

文章编号:1004-4213(2010)02-0369-6

# 基于 2D-Gabor 滤波器的虹膜噪音检测方法\*

苑玮琦,冯琪,白晓光

(沈阳工业大学 视觉检测技术研究所,沈阳 110178)

**摘要:**在虹膜检测方法中易受到部分眼睑和睫毛的遮挡,从而降低虹膜识别的准确性,针对该问题,提出了一种基于 2D-Gabor 滤波器的虹膜噪音检测方法.该方法首先利用 2D-Gabor 检测归一化后虹膜图像中的眼睑和睫毛等噪音,然后记录噪音干扰区域,最后在匹配时去除虹膜代码中的干扰位来尽量避免噪音对于虹膜识别的影响.在 CASIA(3.0)图库上进行实验的结果表明,采用噪音检测操作时正确识别率为 99.02%,不采用噪音检测时正确识别率仅为 98.46%.

**关键词:**虹膜识别;噪音检测;2D-Gabor 滤波器;匹配

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103902.0369

## 0 引言

虹膜是黑色瞳孔和白色巩膜之间的环状部分,这部分的特征一旦形成便终生不会改变<sup>[1-3]</sup>,因此虹膜识别以其唯一性和稳定性等优点成为目前错误率最低的生物特征身份鉴别技术<sup>[4-5]</sup>.但在人眼自然睁开的状态下,虹膜容易受到眼睑和睫毛的遮挡,这些噪音会对特征提取造成干扰,影响虹膜特征的可靠性,使得识别效果有所下降,所以对眼睑和睫毛的检测和去除是十分必要的.

目前对这两种噪音检测算法都是分别进行的<sup>[6-12]</sup>,对于眼睑的检测方法主要有:Daugman 的基于抛物线模型的积分差分法<sup>[1]</sup>;Wildes 的边缘检测与 Hough 变换相结合的方法<sup>[3]</sup>;田启川等采用分段直线近似眼睑边界<sup>[6]</sup>.现有的眼睑拟合方法大都需要大量迭代搜索,并且对于不符合模型的眼睑检测误差较大.对于睫毛的检测算法主要有:Kong 等提出的一维 Gabor 和灰度标准差的分步检测睫毛方法<sup>[7]</sup>;Yuan 等提出的滞后阈值睫毛检测方法<sup>[8]</sup>;Huang 等<sup>[9]</sup>提出的基于相位一致性的检测方法.这些方法的缺点是需要根据所用图库预先设定较多的参量值,且检测过程较复杂.此外,目前对于眼睑和睫毛检测算法多数都是根据其边缘和灰度信息直接在人眼图像上进行检测的.

本课题组通过大量观察发现,眼睑、睫毛与虹膜的纹理相比,具有更强的连续性和方向性.而由 Daugman 提出的 2D-Gabor 滤波器理论<sup>[1]</sup>指出 2D-

Gabor 滤波器是短时傅里叶变换,它具有与人类简单视觉细胞相似的视觉特性.即 2D-Gabor 滤波器能够最大限度的提供图像局部的方向和频率信息,同时也能够提取位置信息,并同时达到空间域和频率域的联合最优分辨率<sup>[13-14]</sup>.本文在详细分析了 2D-Gabor 滤波器的方向选择性后,提出一种基于 2D-Gabor 滤波器的睫毛眼睑检测算法,该算法的最大特点是使用 2D-Gabor 滤波器对归一化后的虹膜图像进行滤波,便可同时检测出睫毛和眼睑,为特征提取和匹配提供不受干扰的区域.在虹膜匹配时,通过将虹膜代码中的干扰位去除来尽量避免噪音对于虹膜识别的影响.

## 1 虹膜定位及归一化

由于设备采集到的图像为人眼图像,如图 1(a),图像中除包含虹膜环状区域外,还包括如眼睑、睫毛、巩膜等噪音信息;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.

