到),也就是通过回答“他是谁?”来确定用户的身份,其框架如图 2 所示。图 2 中假设样本数据库共有  $M$  个虹膜,按  $N=1$  到  $N=M$  顺序查找。

## 2 虹膜识别技术及其面临的主要困难

虹膜识别系统主要由虹膜图像获取、图像预处理、特征提取、特征匹配、结论等部分组成。其组成原理框图如图 3 所示。

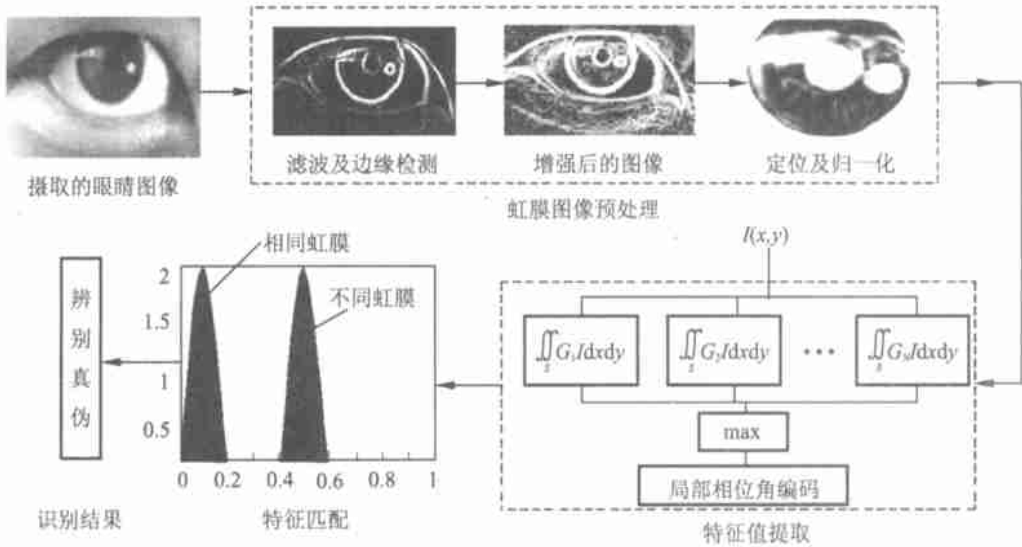


图 3 虹膜识别系统  
Fig. 3 Iris recognition system

### 2.1 虹膜图像的获取

虹膜识别的首要任务是获取高质量的虹膜图像,这是虹膜识别最难解决的关键技术之一。由于虹膜的区分主要在于纹理细节的不同,而虹膜的纹理不是很清晰,特别是黄种人。用普通的 CCD 摄像头和在正常的光照条件下很难获得清晰的虹膜图像。目前具有代表性的虹膜图像摄取装置如图 4 所示。图 4(a)是通过调整 LED 光源,数码相机从 30~50 cm 的距离摄取分辨率为  $256 \times 256$  像素的眼部图像<sup>[12-13]</sup>。图 4(b)是一种小型便携式光机电装置<sup>[14-15]</sup>,将该装置外壳的上端扣在被试者的眼睛上,在红外发射管及发光二极管的照射下,虹膜图像被 CCD 摄像头采集并输入到计算机中。该装置适用于建立虹膜图像数据库。据报道,美国 IriScan 公司开发出来的虹膜识别设备可从约 30 cm 外获得清晰图像,售价大约 6 500 美元。由于现有的虹膜取像装置仍存在着价格昂贵、对被检验者有要求、需人工操作等问题,因此有待于进一步开发研究。随着技术的进步,集价格低廉、方便快捷、非接触式的自动虹膜采集装

