

一种新颖的虹膜轮廓提取方法

苑玮琦 白晓光*

(沈阳工业大学视觉检测技术研究所, 辽宁 沈阳 110178)

摘要 传统的虹膜定位方法是在人眼图像上把虹膜轮廓当作理想圆来提取。针对虹膜内边界不是理想圆,外边界边缘模糊等问题,提出一种新的虹膜轮廓提取方法。先利用极坐标变换将包含全部虹膜区域的某个范围展开成矩形形状,然后在此矩形区域上根据灰度的阶跃进行虹膜真实内边界的查找,最后在矩形区域上利用直线定位虹膜外边界代替在人眼图像上利用圆定位外边界。该方法不仅解决了内边界不是理想圆造成的瞳孔遗留或纹理损失问题,而且以点、线检测代替圆检测显著降低了虹膜定位时间。通过对 CASIA-IrisV3 虹膜图像库进行定位测试结果表明,该方法平均定位时间 0.172 s,定位准确率 99.35%。

关键词 图像处理;虹膜定位;点线检测;真实内边界

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092908.2158

A New Iris Edge Extraction Method

Yuan Weiqi Bai Xiaoguang

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning 110178, China)

Abstract The traditional way of iris location is to extract the iris edge considering it as an ideal circle. To solve the problem that the inner edge of iris is actually not an ideal circle and the outer edge is blurred, a new way to extract the iris edge is proposed in this paper. It firstly unfolds some certain area in iris to a rectangle shape using the pole coordinates transformation, then searches the real inner iris edge according to the steps of grayscale in this rectangular area and finally takes advantages of linear location in this rectangular area to locate the outer iris edge instead of location of that in the human eye images. This method not only solves the problem of pupil carry-over or the texture loss caused by that the inner edge is not an ideal circle but also sharply reduces the location time since it constitutes the point and line detection to the circle detection. Testing on the CASIA-IrisV3 database, the results show that the proposed method costs an average time of 0.172 s and the correct rate is 99.35%.

Key words image processing; iris location; point and line detection; real inner edge

1 引 言

虹膜识别作为一种重要的身份鉴别技术有着其他生物识别技术如人脸识别、语音识别和指纹识别所无法比拟的优点。虹膜图像中含有极其丰富的结构和纹理特征,具有终身稳定不变性、个体差异性、不易受损、不易被假冒及活体组织特性等特点^[1~4],因此虹膜识别是错误率最低的生物特征识别^[5]。

虹膜定位是虹膜图像预处理的一个重要步骤,目的是将虹膜区域从人眼图像中分割或提取出来,

为特征提取和匹配做准备。到目前为止,根据定位思想不同虹膜定位方法大体分为两类:第一类,由于虹膜内外边缘具有较好的环状特性,因此,大都将虹膜定位问题转化为在人眼图像中确定圆形边界位置的问题。例如 Daugman^[1,2]的圆形检测算子;Wildes^[4]提出的边缘检测结合 Hough 变换;田启川等^[6]提出的不同光照下的虹膜边界定位研究;吴建华等^[7]提出的一种灰度投影与圆的方程相结合的方法;刘洋等^[8]提出的基于特定感兴趣区采样的虹膜

收稿日期: 2008-10-22; **收到修改稿日期**: 2008-12-19

基金项目: 国家自然科学基金(60672078,60472088)资助项目。

作者简介: 苑玮琦(1960—),男,教授,博士生导师,主要从事计算机视觉检测技术,生物特征识别技术,图像处理与模式识别,图像采集与处理系统方面的研究。E-mail: yuan60@126.com