虹膜定位是指确定出虹膜的内外边界,即虹膜与瞳孔之间的边界和虹膜与巩膜之间的边界.本文采用文献[8]的方法确定虹膜边界,图 1(b)给出了用该方法的示意图.图 1(c)为最终定位效果图.归一化的目的是将虹膜区域从人眼图像中分离出来,并将其大小调整到统一的尺寸.本文使用的归一化方法<sup>[8]</sup>是以虹膜内圆圆心  $P_p$  为中心,利用由直角坐标系到极坐标系的坐标变换,将环形虹膜归一化成如图 1(d)的分辨率为  $512 \times 64$  的矩形虹膜图像.

\* 国家自然科学基金(60672078、60472088)资助

Tel:024-25497658 Email:cici\_0123456789@hotmail.com

收稿日期:2008-07-16

修回日期:2008-09-01

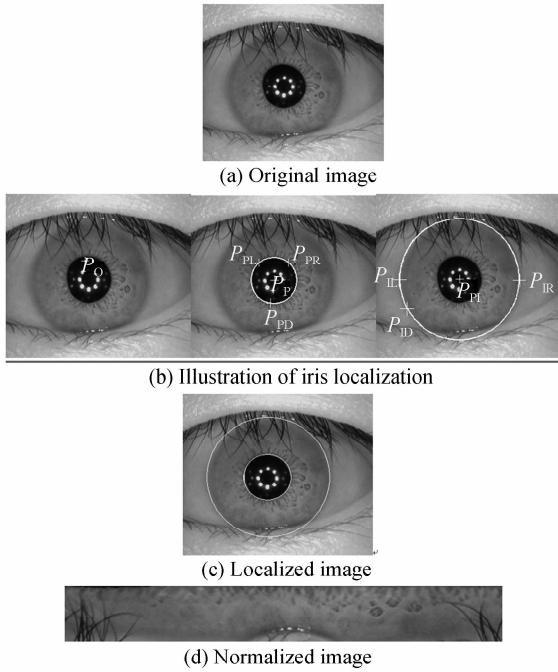


图1 虹膜图像预处理过程  
Fig.1 Iris preprocessing

## 2 虹膜噪音检测算法

由图1(d)可以看出虽然经过归一化后的虹膜图像已经去除了巩膜等的干扰,但在归一化的虹膜图像中仍有部分眼睑和睫毛噪音等干扰,而眼睑、睫

毛与虹膜的纹理相比,具有更强的连续性和方向性,而2D-Gabor滤波器的具有很强方向选择性,因此本文在详细分析了2D-Gabor滤波器的方向选择性后,提出一种在归一化后的图像上基于2D-Gabor滤波器的眼睑、睫毛噪音检测算法。

### 2.1 2D-Gabor滤波器的方向选择性

直角坐标系下2D-Gabor变换函数<sup>[1]</sup>如式(1)

$$\text{Gabor}(x, y) = \exp \left\{ - \left[ \frac{(x-x_0)^2}{\alpha^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\beta^2} \right] \right\} \cdot \exp \{ 2\pi i [u_0(x-x_0) + \nu_0(y-y_0)] \} \quad (1)$$

式中 $(x_0, y_0)$ 表示滤波器中心的位置, $(\alpha, \beta)$ 表示高斯窗函数的有效宽度和长度, $(u_0, \nu_0)$ 确定了滤波器的频率和方向。

式(1)也可写成<sup>[15]</sup>

$$\text{Gabor}(x, y) = \exp \left\{ - \left[ \frac{(x-x_0)^2}{\alpha^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\beta^2} \right] \right\} \cdot \exp \{ 2\pi i [\omega(x-x_0) \cos \theta + \omega(y-y_0) \sin \theta] \} \quad (2)$$

式中 $\omega$ 和 $\theta$ 分别表示滤波器的频率和方向,其中 $\omega = \sqrt{u_0^2 + \nu_0^2}$ ,  $\theta = \arctan(\nu_0/u_0)$ 。

