

文章编号: 0253-2239(2008)05-0937-06

虹膜区域选取与识别率对应关系分析

苑玮琦 白云 柯丽

(沈阳工业大学视觉检测技术研究所, 辽宁 沈阳 110023)

摘要 在人眼自然张开状态下,虹膜遭受睫毛、眼睑和反射光斑不同程度地干扰而失去了部分信息,因此需要找出虹膜保留面积与虹膜识别率之间的对应关系,从而根据不同的识别率要求估计不同的人眼最小张开程度。利用相关系数识别方法作为评测手段分别在不同的虹膜图库中进行了实验。结果证明,选取靠近瞳孔的虹膜内环区域与整个虹膜区域的比率在大于 37.5% 时,或者暴露的虹膜两侧扇形的角度大于 70° 时,就可以获得区分个体的特征量,达到比较稳定的识别率。实验结果还给出了虹膜内环区域面积与识别率的对应关系曲线以及虹膜两侧扇形区域面积与识别率之间的对应关系曲线。

关键词 医用光学与生物技术; 生物特征识别; 虹膜识别; 相关系数; 虹膜区域

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Analysis of Relationship between Region of Iris and the Accuracy Rate

Yuan Weiqi Bai Yun Ke Li

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning 110023, China)

Abstract When people open their eyes normally, the regions of iris will be covered by eyelids and eyelashes. We investigate the performance of the use of a partial iris for recognition by using normalized correlation matching method in different iris image databases. The experimental results show that the inner rings of the iris over 37.5% of iris pattern exposure, or the angle of the sector exposed over 70° would be necessary for enough information in human verification. The results also show the curve of the relationship between percentage of the iris used and the accuracy rate.

Key word medical optics and biotechnology; biometrics; iris identification; normalized correlation; region of iris

1 引 言

目前的虹膜识别系统已经可以获得较好的识别效果^[1],但是在登陆的过程中,通常要求被测试者瞪大眼睛,以便使虹膜区域充分暴露,这样的采集方式容易引起被测试者的反感。所以,研究人眼自然张开状态下实现虹膜识别,有利于基于虹膜识别的个人身份验证装置的实际应用。

由于个体情况的差异,大多数人的虹膜区域不能完全暴露。获取到的虹膜图像会因为遭受睫毛、眼睑和反射光斑不同程度的干扰而失去了部分信息。暴露的虹膜区域面积至少多大才能够满足特征提取乃至识别的需要,这对于人眼自然张开状态下实现虹膜识别具有重要意义。如果能够获得虹膜区

域大小、位置与识别率之间的对应关系,就能够估计人眼在自然张开状态下,或者在不是很强迫张开状态下,是否能够正确实现虹膜的正确识别。

目前大多数虹膜识别主要是在一个固定位置和大小虹膜区域采集图像,例如,虹膜两侧各 90° 扇形区域用于特征提取和识别^[2],瞳孔边界向外的部分虹膜区域^[3],但是没有考虑虹膜区域大小和位置与识别率之间的对应关系。文献^[4]应用伽博(Gabor)小波算法最早指出仅利用 40% 甚至更小的虹膜区域就可以达到有效的识别,但没有提供论据;文献^[5,6]用不同的手段验证了通过选取部分虹膜区域就可以将个体区分开,以及虹膜内环区域比外环区域具有更高的特异性,但是也并没有对虹膜环形区域的大小、虹膜扇形区域的大小和位置与识别

收稿日期: 2007-08-14; 收到修改稿日期: 2007-10-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60672078)资助课题。

作者简介: 苑玮琦(1960—),男,辽宁沈阳人,教授,博士生导师,博士后,主要从事机器视觉检测、生物特征识别等方面的研究。E-mail: yuan60 @126.com

率的对应关系做深入的研究。

本文利用相关系数方法作为评测手段分别在不同的虹膜图库中进行了实验。对选取的虹膜内环区域与整个虹膜区域的比率以及虹膜扇形区域的选取对识别率的影响进行了探讨,并得出对应关系曲线。