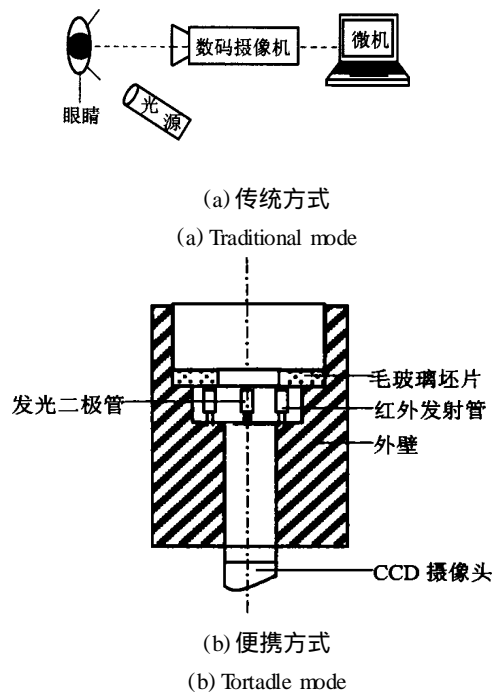


图 4 虹膜图像摄取装置  
Fig. 4 Device obtaining iris image

置必将很快问世。

## 2.2 虹膜图像的识别

虹膜图像预处理是有效进行特征提取和特征匹配的前提。其主要任务是从摄取的眼睛图像中将虹膜图像分离出来,去除眼睑、眼液及微小组织的影响,排除噪声干扰,消除漂移、缩放及旋转等现象。如采用自适应 Wiener 滤波去除由于反光等噪声干扰;边缘检测首先用 Sobel 微分算子检测图像边缘,然后在这些边缘像素点上进行二值化阈值的自动选取,最后对于其他非边缘点则采用平均灰度值方法进行二值化处理;用直方图均衡化的方法对虹膜图像进行局部增强,消除光照不均匀等影响;用 Hough 变换对虹膜的内外边缘进行准确定位<sup>[16-17]</sup>,将其与其他部分分离开来;采用平移变换、图像对准的方法消除漂移、缩放和旋转,使虹膜图像结构之间具有一致性<sup>[18-19]</sup>。虹膜图像的预处理过程及实验结果如图3的预处理部分。

虹膜特征提取采用复数二维 Gabor 小波对虹膜图像进行分解,从中提取特征信息编码<sup>[12,13,20,21]</sup>(相位信息)。二维 Gabor 小波形式为

$$G(x, y, f, \theta) = \exp\{-\frac{1}{2}[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2]\} \exp\{-2if[(x-x_0)\cos\theta + (y-y_0)\sin\theta]\}, \quad (1)$$

式(1)中,  $\sigma_x$  和  $\sigma_y$  是 Gabor 小波函数的尺度因子,分别表示 Gabor 小波在  $x$  轴和  $y$  轴方向的带宽;  $f$  表示正弦曲面的频率;  $\theta$  表示滤波方向。通过调整 Gabor 小波的这些参数,可获得图像局部相位信息<sup>[22]</sup>。其编码原理如图3中的特征提取部分。

获得了虹膜图像的编码后,就要对编码作识别,以辨别身份的真伪。用于图像匹配技术的算法有多种,常用的有:相关函数测度算法、相关系数测度算法、分层搜索判决算法等<sup>[19,23]</sup>。通常采用最典型的虹膜代码的海明距(Hamming Distance, HD)匹配算法<sup>[19,24]</sup>。该算法是通过比较两个虹膜特征码是来自相同的个体的虹膜,还是来自不同个体的虹膜,比较虹膜代码  $A$  和虹膜代码  $B$  的  $L$  位的每一位,(一般取 1024 或 2048)。HD 定义为

$$HD = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L A_i \odot B_i, \quad (2)$$

由式(2)可知,  $A_i$ 、 $B_i$  进行异或运算,只有 2 个编码相同,  $HD = 0$ ;若 2 个编码不相同,  $HD = 1$ 。大量

实验结果表明,由于受环境等因素的影响,把同一虹膜的不同时间提取的特征码进行比对时, HD 分布的峰值将在 0.1 附近。不同虹膜的特征码进行比对时, HD 分布的峰值将在 0.5 附近,如图3的特征匹配部分。横轴为码间距离 HD,纵轴为概率密度函数。这样通过计算 HD 就可以进行个人身份识别。

## 2.3 虹膜识别系统的性能评价指标

评价虹膜特征识别系统的性能是一项具有挑战性的研究课题。其综合性能由精确性、速度、鲁棒性等项目来评估,其中精确性是最重要的一个性能指标,一般用识别率来表示,主要由拒判率、误判率和等误率来测定。