* **通信联系人**。E-mail: bxg81@163.com

定位改进算法;苑玮琦等^[9,10]提出的一种基于人眼图像灰度分布特征的虹膜定位算法等。但是,在人眼图像上利用圆模板定位方法不但运行速度相对较慢,而且忽略了虹膜图像的一个重要特征,即绝大多数人眼的虹膜内边界(瞳孔边界)并不是标准的圆形,部分人眼的虹膜内边界与圆的偏差是比较大的。这种情况下如果仍采用圆形模板进行内边界定位,就会造成瞳孔遗留或纹理损失等问题,影响最后的识别结果。第二类,依据直角坐标下的圆在以圆心为原点的极坐标下表现为一条直线的原理,虹膜轮廓的提取是在极坐标变换后的矩形上进行。例如Kyong等^[11]提出了一种基于直线的虹膜定位算法;李霞等^[12]提出的基于直线检测的虹膜快速定位方法等。此类方法大大地降低了虹膜定位的时间复杂度和空间复杂度,有效地提高了虹膜定位的速度,但文献[11]的算法定位精度较低,文献[12]的算法在定位内边界时,是以虹膜内边界是标准圆为前提,进行多次迭代查找虹膜内边缘的中心和半径,但此算法仍然无法解决虹膜内边界不是标准圆所带来的问题。

针对这些问题,本文提出了一种新颖的虹膜轮廓提取方法,具体步骤是“填补瞳孔内的光斑、粗略确定瞳孔圆心、以瞳孔圆心为参考将图像中包含了虹膜的某个圆环区域展开成矩形、利用点线检测确定内外边界、将内外边界之间的虹膜部分进行归一化”。与上述两类定位算法比较,本文方法中的定位是在极坐标变换后的矩形图像上进行的,以点、线检测代替圆检测虹膜轮廓不但运行速度较快,而且提取了虹膜的真实内边界,在得到虹膜轮廓的同时还将虹膜区域进行了归一化。

2 基本原理

由于设备采集到的图像为人眼图像,如图1所示,图像中除包含虹膜环状区域外,还包括如眼睑、睫毛、巩膜等噪声信息。而且每次采集时虹膜在图像中的位置、大小以及虹膜的面积均不一样。因此为得到优良的虹膜识别效果,必须对原始图像进行虹膜定位和归一化,以提取虹膜区域图像。

本文提出的方法共分5步来提取虹膜的轮廓,具体步骤如图2所示。

2.1 去除瞳孔内的光斑

如图1所示的人眼图像,光斑是由虹膜采集设备的辅助光源造成的。虽然为了不损失虹膜纹理,通常将反射光斑控制在瞳孔内,但是瞳孔内的光斑

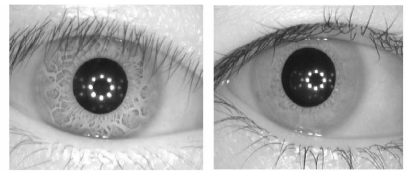


图1 人眼图像样本

Fig.1 Samples of eye images

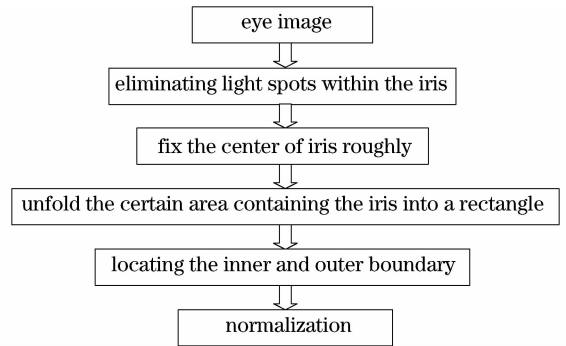


图2 本文方法的步骤

Fig.2 Steps of the proposed method

也属于噪声,也对算法带来影响,所以需要提前对光斑进行处理。

本文采用区域生长^[13]的方法分两阶段对光斑带来的影响进行处理。区域生长是串行区域分割的一种。串行区域分割是指采用串行处理策略对目标区域直接检测来实现分割的方法,特点是整个处理过程可以分解为顺序的多个步骤依次进行。区域生长是指从某个像素出发,按照一定的准则,逐步加入临近像素,当满足一定的条件时,区域生长终止。