2 基于相关系数的虹膜识别方法

相关系数是一种常用的模式识别方法,具有算法简单、执行速度快、待匹配特征不易伪造的特点,比较适合于鉴别性门禁系统(即一对多的识别,例如银行的金库,在选择预置的时候,可以使误识率很低、甚至等于零,从而保证可靠性)。

设 $P_1(i, j)$ 和 $P_2(i, j)$ 分别是尺寸为 $n \times m$ 的待匹配虹膜图像和匹配虹膜图像的图像数组, m 为行坐标, n 为列坐标(分别对应图像的宽和长), μ_1 为待匹配图像的均值, σ_1 为待匹配图像的方差, μ_2 和 σ_2 分别是匹配图像的均值和标准差。

根据方差公式,得到强度 P_1 的均值和标准差:

$$\mu_1 = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_1(i, j), \quad (1)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [p_1(i, j) - \mu_1]^2}, \quad (2)$$

对 P_2 也进行同样的定义得到 μ_2 和 σ_2 , 由此得到 P_1 、 P_2 间的规范化相关系数 ρ :

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [p_1(i, j) - \mu_1][p_2(i, j) - \mu_2]}{nm\sigma_1\sigma_2}, \quad (3)$$

待匹配虹膜和匹配虹膜越相似,得到的 $\rho(x, y)$ 就越大,反之就越小。以此来判定两个虹膜是否来自同一只人眼。

通过图像的灰度调整,把所有图像的灰度调整到统一的范围来消除光照变化造成的同一个虹膜不同灰度图像在平均值和方差的差异;由于直角坐标下环形虹膜区域上的旋转失真,体现在极坐标下的矩形虹膜上就是由于算法是平移失真。该算法将虹膜的待匹配图像的有效区域在匹配图像中进行左右平移,并求取对应区域相关系数的最大值,就可以实现对图像的旋转失真的调节。

3 实验中的虹膜图库

为了使结果具有普遍性,在实验中选择了三个虹膜图库。三个图库中的虹膜图像是在不同的采集条件下获取到的。

1) 图库 1: CASIA 虹膜数据库(版本 1.0)

CASIA 虹膜图像数据库(版本 1.0)包括 80 人(其中男 62 人,女 18 人)108 只不同眼睛的虹膜图像样本,每只眼睛有 7 幅 8 位灰度图像,分辨率为 320×280 ,如图 1 所示。

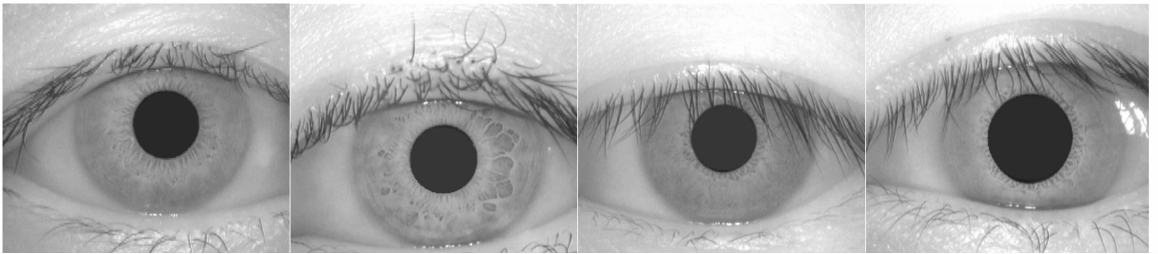


图 1 CASIA 图库中虹膜图像

Fig. 1 CASIA iris image database

2) 图库 2: 2004 年中国科学院自动化研究所竞赛图库(DB1)(图 2)

