

# 改进的算法在虹膜识别中的应用研究

许威<sup>1</sup>, 权芳芳<sup>2</sup>, 姜媛媛<sup>1</sup>, 李陈陈<sup>1</sup>, 皇森森<sup>1</sup>

(1. 安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001;

2. 安徽理工大学 理学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:**文中通过虹膜图像的直方图选取合适的阈值,对虹膜图像进行二值化处理。采用基于几何灰度投影的方法粗定位虹膜内边界,使用改进的Daugman定位算子定位外边界,再用最小二乘圆拟合方法对内外边界进行圆拟合,实验结果表明此种算法使得虹膜定位精确度较高,定位速度快,能较好地满足实时性的要求。同时提出了一种基于线段提取的虹膜归一化方法。在特征提取方面,采用基于二维Log-Gabo滤波的方法通过多尺度多方向构成的多通道滤波器提取虹膜特征信息,减少了虹膜编码的长度及特征匹配的时间,匹配准确率较高,能较好地提高虹膜识别的准确率。

**关键词:**虹膜定位;Daugman定位算子;虹膜归一化;二维Log-Gabo滤波;虹膜识别

**中图分类号:**TP31

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2013)03-0034-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.009

## Research on Application of Iris Recognition Based on Improved Algorithm

XU Wei<sup>1</sup>, QUAN Fang-fang<sup>2</sup>, JIANG Yuan-yuan<sup>1</sup>, LI Chen-chen<sup>1</sup>, HUANG Miao-miao<sup>1</sup>

(1. College of Electric and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology,

Huainan 232001, China;

2. College of Science, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** The appropriate threshold is obtained through the histogram of the iris image, which is used in iris binary processing. The iris inner boundary is orientated roughly based on geometric gray-level projection method and the iris external boundary is orientated by the improved Daugman localization operator, both of which are fitted accurately by the method of the least squares round fitting. The experimental results show that the localization algorithm has the advantages of high positioning accuracy and high positioning speed, and can satisfy the requirement of real-time. Meanwhile, put forward an iris normalization method which is based on line extraction. In the feature extraction, iris feature information is extracted by the method of 2D Log-Gabo filter which can generate multi-channel filter though multi-scale and multiple directions, the method also can reduce the length of the iris code and the time of feature matching, improve the feature matching accuracy, can effectively improve the accuracy of iris recognition.

**Key words:** iris localization; daugman localization operator; iris normalization; 2D Log-Gabo filter; iris recognition

## 0 引言

在所有人体生物识别技术中,虹膜识别被认为是最为精确的一种,具有最高的唯一性、终生不变性、识别准确性高、识别速度快和防伪性最强、易于使用等特点,成为生物识别技术中的最佳选择,近年得到了迅速的发展,被广泛认为是21世纪最具有发展前途的生物识别技术<sup>[1]</sup>。虹膜识别技术的关键是虹膜的定位算法及虹膜的特征提取算法,在虹膜定位算法中以Wildes

的Hough变换算法为代表<sup>[2]</sup>,Hough变换可以应用到标准形状的提取中,但是虹膜定位算法需要在一个三维空间中不断地进行搜索,计算量很大导致定位时间过长;而最具有权威性的虹膜特征提取算法则是Daugman的基于二维Gabor变换虹膜识别算法<sup>[3]</sup>,该算法也是目前商业虹膜识别系统的基础,但Gabor滤波变换也有其自身的局限性,一是Gabor滤波会产生非零的DC分量;二是构造不出任意带宽的Gabor滤波器而最大带宽被限制在1倍频,从而使得虹膜区域的纹理信息不能完全地提取出来<sup>[4]</sup>。

文中通过虹膜图像灰度直方图选取合适的阈值对虹膜图像进行二值化处理,可以较好地将瞳孔区域划分出来,采用几何灰度投影的方法对内边界进行粗定

收稿日期:2012-07-05;修回日期:2012-10-10

基金项目:安徽省教育自然科学基金(KJ2012B062)