式中 $\theta$ 为2D-Gabor滤波器的方向,当 $\theta$ 取不同值时,其滤波器方向也随之旋转,图2分别为 $\theta=0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 和 $135^\circ$ 时滤波器的图像。

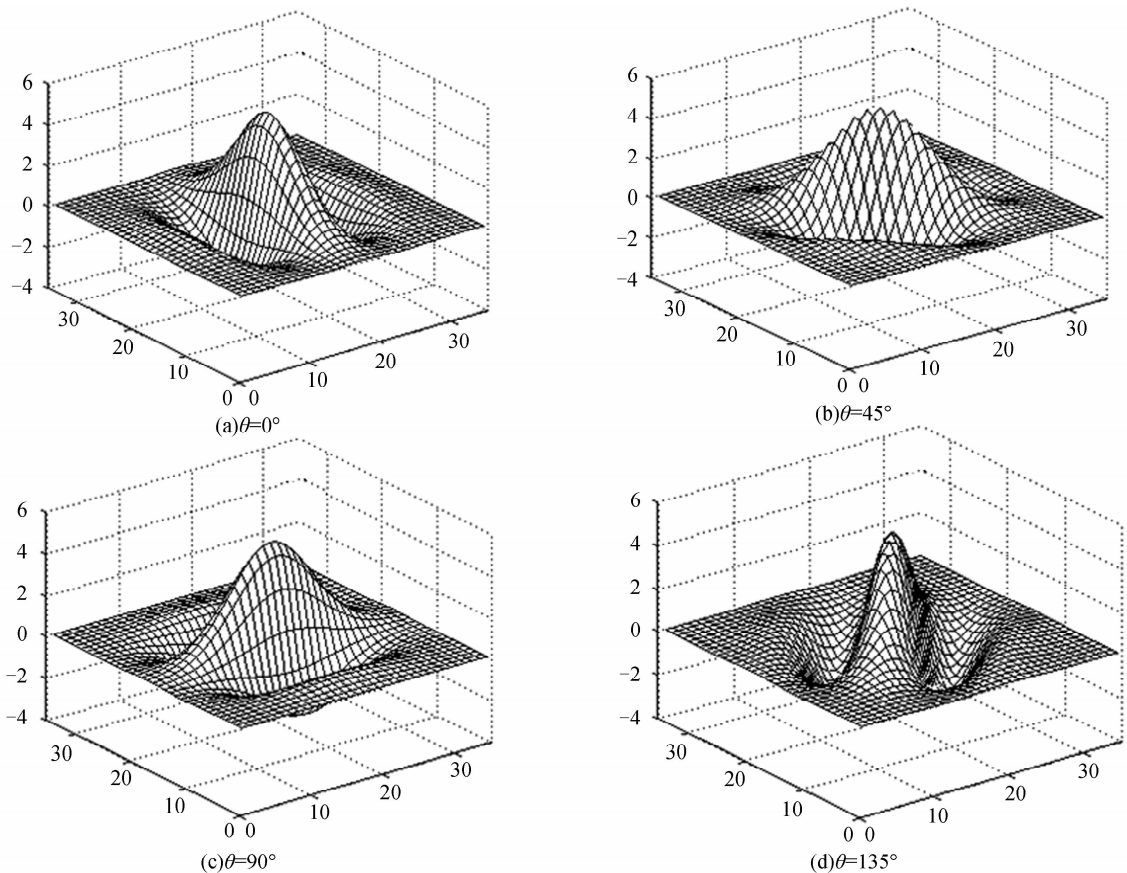


图2  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ 四个方向2D-Gabor滤波器  
Fig.2 2D-Gabor filters in four directions

本文中规定滤波器和纹理的角度以平行于  $x$  轴方向为  $0^\circ$ ,并按逆时针方向计算各个角度.

2D-Gabor 滤波器具有很好的方向选择性,如图 3,图 3(a)为原始图像,图 3(b)~(e)是分别使用图 2 中的滤波器滤波后的幅值响应信息.