第一阶段先对白色的光斑点进行填补。首先,定位光斑内一点,即找初始种子点。以当前点为中心,取适当邻域大小,求出此邻域内所有像素的灰度平均值,如果此值大于阈值 G_1 ,将此当前点标为候选光斑点;在找出的所有候选点中,分别求其左侧、右侧适当区域像素的灰度平均值 M_1 、 M_2 。如果这两个值中存在某个值小于阈值 G_2 ,则将此点标记为真正光斑点。其次,填充光斑。选择某个真正光斑点为种子点,将该像素的灰度值置为0;以该像素为中心,考虑与其相邻的4邻域像素点,如果其中的某个像素点的灰度值为255,则将此像素点与当前点合并,同时将其灰度值置为0;将所有符合条件的像素点合并,直到图像中每个光斑都填充完毕。填充结果如图3(a)所示。

第二阶段对瞳孔区域进行处理。由于光斑的存在,使瞳孔内光斑的附近像素的灰度值也比较高,如图3(a)所示。为了方便后续算法的运算,所以需要进一步对整个瞳孔区域进行填充,使瞳孔区域的灰

度降低,灰度值都为 0,并且分布均匀。

具体的思想与第一阶段类似,第二阶段处理结果如图 3(b)所示。

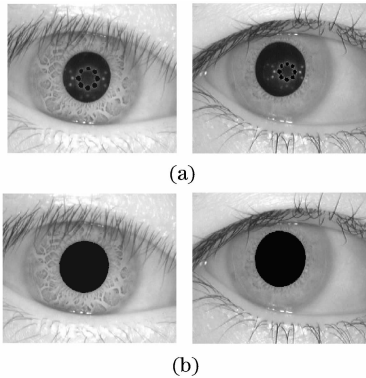


图 3 处理光斑结果

Fig. 3 Results of facula processing

2.2 粗略确定瞳孔的圆心

经过第一步光斑处理后的虹膜图像是整个瞳孔部分的灰度值最低,并且均为 0。利用这一特性和灰度投影法可以容易地得到瞳孔的圆心。

一幅灰度分布为 $I(x, y)$ 的虹膜输入图像,设置两个计数器 $N(x)$ 和 $N(y)$, 其中, $N(x)$ 记录横坐标 x 对应的每列上灰度值为零的像素点的个数; $N(y)$ 记录纵坐标 y 对应的每行上灰度值为零的像素点的个数。 $N(x)$ 和 $N(y)$ 中最大的数对应的 x 和 y 就是要找的瞳孔圆心的横坐标 x_p 和纵坐标 y_p 。

2.3 将人眼图像中包含了虹膜的某个范围展成矩形

在直角坐标系下,虹膜呈现圆环形状,这对于提取虹膜特征和匹配操作,在编程实现上都不方便。为此,利用极坐标变换的方法将直角坐标系下环形虹膜图像转换成极坐标系下的矩形虹膜图像。在第二步的基础上,以瞳孔圆心为中心,以 R_1, R_2 为半径,将中间的环形区域展开成矩形,即以同心圆的形式展开。其中 R_1, R_2 是经验阈值, R_1 要比图库中所有图像的瞳孔半径小, R_2 要比图库中所有图像的虹膜半径大,示意图如图 4(a)所示。

本文以瞳孔的圆心 $P(x_p, y_p)$ 为中心,从环形区域的竖直半径开始,利用由直角坐标系到极坐标系的坐标变换,采用双线性插值方法,按逆时针方向将环形区域展开成如图 4(b)所示矩形图像。矩形图像的长度为 512 pixel,高度为圆环的宽度。