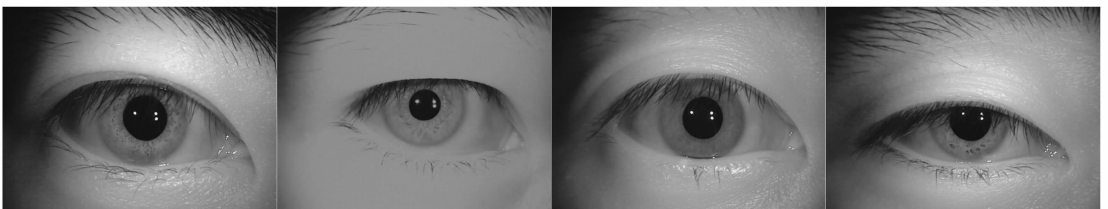


图 2 竞赛图库虹膜图像

Fig. 2 Iris image database for competition

有 330 个用户的虹膜图像,每个人采集 40 幅虹膜图像,每只眼睛 20 幅图像,在两种不同的光照情况下采集,每种光照下各 10 幅图像,一共是 26400 幅虹膜图像[$330 \times 2(\text{眼睛}) \times 2(\text{设备}) \times 2(\text{光照}) \times 10(\text{幅/情况})$]。图像分辨率为 640×480 。

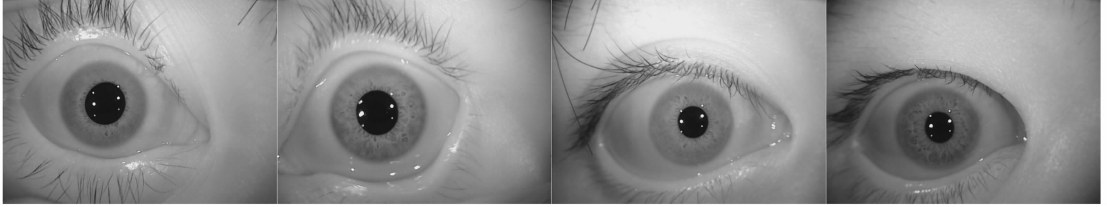


图 3 自采虹膜图库图像

Fig. 3 Iris image database collected by the authors

图库 1(CASIA 图库)与图库 2(竞赛图库)是在人眼正常张开状态下采集到的虹膜图像,图库 2 相对于图库 1 具有较高的分辨率,但是虹膜受眼睑的遮挡情况较为严重。而且在瞳孔区域有反射的光斑。图库 3(自采虹膜图库)为了研究虹膜区域的特点,在采集过程中,人为的排除了眼皮、眼睑和光斑的干扰,使虹膜区域完全暴露。

在图库 1 中挑选 30 只不同眼睛、每只眼睛对应 7 幅图像的 210 幅受眼睑和眼毛影响相对较小虹膜图像;在图库 2 中挑选 30 只不同眼睛、每只眼睛对应 10 幅图像的 300 幅受眼睑和眼毛影响相对较小虹膜图像;在图库 3 中任意选出 30 只不同眼睛、每只眼睛对应 10 幅图像的 300 幅虹膜图像。

4 虹膜内环区域面积选取

在人眼正常张开时,暴露在外面的主要是靠近瞳孔部分的虹膜。从生理解剖学可以知道,虹膜的纹理特征也主要集中在距离瞳孔边界较近的地方,虹膜的内层的环带(简称虹膜内环)包括更多的虹膜特征。因此重点探讨虹膜内环区域与识别率的对应关系,得到内环区域面积选取与识别率的对应关系曲线,并通过分析曲线找出在保证识别率的前提下,选取的虹膜内环区域面积可以缩减到的最小值。

4.1 虹膜内环模型

图 4(a)所示,是一种以虹膜圆心为中心,从接近瞳孔边界的虹膜内边界开始以环形区域逐渐向外扩展的虹膜内环模型,仿照虹膜暴露区域由小变大。 r 是以圆心到虹膜内边界的距离, R 是圆心到虹膜外边界的距离, L 为圆心到选取的内环外边界的距离(此处的圆心是虹膜环的圆心)。

