

# 基于消除图像干扰点的虹膜识别方法

杨红影<sup>1</sup> 何玉青<sup>1</sup> 侯雨石<sup>2</sup> 冯光琴<sup>1</sup> 何欢<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 北京理工大学信息科学技术学院光电工程系, 北京 100081; <sup>2</sup> 虹彩模识有限公司, 北京 100081)

**摘要** 目前的虹膜识别系统常因图像采集环节中和光照相关的多种因素使虹膜图像出现光斑, 在很大程度上影响虹膜识别系统的识别精度。为了进一步使虹膜识别系统具有更高的准确性、更大的实用性, 提出了一种基于消除图像干扰点的虹膜识别方法。该方法首先用图像融合技术对不同位置出现光斑的同一虹膜图像进行配准融合, 消除虹膜图像上的光斑, 使虹膜图像更完整清晰, 然后采用图像灰度局部信息统计的方法对虹膜纹理进行特征提取和编码, 并运用海明距离进行虹膜匹配, 得到识别结果。在给定阈值为 0.255 的前提下, 达到 99.74% 的正确识别率。实验证明, 该算法有效消除图像干扰点, 识别率高, 满足虹膜识别的要求。

**关键词** 医用光学与生物技术; 虹膜识别; 图像融合; 图像灰度局部信息统计; 虹膜图像亮点

中图分类号 TP391 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS200929s1.019

## An Iris Recognition Method Based on Eliminating Disturbance Points in Iris Image

Yang Hongying<sup>1</sup> He Yuqing<sup>1</sup> Hou Yushi<sup>2</sup> Feng Guangqin<sup>1</sup> He Huan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Department of Opto-Electronic Engineering, School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*  
<sup>2</sup> *Smartiris Biometrics Co. Ltd., Beijing 100081, China*

**Abstract** Nowadays, many kinds of factors related with illumination in the gathering process of iris recognition system bring light spots to the iris images, and the light spots lead to the loss of the iris texture. To a great extent, it affects the precision of the iris recognition system. In order to improve the accuracy and practicality of iris recognition system, an iris recognition method based on eliminating disturbance points in iris image is proposed. This method uses the image fusion technology to match two images of the identical iris which have light spots in different positions. As a result, the light spots are effectively eliminated after the image fusion. Then it uses an iris block-encoding method based on statistic of local information for feature extraction and encoding. After that it calculates the Hamming distance between different iris codes and obtains the recognition results according to Hamming distance. When the Hamming distance threshold equals to 0.255, the accuracy of iris recognition is 99.74%. The experimental results demonstrate that this method can effectively eliminate the disturbance points and has high accuracy, which can meet the demands of iris recognition.

**Key words** medical optics and biotechnology; iris recognition; image fusion; iris block-encoding method; iris light spots

## 1 引 言

虹膜是整个身体中最为独特的结构之一, 它是一种在眼睛中瞳孔内的织物状的各色环状物, 每一个虹膜都包含一个独一无二的基于像冠、水晶体、细丝、斑点、结构、凹点、射线、皱纹和条纹等特征的结

构。正是丰富的纹理和复杂的结构使虹膜具有了唯一性、稳定性、可采集性、难更改性、非侵犯性等特点<sup>[1~3]</sup>。这些特点使虹膜非常适合用于识别身份, 也使虹膜识别成为目前错误率最低的生物特征身份识别技术<sup>[4]</sup>。自从 Flom 和 Safir 提出自动虹膜识

**基金项目:** 国家自然科学基金(60572058)和北京理工大学优秀青年教师资助计划(2006Y0104)资助课题。

**作者简介:** 杨红影(1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事虹膜识别方面的研究。E-mail: angelaying@bit.edu.cn

**导师简介:** 何玉青(1977-), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事虹膜识别及红外热成像方面的研究。

别的概念后<sup>[4]</sup>,国内外有很多人进行了相关研究,提出了很多的虹膜识别方法<sup>[1~10]</sup>,Daugman<sup>[2,3,5]</sup>提出利用二维(2D) Gabor 滤波器对虹膜纹理进行局部相位量化和编码,这种算法识别准确性高、速度快,是目前虹膜识别商用系统的基础。Wildes 等<sup>[6,7]</sup>利用多尺度 LOG 滤波器实现了嵌入式虹膜识别系统。Boles 和 Boashash<sup>[8]</sup>提出了一种新颖的基于小波变换过零检测的虹膜识别算法。