2.4 内外边界定位

展开成矩形后的虹膜图像包含三部分:最上面是灰度值为零的瞳孔区域;中间是虹膜区域;最下面是

灰度值更大一些的巩膜区域。根据三部分区域边界的特征,采用点、线检测的方法确定虹膜区域的轮廓。

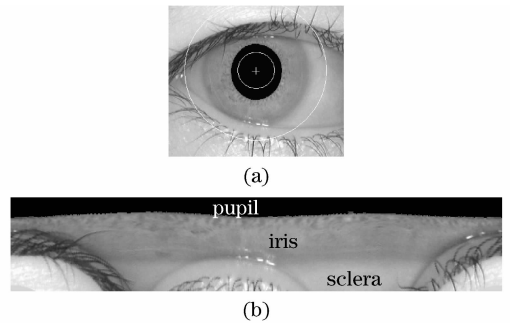


图 4 展开位置示意图及结果。(a)区域(b)展开
Fig. 4 Images of location and result unfolded.

(a) location (b) location unfolded

从图 4(b)中可以清楚看出,虹膜上边界(虹膜和瞳孔的边界)是非常明显的,并且不是一条直线,而是类似波浪的曲线,这条曲线就是虹膜的真实内边界。由于本方法第一步将瞳孔进行了填补,瞳孔内的灰度值都是零,从上到下遍历图像的每一列进行点检测,第一个灰度值不是零的像素点就是虹膜的真实边界点。

由于某些人眼图像的虹膜内边界不是标准的圆形[如图 5(a)所示],如果采用圆形模板进行内边界定位^[4~9],就会出现以下两种情况:1)为了不损失靠近瞳孔部分的虹膜有用信息,用于内边界定位的圆的半径就尽量要小,这样必然有部分瞳孔信息被划入虹膜环内,这种情况可以从图 5(b)中清楚看出。归一化后的虹膜纹理就包括了遗留的部分瞳孔,这必然会对后续的特征提取和匹配带来干扰,影响识别的准确率。2)为了避免瞳孔遗留问题的出现,就要将用于内边界定位的圆的半径扩大,使定位后的虹膜区域不包括瞳孔信息,结果如图 5(c)所示。这样虽然减少了噪声的干扰,但是部分靠近瞳孔的纹理被划进了圆内,损失了部分有用的虹膜纹理。通过人眼图像可以看出,越靠近瞳孔,虹膜的纹理越复杂,可用于特征提取进行编码的有用信息越多,利用圆模板进行定位而损失的虹膜纹理是十分可惜的,甚至会影响部分算法的准确率。

可以将上述两种情况在展开矩形上的定位结果与如图 6(a)所示的真实内边界进行对比。图 6(b)、图 6(c)是采用传统圆形模板进行内边界定位后在展开矩形图像上的位置示意图,也就是图 5(b)、(c)对应的展开图像。从 3 副图中可以清楚地看到虹膜内边界的差异。

虹膜下边界(虹膜和巩膜的边界)与上边界相比

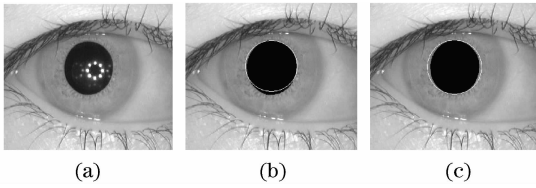


图 5 圆模板检测内边界存在的问题。(a)人眼图像；(b)瞳孔涉入；(c)纹理损失

Fig. 5 Problems existing in the inner edge detection with the circle mask. (a) Image of an eyes (b) pupil carry-over (c) texture loss