拒判率 FRR(False Reject Rate)也称错误拒读率或称错误不匹配率,表示授权人(合法的用户)不被准确承认(误认为冒名顶替者)的程度。FRR 越大,系统越精确,安全性也越高,但宽容度越来越低,致使越来越多的合法用户被系统错误的拒绝。反之授权人越容易通过,未授权者也变得容易混入。FRR 实际上也是系统可接受性的重要指标。

误判率 FAR(False Accept Rate)也称错误接收率或称错误匹配率,表示未授权的人(冒名顶替者)被确认成授权人(有效的个体)的程度。FAR 的值越小,说明未授权的人越无法通过,系统越安全。但是,授权人的通过将变得越发困难。如在对安全有严格要求的应用领域,可以运行在很小的 FAR 上。

FRR 和 FAR 之间的关系如图5所示。它表明在不同操作点上 FRR 和 FAR 之间的平衡,被称为 ROC(Receiver Operating Characteristics),它是给定测试环境中系统精确性的一个综合衡量。在 ROC 上的每一个点定义了 FRR 和 FAR。一个较小的 FRR(即一个更宽容的系统)通常导致一个较大的 FAR,而一个较小 FAR(即一个不太宽容的系统)通常导致一个较大的 FRR。因此,要求虹膜识别系统需兼顾 FRR 和 FAR 之间的平衡。系统的精确度指标不能仅用 FRR 或 FAR 其中的一个来衡量。一般用等误率 EER(Equal Error Rate)来衡量。EER 是当一个生物认证系统运行在 FAR 等于 FRR 的点上时系统的错误率,要对系统精确性进行简洁描述时常用此概念。由图5可知,系统2在精确性性能上始终不如系统1,据统计虹膜特

征识别是等误率最低(0.000 08%)的一种生物识别技术<sup>[25-26]</sup>。

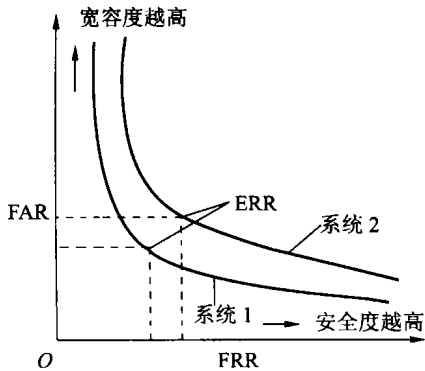


图 5 虹膜识别系统的 ROC 图  
Fig. 5 ROC diagram of iris recognition system

系统识别速度是判断系统是否具有易用性、可接受性的重要指标。在个人识别系统中,人们愿意等待的时间是有一定限度的,其极限根据特定的应用而不同。例如,进入机场等安全检查的过程 0.5~1.8 s 被认为是可以接受的时间。有的系统为了增加识别精确度,同时对人的两只眼睛进行辨别,这样虽可以增强识别率,但会浪费用户的许多时间,很可能超过人们等待时间的极限。

虹膜识别系统的鲁棒性是指对被检验者和外界环境的适应能力。一个好的系统应对被检验者不做任何限制,对光照等外部条件没有苛刻的要求,这需要一个环境适应能力极强的图像采集装置和对尺寸、旋转、平移等变化具有不变性的高鲁棒性算法<sup>[27]</sup>。

#### 2.4 虹膜识别技术面临的主要困难

虹膜识别技术是集数学、光学、电子学、生理学和计算机科学等多学科交叉的高新技术。该技术的研究虽然取得了很大成绩,但由于起步晚,仍然面临着许多困难。具体表现在:(1)虹膜纹络是否具有稳定性有待研究。目前医学理论认为,虹膜纹络具有终身不变的稳定性,但这一认识还有待于接受严格的实验数据论证。因为虹膜纹络识别技术诞生不久,很难获得同一个人 10 年乃至更长时间间隔的虹膜图像。有资料显示,在眼部或其他部分发生病变的情况下,虹膜纹络会发生部分或全部改变,大致有破裂脱落、穿孔、炎症增生、萎缩、血管新生等多种情况。(2)虹膜采集技术有待提高。获取高质量的虹膜图像是制约虹膜识别技术发展与应用的一个瓶颈。图像获取设备