虽然目前虹膜识别算法很多,但是虹膜的非侵犯性却给虹膜识别带来了一些问题,其原因在于:对于自动的非侵犯性虹膜识别系统来说,不应对被采集者要求过高,就是说被采集者可以轻松随意的使用识别系统,这就要求虹膜识别系统在图像获取环节就考虑到各种可能出现的情况所造成的虹膜图像质量不高问题。在各种低质量的虹膜图像中,由于光照因素造成的图像上的光斑,一直是虹膜图像获取过程<sup>[9,10]</sup>中较难解决的问题之一(如图 1)。虹膜图像上的光斑常因为以下情况引起:

- 1) 被采集者在系统前的位置不同,采集设备的辅助光源形成的光斑很难控制在瞳孔内;
- 2) 被采集者佩戴眼镜,眼镜镜片的反光;
- 3) 眼睛表面的液体反光。

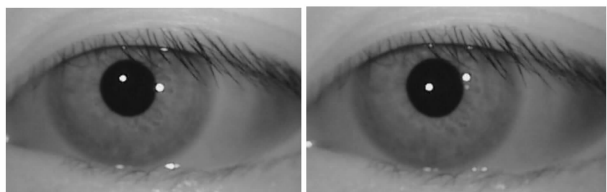


图 1 两幅光斑位于虹膜不同位置的虹膜样本

Fig. 1 Sample images with the light spots in different positions of the iris

由于上述原因带来的虹膜图像上的光斑,引起了一定程度上的虹膜纹理特征的缺失,从而影响纹理特征的提取,造成误识错误,影响虹膜识别的准确性。解决了这些问题,可以使得非侵犯性的虹膜识别具有更高的准确性和更低的配合度以及更大的实用性。本文采用一种图像融合的方法将虹膜图像上的光点去除,并运用基于灰度局部信息统计的方法进行虹膜特征提取,最后用海明距离进行虹膜匹配得出识别结果。

## 2 虹膜图像预处理

虹膜图像的预处理是虹膜识别中非常关键的一步,将直接影响识别的准确率。预处理主要包括图像平滑、虹膜定位与提取、虹膜图像的归一化等过程。

### 2.1 虹膜定位

虹膜定位直接影响着虹膜识别的准确性,包括虹膜内边缘定位和外边缘定位。本文根据虹膜图像灰度特点,瞳孔的灰度比虹膜的灰度小得多,从而可以很容易的定位虹膜的内边缘,进而计算出瞳孔的中心和半径。由于在虹膜图像中常常有眼皮和睫毛的干扰,而且虹膜和巩膜之间的灰度梯度变化也不明显,因此外边缘的定位较复杂。我们先对虹膜图像中值滤波,再用 Canny 算子<sup>[11]</sup>进行边缘检测,用 Hough 变换拟合出虹膜外边缘得到外边缘的中心和半径。虹膜定位结果如图 2 所示。

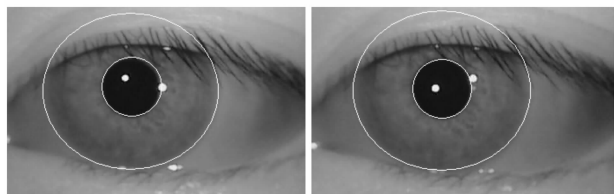


图 2 定位后的虹膜图像

Fig. 2 Location result of iris images

### 2.2 图像归一化

在获得了虹膜内外圆参数后,我们发现瞳孔的圆心与虹膜的圆心并不完全重合,但差距不大,因此对虹膜进行分割时是以瞳孔的圆心作为圆心,采用极坐标的方式<sup>[12]</sup>将虹膜展开成矩形,变换过程采用

$$\begin{aligned} X_{\theta}(\rho) &= X_0 + \rho \cos \theta, \\ Y_{\theta}(\rho) &= Y_0 + \rho \sin \theta \end{aligned} \quad (1)$$