图 4(a)的归一化图像如图 4(b)所示,是将直角

3) 图库 3: 自采虹膜图库(图 3)

由北京中科模识科技有限公司的天目便携式虹膜采集仪采集。图像分辨率为 640×480 ,采集距离为 $4 \sim 5 \text{ cm}$ 。该图库包括 25 人的 50 只不同眼睛的虹膜图像样本,每只眼睛有 20 幅 8 位灰度图像。

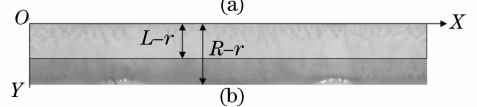
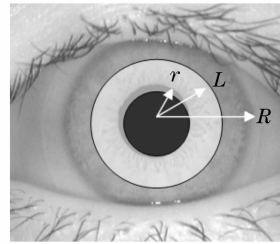


图 4 虹膜内环模型

Fig. 4 Internal region model of iris

坐标系下的环形虹膜图像转化为极坐标系下长为 512 个像素、宽为 64 个像素的矩形图像,矩形区域在 x 轴的投影是虹膜的周长,在 y 轴的投影是虹膜半径,即 $R-r$ 等于 64 个像素单位, $L-r$ 是选取的虹膜内环的半径。

模型中,区域百分比定义为 $\frac{L-r}{R-r} \times 100\%$ 。将在等错误接受率(FAR)和等错误拒绝率(FRR)的情况下,识别正确率 $1-FRR$ 作为识别效果评测标准。

4.2 实验与结果分析

将相关系数算法分别应用到图库 1(CASIA 图库)、图库 2(竞赛图库)、图库 3(自采图库)虹膜内环模型上,进行比较实验,得出了区域百分比与识别率的对应关系曲线,如图 5 所示。

在归一化后的虹膜图像[图 4(b)]上纵向选取 2 个像素单位为一个步长。通过曲线可以看出,图库 3 的区域百分比与识别率对应关系曲线在区域百分比由 3.1%(A 点)扩大到 37.5%(B 点)时都是迅速的增加,到达 B 点后,识别率随区域百分比的变化

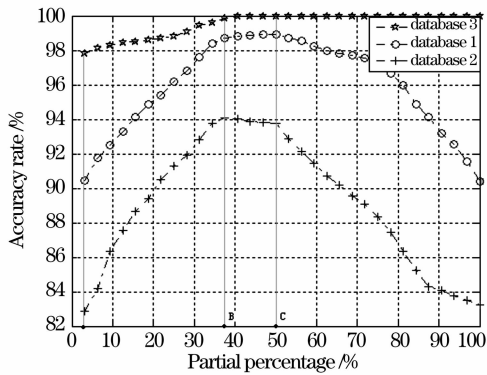


图 5 区域百分比和识别率对应关系曲线

Fig. 5 Relationship between partial percentage and accuracy rate

趋于平缓;分析表明,图库 3 中的虹膜图像没有眼皮和眼睑的干扰,所以增加区域百分比只是单纯的增加了虹膜区域的特征量。由此可以看出,图库 3 中,虹膜内环的暴露区域大于 37.5%时,已经达到区分个体的足够的特征量,识别率趋于稳定;图库 1 和图库 2 的曲线变化趋势相似,在区域百分比由 3.1% (A 点)增加到 37.5% (B 点)时,识别率呈上升趋势。到达 B 点后,在 37.5%与 50% (C 点)之间时,识别率的变化趋于平缓。当区域百分比增大到 50%后,识别率反而产生了下降。