的小型化与方便化、高分辨率摄像头及其照明技术,是推广虹膜识别技术的主要障碍;镜头可能会使图像畸变而使得可靠性大为降低;黄种人多深褐色,纹理非常不明显,很难获取细节清晰、对比度高的虹膜图像。(3)高重复性的虹膜识别算法有待进一步开发。当前的虹膜识别算法还不能很好地提取因人而异的特征向量,存在着匹配还不精细,计算量大等问题。(4)性能评价体系有待建立。虹膜识别系统性能评价应该由国家甚至世界性的专门检测机构来进行。该机构应该拥有一个样本容量足够大的虹膜数据库,制定一套科学、严谨的测试方案,能够对各种虹膜识别系统的性能给出准确、统一、权威的评价。但是,目前对虹膜特征识别尚无评价机构,尚未形成统一的标准及足够大的虹膜数据库,仍然处于无序状态。(5)系统的可行性有待验证。当前的虹膜识别系统只是用统计学原理进行小规模试验,而没有进行过现实世界的唯一性认证的试验。

### 3 虹膜识别技术的发展前景

为使虹膜识别技术迅速发展,成为身份鉴别的重要手段,在实际中得到广泛应用,可考虑从如下几方面入手:(1)从生理学、色度学、光学等角度对人眼及虹膜进行理论研究。建立照明光源、虹膜、CCD 摄像头之间的成像系统,确定它们之间的最佳匹配关系,以便在虹膜图像采集方面产生突破,构建高精度、自动化、小体积和低成本虹膜图像采集装置。(2)虹膜识别算法(包括图像预处理、特征提取和特征匹配)计算量很大,提高系统实时的快速计算能力是达到系统特定性能要求的关键。为此,一方面开发高效快速的识别算法,另一方面开发通用化和兼容性强的虹膜识别芯片,即软硬件两方面共同努力。(3)将信息融合技术应用于虹膜识别技术中<sup>[28-29]</sup>,即将虹膜特征信息与非生物特征识别信息相结合(如与智能卡相结合),将虹膜特征信息与其他生物信息相结合(如与指纹、掌纹的结合)是克服自身系统局限性,提高系统的准确性和鲁棒性切实可行的方案,是虹膜识别技术的发展方向。(4)现在的虹膜特征识别的研究还局限于单机系统,建立虹膜特征识别的网络身份认证系统是其研究的重要方向,具有广阔的应用前景。

目前的虹膜识别技术还不是很成熟,识别系统的应用也不够广泛,世界上现只有少数国家将这一技术应用于金融、刑侦等对安全有严格要求的场合。但是,由于该技术具有许多其他生物识别技术不可比拟的优点,因而吸引人们的广泛关注。随着识别技术的不断成熟、性能的不断改善、价格的不断降低,必将广泛地应用于金融、公安、人事管理、医疗、电子贸易、智能化门禁系统、通道控制等诸多领域。将来人眼的虹膜可能成为人们