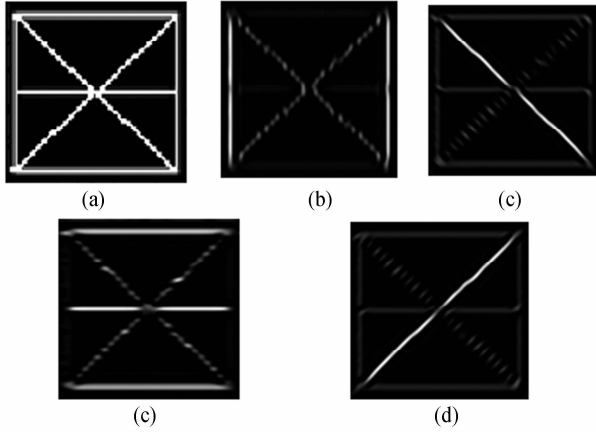


图 3 在四个不同方向的幅值响应图像

Fig. 3 Amplitude response images in four directions

由图 3 可以看出,当使用  $0^\circ$  方向的 2D-Gabor 滤波器对图 2(a)图像进行滤波时,垂直方向的纹理较亮,其它方向的纹理较暗,说明垂直方向上的纹理对于  $0^\circ$  方向的 2D-Gabor 滤波器有较大响应,而其它方向的响应较小.从另一个角度也可以看出,当使用不同方向的 2D-Gabor 滤波器对图 3(a)滤波时,垂直方向的纹理只有在  $0^\circ$  方向响应最大,因此可以看出当纹理方向与 2D-Gabor 滤波器的方向相垂直时,其输出响应最为强烈.

图 4 为将图 3(b)~(e)进行融合(具体方法详见 2.2 节)后得到的图像,该图像可以清晰得到与图 4(a)相应的纹理信息.利用这一特点,使用不同方向的滤波器对纹理图像进行滤波,并将各方向图像融合,便可以有效提取纹理信息.



图 4 四个方向融合的幅值响应图像

Fig. 4 Amplitude response images in four direction fusions

## 2.2 眼睑、睫毛检测算法

虹膜归一化图像中的眼睑和睫毛的噪音干扰会影响到虹膜的特征提取,使得识别效果有所下降.而目前的算法主要是在原始图像上对睫毛、眼睑进行检测,并且对于眼睑、睫毛的检测算法是不同的.而

本文提出的噪音检测算法是基于眼睑和睫毛纹理的连续性和方向性及 2D-Gabor 滤波器的方向选择性的,是可以同时检测到眼睑和睫毛的,其具体步骤为:

### 1) 方向滤波

使用多方向 2D-Gabor 滤波器组对归一化后的虹膜图像进行滤波,得到四个方向融合的幅值响应图像.

使用  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  这四个方向 2D-Gabor 滤波器组对归一化后的虹膜图像进行滤波,这些滤波器分别用  $G_i (i=0, 1, 2, 3)$  来表示.假设  $I$  是一幅归一化的虹膜图像,通过  $G_i (i=0, 1, 2, 3)$  对  $I$  进行滤波

$$I_{G_i} = I * G_i \quad (3)$$

式(3)中“ $*$ ”表示卷积运算.

滤波后的幅值为

$$P_i(x, y) = \sqrt{I_{G_i}(x, y) \times \overline{I_{G_i}(x, y)}} \quad (4)$$

式(4)中“ $\overline{\quad}$ ”表示复数共轭操作.

将四个方向的幅值信息按式(5)进行融合,得到四个方向融合的幅值响应信息  $I'$ ,再将其转化为灰度图像,如图 5(b).