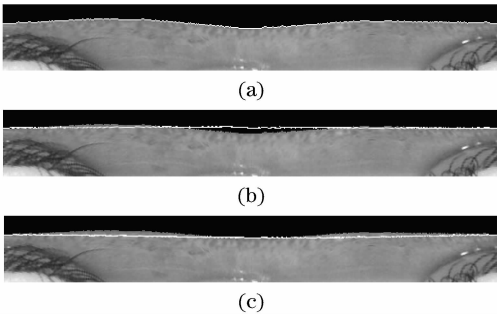


图 6 边界定位及比较

Fig. 6 Boundary localization and comparison

较模糊，而且有的图像有噪声干扰，可以用线检测确定一条直线来代替下边界。利用边界检测模板来进行搜索，寻找灰度阶跃最大的点。

边界检测模板^[9]如图 7 所示。设其初始方向为水平，此时其宽度为 m 个像素，高度为 n 个像素，其中 m 和 n 均为奇数，且 $(n-1)/2 > m$ ，其中心点为 $O(x, y)$ ，通过点 O 的一条水平直线（即短轴），将模板等分为上下两个部分，沿长轴方向即为模板方向。同时，规定模板方向必须始终与检测方向保持一致。对于搜索范围内的每一个当前点 (x, y) ，将该点作为模板的中心，分别计算上下两部分的灰度和，两部分灰度和之差最大的说明灰度的阶跃最大，当前点即要找的边界点。

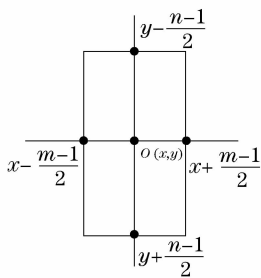


图 7 边界检测模板

Fig. 7 Boundary detection template

通常虹膜图像是在人眼自然张开的情况下采集到的，所以虹膜区域可能会受到眼睑和眼毛的遮挡，

展开成矩形的虹膜图像也会存在眼睑和眼毛的干扰。但是人眼图像中虹膜环的 0° 和 180° 位置通常不会受到干扰，与之对应的展开图像中的位置是矩形宽度的 $1/4$ 和 $3/4$ 处。在这两个位置利用边界检测模板来检测下边界，范围从矩形高度的一半开始向下搜索。

虹膜下边界其实也是一条曲线，这是由于人眼图像中虹膜的内外边界不是同心圆，虹膜圆心和瞳孔圆心有偏差所造成的。而本方法是以同心圆的形式展开成矩形，所以有的矩形图像中的虹膜下边界不是水平的直线，因此在矩形长度的 $1/4$ 和 $3/4$ 处所检测到的两个边界点的横坐标是不同的，也就是检测出两条虹膜下边界。本方法选择靠近虹膜区域的一条边界为下边界，这样选择是为了不将巩膜的干扰信息划入虹膜内，而将一部分虹膜纹理截掉。因为与上边界相比，下边界较模糊，无法确定绝对的边界，且虹膜外边界部分的虹膜纹理很少，变化不大，而截断的虹膜部分又很少，所以选择靠近虹膜区域的一条边界为下边界是可行的。定位结果如图 8 所示。



图 8 边界定位

Fig. 8 Edge localization

2.5 归一化

由于瞳孔受光照强度影响会发生缩放，因此不同的人眼图像中虹膜区域的宽度是不同的。另外，图像采集设备与人眼的距离远近也会造成虹膜区域的宽度差异。虹膜归一化就是从矩形图像中分割出虹膜区域，通过一定的数学手段，给出一个统一大小，统一形状的虹膜区域图像。其目的在于建立一个标准的比较平台，便于虹膜特征的提取与匹配。本文提到的归一化与传统的归一化是不完全相同的，是将传统的归一化分成两步，中间插入了虹膜内外边界的定位，是将定位后的虹膜区域的大小进行统一。

归一化后的虹膜图像的大小为 $512 \text{ pixel} \times 64 \text{ pixel}$ 。人眼图像展开成矩形后的图像为 512 pixel ，所以只需将虹膜定位后的两条边界之间的区域归一



图 9 归一化图像

Fig. 9 Normalization image

化成 64 pixel 即可。利用双线性插值。得利归一化结果如图 9 所示。

3 实验结果与分析

实验使用的计算机 CPU 主频为 Pentium4 2.0 GHz, 内存为 256 M, 编程工具为 Visual C++ 6.0。实验中用到的人眼图像来自 CASIA-IrisV3-Interval 虹膜图像库。该数据库共有 2655 幅图像, 分辨率为 320 pixel \times 280 pixel。利用本文提出的方法, 对上述数据库进行了实验。图 10 是从数据库中随机抽取的三幅图像和虹膜轮廓提取后的结果。