式中  $X_{\theta}(\rho)$  和  $Y_{\theta}(\rho)$  分别表示在角度为  $\theta$ , 长度为  $\rho$  时的虹膜图像坐标;  $X_0, Y_0$  表示瞳孔圆心坐标;  $0 \leq \theta \leq 360$ ; 当  $\rho$  变化时, 在  $\theta \in [0, 2\pi)$  上, 以一定的采样率提取特征点, 采样率不随  $\rho$  变化。考虑到在采样点不是整数的情况下, 采用双线性插值的方法来解决这个问题。在环形到矩形图片的归一化后, 还要将图片缩放到统一的尺寸, 如图 3 所示, 以便进行下一步的图像配准。



图 3 归一化后的图像

Fig. 3 Normalization results of two iris images

## 3 图像配准及融合

经过对虹膜图像预处理, 我们得到归一化展开成矩形的虹膜纹理图像。要消除虹膜上亮点需要将

虹膜纹理图像配准对齐,定位亮点的位置并融合。

### 3.1 图像配准

如图 3 所示的虹膜纹理图像,是两次采集过程得到的虹膜图像,采集过程中虹膜图像可能存在一定程度的旋转等因素带来的位置偏差,在展开并且归一化后,虹膜纹理一般而言是不能完全对齐的。这个问题给虹膜图像的融合带来了麻烦,因此要在进行虹膜图像融合之前,必须先将两幅图像进行配准对齐。一般而言,图像配准有很多的方法,考虑到模板匹配<sup>[13~17]</sup>方法对匹配图像的纹理信息没有限制,所以本文采用基于模板匹配的方法进行两幅图像的配准。

如图 4 所示,设模板  $T(m, n)$  叠放在搜索图  $S$  上平移,模板大小为  $m \times n$ ,  $i$  和  $j$  为模板位置的坐标。被模板覆盖的搜索图像叫做子图,  $S^{i,j}(m, n)$  为这块子图的左上角像点在  $S$  图中的坐标,称为参考点。比较  $T(m, n)$  和  $S^{i,j}(m, n)$ ,若两者一致,则  $T(m, n)$  和  $S^{i,j}(m, n)$  之差为 0,所以可以用下列相关函数来衡量  $T(m, n)$  和  $S^{i,j}(m, n)$  的相似程度,

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M S^{i,j}(m, n) T(m, n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [S^{i,j}(m, n)]^2} \quad (2)$$

假设搜索图  $S$  大小为  $M \times N$ ,且  $1 \leq i, j \leq N - M + 1$ 。运用这种方法进行匹配的计算量非常大,这是由于匹配时模板  $T(m, n)$  要做  $(N - M + 1)$  次相似度计算,而且大部分都是在非匹配点做的无用功,因此我们采用一种快速的匹配方法进行匹配,即序贯相似度检测算法(SSDA)<sup>[16]</sup>。

具体配准过程如图 4 所示,首先在其中一幅图像上选取 1 个模板,这个图像称之为标准图像,并记下这个模板的中心坐标值。因为两幅图像是在归一化之后进行配准,待测图像与标准图像不存在角度、缩放等差异,匹配问题仅仅需要考虑平移相关问题,

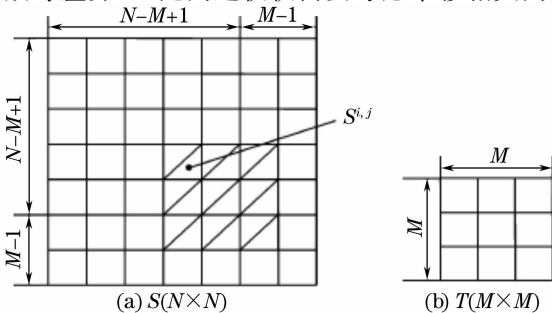


图 4 模板匹配示意图

Fig. 4 Schematic diagram of template matching

所以可以根据标准图像中的模板坐标值,分别加减一定的数值作为搜索区间,由对应的模板在此图像上进行匹配,以减少不必要的匹配计算。采用 SSDA 进行相似度计算,选取待测图像中与模板相似度最大的部分作为匹配区域。一般所取模板是矩形或正方形,根据模板 4 个角点处的灰度和 2 个方向上的灰度梯度等特征,可以在待测图像中迅速得到模板 4 个角点的匹配点,即得到该模板的匹配区域。如图 5 所示,得到配准参数后,将图像进行切割拼接,进行图像配准,从而使两幅虹膜图像对齐。