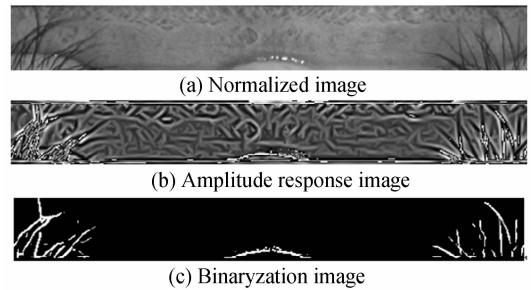


图 5 Gabor 滤波器滤波图像

Fig. 5 Images after Gabor filtering

$$I'(x, y) = \max_{i=0,1,2,3} (P_{G_i}(x, y)) \quad (5)$$

经过计算得到的幅值相应图像中包含眼睑、睫毛纹理,也包含一部分虹膜纹理,因此可以式(6)得到只有眼睑、睫毛的图像,如图 5(c).

$$I'(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } T_1 > I'(x, y) \geq T_2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中  $T_1, T_2$  为所选阈值.

### 2) 标记噪音区域

利用图 5(c),根据灰度值确定受遮挡区域,并用矩形标记.具体方法为:将二值化图像分别在四分之一和四分之三处分成三个区域,如图 6.在每个区域上分别找到包含全部纹理的最小矩形,则矩形所包含区域为受遮挡区域,并将此区域在原归一化图像对应位置标记,如图 7.



图 6 区域划分  
Fig. 6 Regionalism image

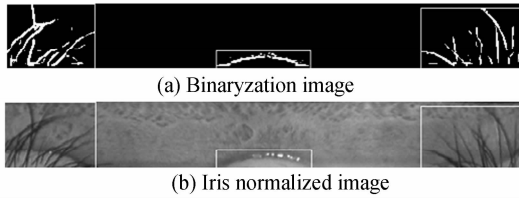


图 7 噪音区域标记  
Fig. 7 Noise marked image

该方法不需要对每根睫毛进行检测,也不需要  
在归一化之前确定眼睑位置,只要根据滤波后的二  
值化图像确定矩形区域即可,原因在于:1)寻找睫毛  
的目的是将包含睫毛干扰的一部分虹膜区域完整地  
去掉,而不是去掉所有的睫毛,因此即使在搜索过程  
中漏掉了一些睫毛点,也不会对受遮挡区域的确定  
造成影响;2)按照上述步骤得到的二值化图像中除  
包含了睫毛噪音外,也包含了的眼睑的信息,因此通  
过步骤 3 的操作完全可以将受到眼睑、睫毛遮挡的  
区域检测并标记出来,实现了眼睑、睫毛的同时检  
测.

经过上面介绍的方法,可以检测出虹膜区域中  
噪音,有助于下一步的特征提取和识别.

### 3 实验结果与分析

实验使用的图像来自于中国科学院自动化所提  
供的 CASIA-IrisV3-Interval 图像库. 选取图像库中  
246 只眼睛,每只眼睛 7 幅图像,共 1 722 幅图像作  
为实验图库. 该图像库中的图像是在人眼自然睁开  
状态下采集得到的,并且图像中比较全面地包含了  
非侵犯性所造成的各种问题,因此适合用于人眼自  
然睁开状态下的虹膜区域噪音检测方法的研究. 图  
库中原始图像大小  $320 \times 280$ ,定位归一化后的虹膜  
图像为  $512 \times 64$ .

利用本文提出的眼睑、睫毛检测方法对上述图  
库进行实验,图 8 给出了对从数据库中随机抽取的  
3 幅人眼图像进行眼睑、睫毛噪音检测的实验结果  
图像.

从图 8 可以看出,当归一化的虹膜图像受到上  
眼睑、睫毛或下眼睑一种或多种噪音干扰时,本文提  
出的算法都可以准确地将噪音区域检测出来,并将  
受遮挡的区域准确地标记.

本文对有噪音检测和无噪音检测的虹膜识别做  
了研究,比较了两种不同情况下的等错率及识别率,  
具体方法及实验结果见表 1 和图 9.