因为相关系数算法对眼皮、眼睑和光斑的干扰很敏感,而图库 1 和图库 2 分别是在不同条件下对人眼正常张开状态虹膜图像的采集。由图 1 和图 2 可以看出,在接近虹膜外边界的区域会受到眼睑和睫毛的遮挡,在增加虹膜暴露区域的同时,噪声随之增加,因此使选取到区域百分比在大于 50%时由于噪声干扰识别率反而产生了下降;在暴露区域小于 50%时基本排除了噪声干扰,百分比在 37.5%~50%之间的时候,识别率没有因为暴露区域变化而受到影响。虹膜内环的暴露区域小于 37.5%时,由于特征量不足,识别率开始下降。三个图库的最高识别率存在差异,但是在 B 点左侧的识别率变化趋势却是相似的。

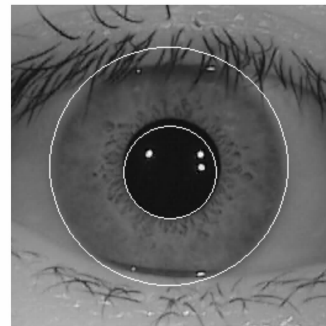
由以上的实验及结果分析可知,虹膜内环区域暴露的面积大于 37.5%时,已经达到虹膜识别所需要的特征量,获得比较稳定的识别率。

5 虹膜两侧暴露的扇形区域角度选取

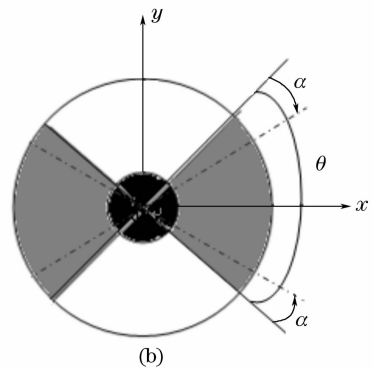
5.1 虹膜扇形区域模型

图 6(a)为竞赛图库中虹膜图像,图 6(b)是根据人眼正常张开状态下暴露出来的虹膜扇形区域的特

点,设计的一种虹膜两侧扇形区域模型。该模型截取以虹膜中心为圆心,左侧 θ° 扇区和右侧 θ° 扇区用于识别。随着眼睛闭合, α 逐渐增大, θ 由 90° 开始逐渐减小。



(a)



(b)

图 6 扇形区域模型

Fig. 6 Sector of the iris model

5.2 实验与结果分析

图 7 所示为扇形区域暴露的角度 θ 与识别率的对应关系曲线。

选取 5 度为步长。通过曲线可以看出:

图库 3 曲线,识别率在扇形区域暴露 5° (左侧起始点)扩大到 70° (A 点)时迅速增加,到达 A 点后,变化趋于平缓,曲线斜率没有明显的改变。

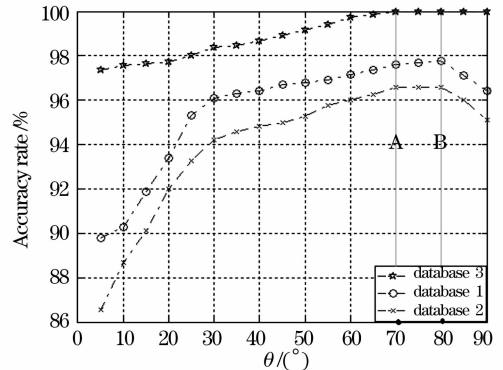


图 7 扇形区域张角与识别率的对应关系

Fig. 7 Relationship between the angle of the iris exposed (θ) and the accuracy rate

图库 1 和图库 2 在 70°(A 点)前与图库 3 的变化趋势相似,识别率都是随虹膜两侧暴露的扇形区域角度的增加迅速上升,在 70°(A 点)与 80°(B 点)间识别率没有明显的变化。到达 B 点后,由于受到了眼睑和睫毛的噪声的干扰,识别率随虹膜两侧暴露的扇形区域的角度增加又开始出现下降,