图 5 配准对齐后的两幅虹膜图像

Fig. 5 Two iris images after registration

### 3.2 亮点定位

如图 6 所示,两幅图像已经进行配准对齐。在进行两幅图像融合之前,我们需要分别定位两幅虹膜图像中高光点的位置,大小和形状。由于亮点相对于其他纹理位置灰度大,灰度梯度变化明显,所以这里选用 Sobel 算子进行边缘检测,从而确定高光点的位置、形状和大小。

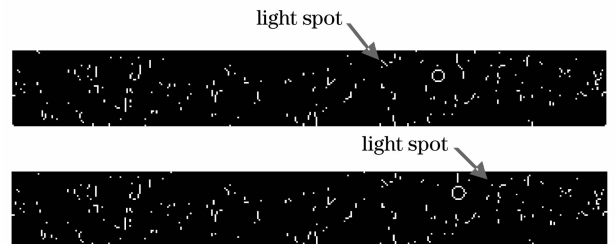


图 6 Sobel 算子定位高光点

Fig. 6 Location of light spots by using Sobel operator

### 3.3 图像融合

两幅图像中光斑的位置确定后,利用图像分割技术,用与光斑相同位置的另一副图像的相对应位置的虹膜纹理图像替换光斑位置的图像内容,由于光斑可能大小不同,在这里选取较大光斑的直径为标准,从而形成一幅没有光斑完整的虹膜图像,如图 7 所示。



图 7 融合后虹膜图像

Fig. 7 Iris image after image fusion

## 4 特征提取及编码

虹膜图像包含很多细节纹理,这些纹理由条状、斑点状等各种形状的块构成,其灰度差别比较大,但基本上靠近瞳孔。而且它们的分布是不均匀的,这些形状不规则的块可以作为虹膜的一种可区分特征。基于虹膜纹理的块状特性,所以我们采用对图像分块的方式来覆盖纹理。我们将虹膜纹理图像划分成大小相等的矩形块<sup>[19]</sup>,则每一块就是一个局部区域。由于虹膜图像是灰度图像,图像某一区域的均值可以反映出亮度信息,标准差则可以反映出该区域内的衬比度信息,而亮度和衬比度又是描述图像的关键信息,因此计算每一块的灰度均值  $\mu_i$  和标准差  $\sigma_i$  就能得到虹膜纹理图像的局部信息。而计算整幅虹膜图像的均值  $\mu$  和标准差  $\sigma$  就可以得到纹理图像的全局信息。虽然纹理图像的全局信息不能作为不同虹膜的可区分特征直接用于虹膜分类,却可以作为衡量图像内部变化情况的参考。这样,局部信息与全局信息之间的比较关系就可以将不同虹膜的可区分特征提取出来。

我们将已经消除了亮点的归一化虹膜纹理图像,根据虹膜局部信息与全局信息、局部信息与局部信息之间的比较关系进行分块编码。将图像划分成块以后,还要将所有的块按从上至下、从左至右的顺序排列,设第  $i$  块为  $\text{Block}_i$ ,其对应的 4 个编码位为  $\text{bit}_1^i, \text{bit}_2^i, \text{bit}_3^i, \text{bit}_4^i$ :

1)  $\text{bit}_1^i, \text{bit}_2^i$ : 对于不同的纹理图像,相同位置的块与全局信息的关系不会完全不同,这就是纹理图像内部的一种可区分特征。可以利用二者的关系来表示不同的虹膜模式。若块内  $\mu_i$  小于全局均值  $\mu_0$ , 则用 0 表示这种关系,否则用 1 表示;若块内标准差  $\sigma_i$  小于全局标准差  $\sigma_0$ , 则用 0 表示,否则用 1 表示。分别用编码位  $\text{bit}_1^i$  和  $\text{bit}_2^i$  记录局部信息与全局信息之间的关系。