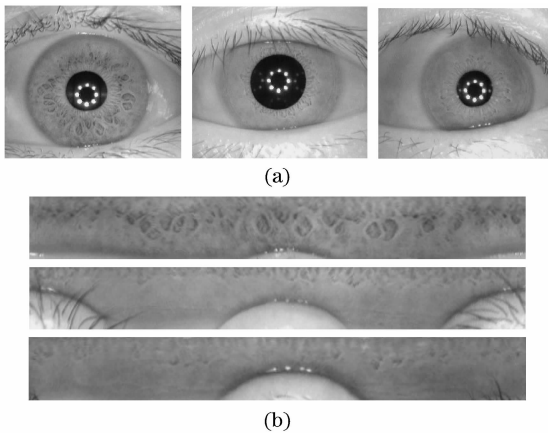


图 10 虹膜轮廓提取结果。(a)原始图象,(b)提取后结果

Fig. 10 Experimental results of edges. (a) The original images, (b) results of extraction

平均每幅图像用时 0.172 s, 虹膜定位的准确率为 99.35%。同时对 Daugman 的积分微分算法和边缘检测结合 Hough 变换算法进行了重复性实验, 比较结果如表 1 所示。

表 1 三种算法的比较

Table 1 Comparison of three algorithms

methods	accuracy / %	operation time / s
Daugman	98.35	4.625
Hough	95.79	4.437
Proposed	99.35	0.172

经分析, 提取虹膜轮廓失败的原因主要是本方法第一步骤用区域生长算法填充瞳孔时, 由于人眼在自然睁开状态下, 眼睑和眼毛遮挡过大, 眼毛已伸到瞳孔内, 眼毛与瞳孔的灰度相差很小, 所以区域生长不只在瞳孔内进行而扩展到眼毛上, 使瞳孔分离失败。

为了比较本文提出的算法与传统的圆定位预处理算法对虹膜识别准确性的影响, 分别使用本文方法、文献[5]中方法对 CASIA-IrisV3-Interval 图库

中图像进行预处理, 得到两个对应的归一化图库。从中对应选取受遮挡区域较少的 420 幅图像(其中包括 60 类不同人眼, 每类 7 幅), 分别使用 2D-Gabor^[1,2]、复小波^[14~18]进行虹膜特征提取、编码及识别, 比较相同方法在两图库上的识别效果。如表 2 中数据表明, 上述两种算法在按本文方法定位归一化的图库上, 识别率都要高于传统定位归一化方法。

表 2 两图库中两种识别算法识别率比较

Table 2 Comparison of two picture libraries

methods	proposed / %	reference ^[5] / %
2D-Gabor	99.84	99.57
complex wavelet	99.72	99.70

4 结 论

本文对虹膜定位算法进行了研究, 提出了一种虹膜轮廓提取方法。用该算法对 2655 幅图像的虹膜数据库进行了遍历实验, 定位准确率达到 99.35%, 并能够准确提取真实的虹膜内边界。平均每幅图像的预处理时间只有 0.172 s, 大大地提高虹膜识别系统的实时性。实验结果表明, 在展开的矩形区域上, 用点、线检测来确定虹膜的边界是可行的。同一类的人眼图像利用本文方法定位并归一化后的识别率比利用传统圆定位归一化后的识别率高。该方法无论是在运算速度上, 还是在后续识别算法的准确率上都有很大改进。