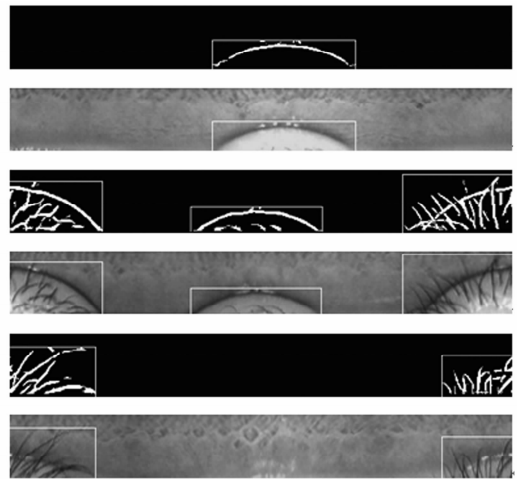
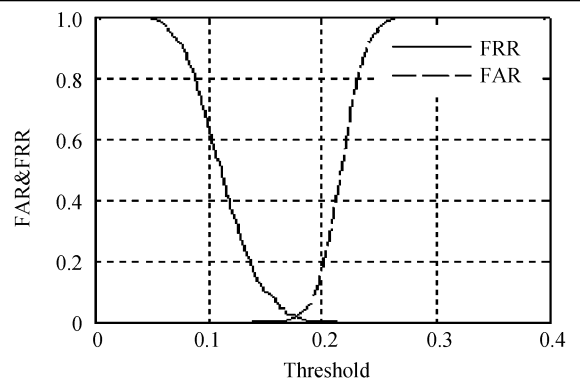


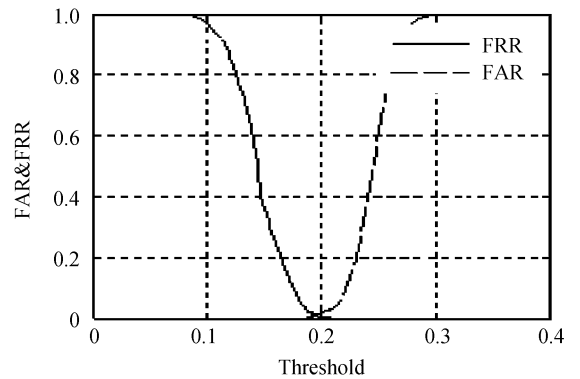
图 8 虹膜噪音检测的实验结果  
Fig. 8 Experimental results of noise detection

表 1 有无噪音检测的实验结果  
Table 1 Experimental results

	Non-noise detection	Noise detection
Area of feature extraction	The normalized image	
Method of feature extraction	Method of Daugman <sup>[1]</sup>	
Comparison method	The hamming distance of the whole iris codes is calculated	The hamming distance of the iris codes without noise is calculated
Recognition rate/%	98.46	99.02
Equal error rate/%	1.891	1.018



(a) Result of non-noise detection



(b) Result of noise detection

图 9 FAR&FRR 曲线图  
Fig. 9 Graph of FAR&FRR

由图 9 和表 1 可以看出无噪声检测的等错率要比有噪声检测的等错率大,识别率低.说明经过噪声检测,正确识别率明显提高.证明本文方法检测、处理噪声的方法是有效的.

## 4 结论

本文对虹膜识别系统中眼睑、睫毛噪声的检测问题做了研究,提出了一种基于 2D-Gabor 滤波器的虹膜噪声检测方法.该方法可以在归一化后的虹膜图像上检测出受到眼睑、睫毛干扰的噪声区域,在匹配时通过去除噪声区域的干扰位来降低噪声干扰对虹膜模式匹配的影响.实验结果证明,该方法可以有效地避免眼睑和睫毛遮挡的影响,提高虹膜识别的准确性.当采用噪声检测时识别率为 99.02%,而不采用噪声检测时识别率仅为 98.46%.