终身的、唯一的、不变的、可靠的且不用记忆的“密码”,用它便可以不用吹灰之力地在银行取钱、出入下榻宾馆房间、打开保险箱、通过出入境海关检查等。

虹膜特征识别是一项科技含量高、应用范围广、涉猎多学科、多领域的高新技术。只要能很好地解决取像、特征识别等关键技术,该技术的研究必会蒸蒸日上,具有很好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] PDESSL N, MCKAY A. Method for registration of 3-D shapes[J]. *IEEE Trans Tami*, 1992, 14(2):239-256.
- [2] CHELLAPPA R. Human and machine recognition of face:a survey[J]. *Proc IEEE*, 1995, 83(5):705-740.
- [3] PENILAND A, CHOUDHURY T. Face recognition for smart environments[J]. *Computer*, 2000, 2:50-55.
- [4] NEGIN M I, CHMIELEWSKI T A, SALGANICOFF Jr M, et al. An iris biometric system for public and personal use[J]. *Computer*, 2000, 3:70-75.
- [5] JAIN A K. *Biometrics personal identification in networked society*[M]. 101 Philip Drive, Assinippi Park, Norwell, Massachusetts 02061 USA, Kluwer Academic Publishers, 1999. 103-121.
- [6] JAIN A K. Biometrics-promising frontiers for emerging identification market[J]. *Communication ACM*, 2000, 2:91-98.
- [7] DAUGMAN J. *Recognizing persons by their iris patterns, biometrics: personal identification in networked society*[M]. Amsterdam: Kluwer Academic Publisher, 1999:103-121.
- [8] DAUGMAN J. Recognizing people by their iris pattern [J]. *Information Security Technical Report*, 1998, 3(1):33-39.
- [9] 刘畅,刘方. 最新的计算机身份识别技术-虹膜识别[J]. *现代情报*, 2002, (3):108-109. (in Chinese)  
LIU CH, LIU F. Up-to-date computer identification technology-iris identification[J]. *Modern Intelligence*, 2002, (3):108-109. (in Chinese)
- [10] WLDE S. *Automated, non-invasive iris recognition system and method*[P]. US Patent No. 5,751,836, US Government, Washington, 1998.
- [11] JOHN D. *The importance of being random: statistical principles of iris recognition*[J]. *Pattern Recognition* 2003, (36):279-291.
- [12] ALES M, PETR K. Identification of persons by means of the Fourier spectra of the optical transmission binary models of the human irises[J]. *Optics Communications*, 2001, (192):161-167.
- [13] 谭铁牛,朱勇,王蕴红. 虹膜图像采集装置[P]. 实用新型. 国家知识产权局专利号:ZL 99217063.  
TAN T N, ZHU Y, WANG Y H, *Iris image collection settings*[P]. New Application, SIPO PRC Patent: ZL 99217063. (in Chinese)
- [14] 刘桂雄,申柏华. 基于改进的 Hough 变换图像分割方法[J]. *光学 精密工程*, 2002, 10(3):257-260.  
LIU G X, SHEN B H. The method of division counterchange image based on improving Hough[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(3):257-260. (in Chinese)
- [15] BOLES W W, A security system based on human iris identification using wavelet transform[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 1998, (11):77-85.
- [16] WLDES R P. Iris recognition:an emerging biometric technology[J]. *Proceeding of The IEEE*, 1997, 85(9):1347-1363.
- [17] 康浩,徐国治. 虹膜识别系统[J]. *电路与系统学报*, 2000, 5(1):12-15.  
KANG H, XU G ZH, Iris identification system[J]. *Circuit and System Journal*, 2000, 5(1):12-15. (in Chinese)
- [18] DAUGMAN J. Complete discrete 2-D Gabor transform by neural networks for image analysis and compression[J]. *IEEE Trans on ASSP*, 1988, 36(7):1169-1179.
- [19] WLDES R P. *Automated, non-invasive iris recognition system and method*[P]. US Patent No. 5572596, 1996.
- [20] SANCHEZ-RELLO R, SANCHEZ-AVILA C, Gonzalez-Juncos A. Improving access control security using iris recognition[C].

*Proceeding of the IEEE*, 2000. 56-69.

- [21] 刘冀, 王向军. 虹膜识别技术及应用[J]. 光学技术, 2002, 28(5): 459-464.  
LIU J, WANG X J. Iris identification technology and application[J]. *Optics Technology*, 2002, 28(5): 459-464. (in Chinese)
- [22] MATSUSHITA M, *Iris identification system and iris identification method*[P]. US Patent No. 5,901,238, US Government, Washington, 1999.
- [23] 孙辉. 基于小波变换的图像数据融合方法[J]. 光学 精密工程, 2000, (6): 23-27.  
SUN H. The method of image's data amalgamation based on small wave counterchange[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2000, 8(6): 23-27. (in Chinese)

作者简介: 浦昭邦(1940 - ), 男, 大连人, 哈尔滨工业大学自动化检测学控制系教授, 博士生导师, 主要研究方向为光电测量技术及仪器、生物特征识别等。E-mail: yangfanm2003@yahoo.com.cn.