致谢 感谢中科院自动化所提供的 CASIA 虹膜数据库(Ver3.0), 使本课题得以顺利进行。

参 考 文 献

- J. G. Daugman. Wavelet demodulation codes, statistical independence, and pattern recognition. Institute of Mathematics and its Applications[C]. *Proc. 2nd IMA-IP*, 2000; 244~260
- J. G. Daugman. The importance of being random: statistical principles of iris recognition[J]. *Pattern Recognition*, 2003, **36**(2): 279~291
- J. G. Daugman. Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition [J]. *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 2003, **1**(1): 1~17
- R. Wildes. Iris recognition: An emerging biometric technology [C]. *Proc. IEEE*, 1997, **85**(9): 1348~1363
- Wang Yunhong, Zhu Yong, Tan Tieniu. Biometrics personal identification based on iris pattern[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2002, **29**(1): 1~17
王蕴红, 朱 勇, 谭铁牛. 基于虹膜识别的身份鉴别[J]. *自动化学报*, 2002, **29**(1): 1~17
- Tian Qichuan, Pan Quan, Cheng Yongmei. Study on iris boundary localization under different illumination[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2006, **17**(4): 488~492

- 田启川,潘 泉,程咏梅. 不同光照下的虹膜边界定位研究[J]. 光电子·激光, 2006, **17**(4):488~492
- 7 Wu Jianhua, Zou Dexuan, Li Jinghui. Fast and accurate iris location algorithm[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2007, **28**(8):1469~1473
- 吴建华,邹德旋,李静辉. 一种快速精确的虹膜定位方法[J]. 仪器仪表学报, 2007, **28**(8):1469~1473
- 8 Liu Yang, Li Xia, Wang Na *et al.*. An improved iris location algorithm based on sampling to special regions of interesting[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(6):1277~1280
- 刘 洋,李 霞,王 娜 等. 基于特定感兴趣区采样的虹膜定位改进算法[J]. 光子学报, 2008, **37**(6):1277~1280
- 9 Yuan Weiqi, Xu Lu, Lin Zhonghua. Iris localization algorithm based on gray distribution features of eye images[J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2006, **17**(2):226~230
- 苑玮琦,徐 露,林忠华. 一种基于人眼图像灰度分布特征的虹膜定位算法[J]. 光电子·激光, 2006, **17**(2):226~230
- 10 Yuan Weiqi, Xu Lu, Lin Zhonghua. An iris block-encoding method based on statistic of local information[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(11):2047~2053
- 苑玮琦,徐 露,林忠华. 一种基于局部信息统计的虹膜分块编码方法[J]. 光学学报, 2007, **27**(11):2047~2053
- 11 K. W. Nam, K. L. Yoon, W. S. Yang. A feature extraction method for binary iris code construction[C]. *Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technology for Application (ICITA 2004)*, Harbin, 2004:284~287
- 12 Li Xia, Yu Luyi, Wang Na. A fast iris location algorithm based on line detection [J]. *Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics*, 2006, **18**(8):1155~1159
- 李 霞,于鲁义,王 娜. 基于直线检测的虹膜快速定位方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, **18**(8):1155~1159
- 13 Rafael C. Gonzalez. *Digital Image Processing* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006, 519~530
- 14 Wu X., Wang K., Zhang D.. Wavelet energy feature extraction and matching for palmprint recognition[J]. *Journal of Computer Science and Technology*, 2005, **20**(3):411~418
- 15 Cai De, Yan Yingbai, Jin Guofan. Research on optical wavelet packet transform and its filter for iris recognition [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(7):1076~1079
- 才 德,严瑛白,金国藩. 光学小波包变换及其滤波器的研究[J]. 光子学报, 2006, **35**(7):1076~1079
- 16 Wang Xiangjun, Zhang Min, Zhou Xingling *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
- 17 Wang Haihong, Zeng Ni, Lu Wei *et al.*. Edge detection of laser imaging radar based on wavelet transform and mathematical morphology[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(6):903~906
- 王海虹,曾 妮,陆 威 等. 基于小波变换和数学形态学的激光成像雷达图像边缘检测[J]. 中国激光, 2008, **35**(6):903~906
- 18 Yuan Weiqi, Bai Yun, Ke Li. Analysis of relationship between region of iris and the accuracy rate[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(5):937~942
- 苑玮琦,白 云,柯 丽. 虹膜区域选取与识别率对应关系分析[J]. 光学学报, 2008, **28**(5):937~942