2)  $\text{bit}_3^i, \text{bit}_4^i$ : 任意的相邻两块之间存在着一定的比较关系,这种比较关系间接地反映出了纹理之间的距离、面积比、灰度对比等信息。而不同虹膜的纹理图像内部的这种关系必然不同,因此局部信息之间的关系也可以作为图像内部的一种可区分特征。若当前块内均值  $\mu_i$  小于其右侧相邻块内均值  $\mu_{i+1}$ , 则用 0 表示,否则用 1 表示;若当前块内标准差  $\sigma_i$  小于其右侧相邻块内标准差  $\sigma_{i+1}$ , 则用 0 表示,否则用 1 表示。分别用编码位  $\text{bit}_3^i$  和  $\text{bit}_4^i$  记录局部信息与局部信息之间的关系。

将  $\text{Block}_1$  至  $\text{Block}_n$  的编码位全部串接起来(设

共分成  $n$  块),就得到了能够表示纹理图像可区分特征的二进制虹膜代码,记为  $\{\text{bit}_1^1, \text{bit}_2^1, \text{bit}_3^1, \text{bit}_4^1, \dots, \text{bit}_1^n, \text{bit}_2^n, \text{bit}_3^n, \text{bit}_4^n\}$ 。图 8 给出了生成虹膜代码的示意图。

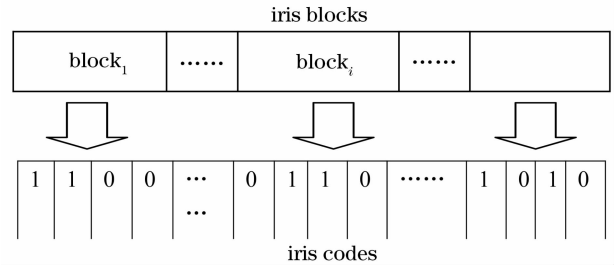


图 8 生成虹膜代码

Fig. 8 Iris codes

根据上述的编码原理,具体编码步骤如下:

- 1) 计算整幅虹膜纹理图像的均值  $\mu_0$  和标准差  $\sigma_0$ ;
  - 2) 按照大小为  $h \times w$  对图像进行分块,  $w$  为块的宽度,  $h$  为块的高度并计算每块的均值  $\mu_i$  和标准差  $\sigma_i$ ;
  - 3) 将每块的均值  $\mu_i$  和标准差  $\sigma_i$  与整幅图像的均值  $\mu_0$  和标准差  $\sigma_0$  进行比较,若满足“ $\geq$ ”的关系,则将对应的编码位置为“1”,否则置为“0”;
  - 4) 将每块的均值  $\mu_i$  和标准差  $\sigma_i$  与其右侧相邻块的均值  $\mu_{i+1}$  和标准差  $\sigma_{i+1}$  进行比较,若满足“ $\geq$ ”的关系,则将对应的编码位置为“1”,否则置为“0”,并将得到的代码串接在步骤 3) 中得到的代码之后。
- 这样就得到虹膜纹理图像的编码。

## 5 虹膜匹配

虹膜分块编码得到能够有效地表示图像内部对应关系的二进制虹膜代码,可以采用海明距离对不同的虹膜代码进行模式匹配。设虹膜代码长度为  $L$  位,则虹膜代码  $A$  和  $B$  之间的归一化海明距离  $H$  可以表示为

$$H = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L A_j \oplus B_j, \quad (3)$$

式中  $A_j$  和  $B_j$  分别表示虹膜代码  $A$  和  $B$  在第  $j$  位上的代码,“ $\oplus$ ”表示异或运算。根据海明距离给出识别结果。

## 6 实验结果及分析

实验使用的虹膜数据库共有 150 幅图像,包括 30 人 30 只不同眼睛的虹膜,每只眼睛有 5 幅 24 位灰度图像,分辨率为  $480 \times 640$ ,其中每只眼睛都有

虹膜上有亮点的和虹膜上没有亮点的虹膜图像。将虹膜图像经过虹膜定位,归一化展开成分辨率为  $64 \times 512$  的虹膜纹理图像。将同一虹膜的有亮点的虹膜图像运用模板匹配法匹配对齐,再用 Sobel 算子定位出亮点位置,运用图像切割技术将两幅图像融合,消除虹膜图像上亮点。经过以上操作,得到分辨率为  $64 \times 512$  的完整的没有亮点的归一化虹膜纹理图像 150 幅。然后根据分块原则将虹膜纹理图像分块,每小块为  $8 \times 8$  的大小,按编码原理得到每块的虹膜代码,用海明距离进行虹膜匹配。