在 B 点左侧,三条曲线的识别率变化趋势相似。

由曲线的上述特征可以分析出,扇形区域张角在 A 点的时候比起 B 点,仅丢失少量的特征量。图库 3 中,在 A 点识别率能够达到 99.96%,与 B 点差 0.04%。而图库 1 中 A 点识别率与 B 点也仅差 0.18%,图库 2 中差 0.09%。可以认为暴露的扇形区域角度大于 A 点的角度,即 70°的时候,能够达到识别所需的特征量。

6 虹膜内环区域敏感性测试

虹膜内环区域面积大于 37.5%时,识别率不受区域面积影响,然而在保证环形区域面积达到 37.5%时,减少暴露的扇形面积,识别率是否受到影响,需要继续探讨。

6.1 虹膜内环扇形区域缩减模型

图 8 是虹膜内环扇形区域缩减模型。在保留虹膜内环区域百分比 37.5%基础上,减少选取虹膜的扇形区域。S 是灰色阴影扇形面积,即实验中选取的虹膜区域,r 是虹膜内环半径,在归一化的图像上选取 24 个像素单位,L 与 x 轴呈 θ 角, $\theta=0^\circ$ 时,S 为整个内环区域,L 沿逆时针方向旋转, θ 角度逐渐增大,S 逐渐减小。

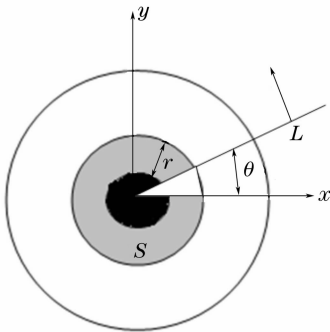


图 8 虹膜内环扇形区域缩减模型

Fig. 8 Reduction model of internal sector region of iris

选取扇形区域的区域百分比定义为 $\frac{360^\circ - \theta}{360^\circ} \times 37.5\%$,此模型中也可选取到的最大虹膜区域占整个虹膜区域的 37.5%。

6.2 实验与结果分析

由图 9 所示为虹膜内环扇形区域面积与识别率对应关系曲线,选取 10 度为一个步长。

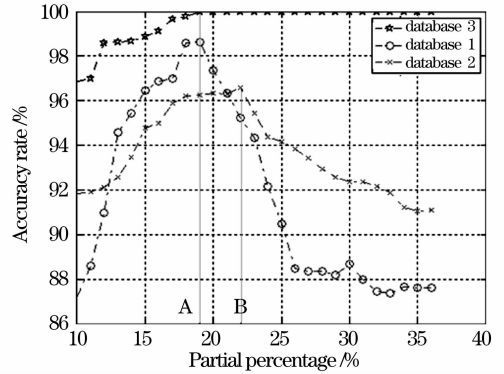


图 9 虹膜内环的扇形区域与识别率关系曲线

Fig. 9 Relationship between the sector of the internal region and the accuracy rate

图库 3 的曲线,识别率在左侧起始点 10%到 A 点(17.5%)之间时,呈明显的上升趋势,到达 A 点后识别率趋于稳定。

图库 2 的曲线从左侧其实点到达 A 点前识别率呈上升趋势,而后变化趋于平缓,到达 B 点(22.5%)后识别率开始下降。

图库 1 的曲线在 A 点前呈明显的上升趋势,到达 A 点后又迅速下降,图库 1 在 A 点的识别率能达到 98.5%。

分析表明,图库 1 和图库 2 的曲线在选取扇形全部区域的时候未能达到较高的识别率是因为眼睑和睫毛的干扰。

由此可以看出,在环形区域百分比处于保留完整信息的最小值 37.5%的时候,如果在扇形区域上继续减少选取的面积,在一定的范围内,识别率仍然能够保持不变。在实验中,当扇形区域百分比减少到 18.75%的时候三个图库的识别率都达到了良好的高度。