**致谢** 感谢中科院自动化所(北京)提供的 CASIA 虹膜数据库(版本 3.0),使本课题得以顺利进行.

### 参考文献

- [1] DAUGMAN J. 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.
- [2] DAUGMAN J. Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition [J]. *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 2003, **1**(1):1-17.
- [3] WILDES R P. Iris recognition: an emerging biometric technology[J]. *IEEE*, 1997, **85**(9):1348-1363.
- [4] 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.
- [5] CAI Deng, YAN Ying-bai, JIN Guo-pan. 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.
- [6] TIAN Qi-chuan, PAN Quan, CHENG Yong-mei, et al. Approach of noise detecting and processing in iris recognition [J]. *Computer Engineering*, 2006, **32**(2):172-174.  
田启川,潘泉,程咏梅,等.虹膜识别中噪声的检测和处理方法[J]. *计算机工程*, 2006, **32**(2):172-174.
- [7] KONG W K, ZHANG D. Accurate iris segmentation based on novel reflection and eyelash detection model[C]. *Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing*, 2001:263-266.
- [8] YUAN Wei-qi, XU Lu, LIN Zhong-hua. 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.
- [9] HUANG J Z, WANG Y H, CUI J L, et al. Noise removal and inpainting model for iris image [C]. *Proceedings of 2004 International Conference on Image Processing*, 2004:669-672.
- [10] LUO Peng, GAO Xie-ping. Image denoising algorithm based on dual tree complex wavelet transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(3):604-608.  
罗鹏,高协平.基于双树复数小波变换的图像去噪方法[J]. *光子学报*, 2008, **37**(3):604-608.
- [11] LAI Yi, LU Chen-hong, LU Zhao-yang. Eyelid and eyelash occlusions detection for iris recognition [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2007, **19**(3):346-350.  
来毅,路陈红,卢朝阳.用于虹膜识别的眼睑及眼睫毛遮挡检测[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2007, **19**(3):346-350.
- [12] TANG Rong-nian, ZHANG Xin-man, HAN Jiu-qiang. An effective algorithm suppressing eyelash interference for iris location [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2007, **41**(10):1175-1178.  
唐荣年,张新曼,韩九强.一种有效抑制睫毛干扰的虹膜定位算法[J]. *西安交通大学学报*, 2007, **41**(10):1175-1178.
- [13] GUO Yong-cai, GU Jian-qing, GAO Chao, et al. Encoding algorithm for iris image based on Gabor filtering [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, **33**(4):35-38.  
郭永彩,谷建清,高潮,等.用 Gabor 滤波器实现虹膜图像纹理编码[J]. *光电工程*, 2006, **33**(4):35-38.
- [14] ZHAO Yin-di, ZHANG Liang-pei, LI Ping-xiang. A texture segmentation algorithm based on directional gabor filters [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, **11**(4):504-510.  
赵银娣,张良培,李平湘.一种方向 Gabor 滤波纹理分割算法[J]. *中国图象图形学报*, 2006, **11**(4):504-510.
- [15] WU Xiang-qian, ZHANG Da-peng, WANG Kuan-quan. Palmprint recognition [M]. Beijing: Science Press, 2006:94-103.  
邬向前,张大鹏,王宽全.掌纹识别技术[M].北京:科学出版社, 2006:94-103.

## Noise Detection Method of Iris by Using the 2D-Gabor Filter

YUAN Wei-qi, FENG Qi, BAI Xiao-guang

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

**Abstract:** The accuracy of iris recognition is lowered due to the shelter by part of eyelid and eyelash during the process of iris detection. A noise detection method using the 2D-Gabor filter is proposed for it. Firstly, the eyelid and eyelash are detected using 2D-Gabor filter in the normalized iris images. Then the noise regions are marked. Finally, the interferential bits in the iris codes are eliminated to avoid the noise effect to the recognition as much as possible. The experiments by using the CASIA(3.0) database are finished. The result shows that the recognition rate with the noise detection is 99.02%, but the recognition rate without the noise detection is 98.46%.

**Key words:** Iris recognition; Noise detection; 2D-Gabor filter; Match



**YUAN Wei-qi** is a Professor, Doctoral degree. His research interests focus on computer vision, signal processing, biometrics, image processing based on DSP, pattern recognition, edge detection, and automatic measurement.