实验共进行  $C_{150}^2 = 11175$  次匹配实验,其中类内(Intra Class)匹配  $30 \times C_5^2 = 300$  次,类间(Inter Class)匹配  $11175 - 300 = 10875$  次。这里,所谓类内比较是指将来自同一个虹膜的不同图像进行比较,类间比较是指将不同虹膜的图像进行比较。由于类间匹配的数量比类内匹配的数量大很多,要取得曲线交叉点的坐标,就对纵坐标采取密度归一化,将类内纵坐标除以类内匹配总次数 300,将类间纵坐标除以类内匹配总次数 10875。

图 9 给出了相关的实验结果,即放在同一坐标下的海明距离分布情况,其中图 9 左侧的曲线是类内匹配的海明距离分布,其均值为 0.2032,标准差为 0.0384;右侧的曲线是类间匹配的海明距离分布,其均值为 0.3442,标准差为 0.0288;两条分布曲线交叉处的海明距离大约为 0.2841,若令判别阈值  $T = 0.2841$ ,则正确识别率(Correct recognition rate, CRR)为 99.14%。表 1 列出了不同判别阈值下的 CRR 值。

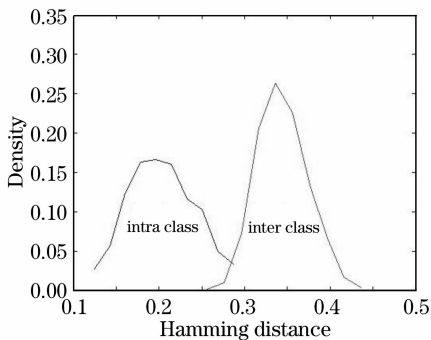


图 9 实验结果

Fig. 9 Experimental results

从实验结果可以看出,尽管该方法的正确识别率很高,但类内匹配和类间匹配的海明距离分布仍然存在一定的交叉现象。通过分析错误识别的样本可以发现:1)有些样本的虹膜图像定位不够准确,对识别效果也有影响,图 10 是其中的一个定位不够准确

的样本;2)采用的虹膜库中,每只眼睛样本本数不多,所以训练样本比较少,这也是导致错误的原因之一。

表 1 不同判别阈值下的 CRR 值

Table 1 CRR based on different Hamming distance

Hamming distance	CRR	Hamming distance	CRR
$T = 0.250$	99.64%	$T = 0.275$	99.62%
$T = 0.255$	99.74%	$T = 0.280$	99.45%
$T = 0.260$	99.73%	$T = 0.2841$	99.14%
$T = 0.265$	99.70%	$T = 0.285$	99.05%
$T = 0.270$	99.68%	$T = 0.29$	98.32%

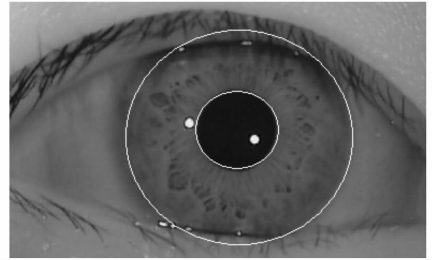


图 10 定位不准确样本

Fig. 10 Sample with inaccurate location of iris image

如果图像在不同照明条件下获得,其亮暗程度将存在差别,但这不会对识别结果造成影响,该方法以灰度均值和标准差作为描述信息的参量,图像亮度的变化必然牵动全局信息和局部信息以同样的趋势同时变化,而其相互之间的比较关系却保持不变。瞳孔受光照刺激的缩放引起的虹膜纹理变化也不会影响识别结果,因为预处理中的归一化操作可以对纹理的这种缩放失真进行一致性调整。