7 结 论

用相关系数算法分别在三个虹膜图库中进行实验,获得了虹膜保留面积与虹膜识别率之间的对应关系曲线,从而可以根据不同的识别率要求估计不同的人眼最小张开程度。

选取靠近瞳孔的虹膜内环区域与整个虹膜区域的比例在大于 37.5%时,就可以获取到虹膜识别的有效特征量,达到较稳定的识别率。

当瞳孔两侧的扇形区域面积大于整个虹膜区域

面积的 40%，即人眼的暴露的虹膜两侧扇形区域的角度达到 70°以上，识别率趋于稳定。

如果在内环区域选定为 37.5%的情况下，若继续减少环形区域的半径，识别率将会随面积的减少而降低。但是，如果减少虹膜内环的扇形区域的面积，即在保证半径的基础上通过减小暴露角度来缩减区域面积，那么在一定范围内，识别率不会降低。表明区域面积继续减小到占整个区域面积的 37.5%以下时，仍有取得稳定识别率的可能性。

根据我们对中国科学院自动化研究所为 2004 年首届生物特征识别测评竞赛提供的 60 人 2400 幅人眼图库(这个图库是人眼在自然张开状态下拍摄的)的观测结果表明，暴露的虹膜内环区域百分比小于 37.5%、暴露的虹膜两侧扇形区域角度小于 70°的概率小于 4%。因此，相关系数算法在人眼自然张开状态下，能够正确实现虹膜的正确识别。

参 考 文 献

- 1 John G. Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence[J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, **15**: 1148~1161
- 2 Xiaoyan Yuan, Pengfei Shi. Iris feature extraction using 2D phase congruency[C]. *Proc. Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05)*, 2005, **2**: 437~441
- 3 Yuan Weiqi, Xu lu, Lin Zhonghua. Iris identification method based on gray surface matching[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(10): 1537~1542

- 苑玮琦,徐 露,林忠华. 基于灰度曲面匹配的虹膜识别方法[J]. *光学学报*, 2006, **26**(10): 1537~1542
- 4 Geraldo Williams. Iris recognition technology [J]. *IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine*, 1997, **12**(4): 23~29
- 5 Yingzi Du, Bradford Bonney, Robert Ives *et al.*. Analysis of partial Iris recognition using a 1-D approach[J]. *IEEE*, 2005, **2**: 961~964
- 6 Milena Bueno Pereira, Antônio Cláudio Paschoarelli Veiga. Application of genetic algorithms to improve the reliability of an iris recognition system[J]. *IEEE*, 2005, **1**: 159~164
- 7 Milena Bueno Pereira, Antonio Claudio Paschoarelli Veiga. A method for improving the reliability of an iris recognition system [J]. *IEEE*, 2005, **2**: 665~668
- 8 Chul-Hyun Park, Joon-Jae Lee, Sang-Keun Oh *et al.*. Iris feature extraction and matching based on multiscale and directional image representation [J]. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 576~583
- 9 Weiqi Yuan, Binxiu Gao. Iris recognition system based on difference of two images gray [C]. *ICGST International Conference on Graphics, Vision and Image Processing (GVIP-05)*; 2005. 77~80
- 10 Tian Qichuan. Localization, segmentation, feature extraction, classification and identification of imperfect irises [D]. Xi'an: College of Automation Northwestern Polytechnical University 田启川. 不完美虹膜的定位分割、特征提取与分类识别[D]. 西安: 西北工业大学博士学位论文, 2005
- 11 Wang Xiangjun, Zhang Min, Zhou Xinling *et al.*. Research on non-contact method of capturing iris image and extracting feature [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(3): 319~323
王向军,张 敏,周鑫玲等. 非接触式虹膜图像获取及特征提取方法研究[J]. *光学学报*, 2005, **25**(3): 319~323
- 12 Li Zhenhua, Jing Zhongliang, Sun Shaoyuan *et al.*. Remote sensing image fusion based on steerable pyramid frame transform [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(5): 598~602
李振华,敬忠良,孙韶媛等. 基于方向金字塔框架变换的遥感图像融合算法[J]. *光学学报*, 2005, **25**(5): 598~602