## 7 结 论

复杂的结构和丰富的纹理使虹膜具有唯一性、稳定性、非侵犯性等优点,这些优点也使虹膜识别成为生物特征身份识别领域中的研究热点。但是由于非侵犯性采集的原因,虹膜识别系统在图像获取环节就有可能出现各种低质量的虹膜图像。而由于光照因素造成的图像上的光斑,一直是虹膜图像获取过程中较难解决的问题之一。本文针对光斑这一问题,提出了一种基于去除光斑的虹膜识别方法。该方法创造性的运用 SSDA 算法对归一化展开后的虹膜图像快速配准并进行图像融合,融合成一幅消除了光斑的高质量的虹膜图像,并采用基于图像局部信息统计的编码原理对虹膜纹理进行提取编码,用海明距离进行虹膜匹配。实验证明,该方法能够有效地消除虹膜图像上的光斑,而且识别率较高。该算法解决了虹膜图像获取过程中由于光照因素造成的图像质量下降这个一直难以解决的问题,进一

步使得非侵犯性的虹膜识别系统具有更高的准确性和更低的配合度以及更大的实用性。

### 参 考 文 献

- 1 John G. Daugman. High confidence personal identification by rapid video analysis of iris texture[C]. Proceedings of IEEE 1992 International Conference on Security Technology, 1992. 50~60
- 2 John G. Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, **15**(1): 1148~1161
- 3 John G. Daugman. Statistical richness of visual phase information: update on recognizing persons by iris patterns[J]. *Int. J. Comput. Vis.*, 2001, **45**(1): 25~38
- 4 Flom L, Safir A. Iris Recognition System[P]. U. S. Patent 4641349, Patent and Trademark Office, Washington, DC, 1987
- 5 John Daugman. Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition[J]. *Int. J. Wavelets, Mult-Res. and Info. Processing*, 2003, **1**(1): 1~17
- 6 Wildes R, Asmuth J, Green G. A machine-vision system for iris recognition[J]. *Mach. Vis. Applic.*, 1996, **9**: 1~8
- 7 Wildes R. Iris recognition: an emerging biometric technology[J]. *Proc. IEEE*, 1997, **85**(9): 1348~1363
- 8 Boles B. Boashash. A human identification technique using images of the iris and wavelet transform[J]. *IEEE Transaction on Signal Processing*, 1998, **46**(4): 1185~1188
- 9 He Yuqing, Cui Jiali, Tan Tieniu *et al.*. Key techniques and methods for imaging iris in focus[C]. The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 2006
- 10 Wang Yuanbo, He Yuqing, Hou Yushi *et al.*. Design method of ARM based embedded iris recognition system[C]. International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging: Technology and Applications (ISPD), 2007
- 11 Zheng Xiaomei, Hou Yuanbin. A new iris location method[J]. *Chinese J. Sensors and Actuators*, 2007, **20**(1): 217~219  
郑小梅,侯媛彬. 一种新的虹膜定位方法[J]. 传感技术学报, 2007, **20**(1): 217~219
- 12 Proenca H, Alexandre L A. Iris recognition: an analysis of the aliasing problem in the iris normalization stage [J]. *Computational Intelligence and Security IEEE*, 2006, **2**: 1771~1774
- 13 Rezaie B, Srinath M D. Algorithms for fast image registration. in aerospace and electronic systems[J]. *IEEE Transactions*, 1984, **AES-20**: 716~728
- 14 Pratt W K. Digital Image Processing[M]. New York: Wiley, 1978
- 15 Gao Jun, Li Xuewei, Zhang Jian *et al.*. Image registration algorithm based on template matching[J]. *J. Xi'an Jiaotong University*, 2007, **41**(3): 308~311  
高 军,李学伟,张 建等. 基于模板匹配的图像配准算法[J]. 西安交通大学学报, 2007, **41**(3): 308~311
- 16 WebbTer W F. Techniques for image registration [C]. Proceedings of Machine Processing of Remotely Sensed Data, IEEE, 1973, Catalog73,CHO 834-2GE: 181~187
- 17 Li Qiang, Zhang Bo. Template matching based on image gray value[C]. *SPIE*, 2005, **5960**:614~622
- 18 Shen Tingzhi, Wang Weijiang, Yan Xuemei. Digital Image Processing and Pattern Recognition [M]. Beijing: Beijing Insitute of technology Press, 2007  
沈庭芝,王卫江,闫雪梅. 数字图像处理及模式识别[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007
- 19 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