作者简介:许威(1987-),男,江西赣州人,硕士研究生,研究方向为控制理论与控制工程、数字图像处理。

位<sup>[5]</sup>,估算出瞳孔的中心和半径,同时利用改进 Daugman 定位算子对外边缘进行检测,再用最小二乘圆拟合方法对内外边界进行圆拟合<sup>[6]</sup>,达到精确定位内外边界的效果;在特征提取方面,采用二维 Log-Gabor 滤波器来提取虹膜的相位信息进行虹膜编码<sup>[7]</sup>,由于它不受带宽影响,可以构造出任意带宽并且始终不会产生非零 DC 分量,从而可以比较完全地提取虹膜区域的二维纹理信息。

1 虹膜内边界定位

文中采用二值化的方法来确定虹膜的内边界,二值化的关键是选取合适的阈值,阈值的选取可以根据虹膜图像的灰度直方图的统计特性来进行选定。

从图像的灰度直方图中(如图 1 所示)可以看出,直方图中有三个波峰,第一个波峰对应瞳孔区域灰度信息集中的范围,第二个波峰代表虹膜区域灰度信息集中的范围,第三个波峰对应巩膜及其他区域灰度信息的范围。从中可以发现,第一个波峰和第二个波峰的峰值跳变比较大,将它们之间的波谷所对应的阈值作为瞳孔区域二值化的阈值,以此来对虹膜图像进行二值化处理,这样就可以将瞳孔从虹膜图像中分离出来,如图 2 所示。

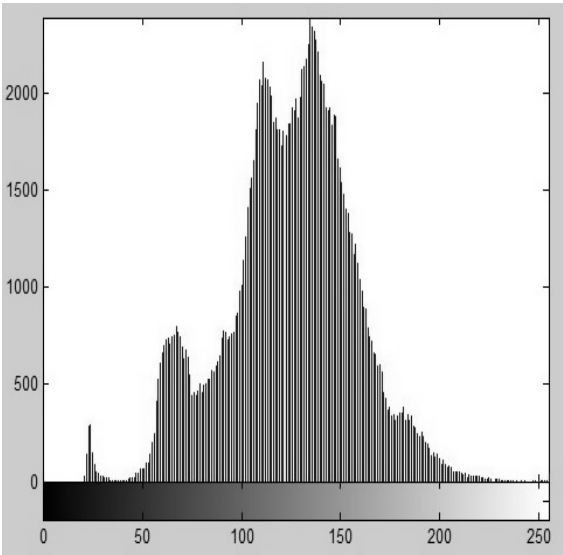


图 1 灰度直方图

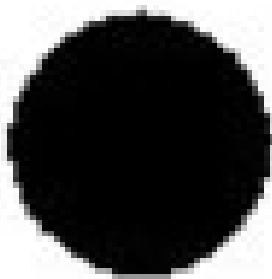


图 2 二值化图像

对二值化后的图像采用垂直方向和水平方向上的几何灰度投影法可以粗略估算出瞳孔的中心 $(\tilde{x}_0, \tilde{y}_0)$ 和半径 $r$ ,然后在该区域中精确搜索内边界点,再进行最小二乘圆拟合,达到精确定位内边界的效果。

2 虹膜外边界定位

由于虹膜和巩膜之间的灰度差异不是很明显并且过度区域逐渐变宽,存在模糊性,使得外边界的定位不像内边界的定位那么简单,目前外边缘的定位一般使用边缘检测算子进行处理,如 Sobel 算子、Robet 算子、Prewitt 算子等,但这些算子都不能很好地确定虹膜的外边界<sup>[8]</sup>。文中考虑到虹膜区域呈环状的特征,在粗

定位虹膜中心 $(\tilde{x}_0, \tilde{y}_0)$ 和半径 $r$ 的基础上,使用圆模版搜索边界点的方法对外边界进行定位,而 Daugman 定位算子 $\max(r, x_0, y_0) | G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{A(x, y)}{2\pi r} |$ 则可以较好地实现这个方法。

不过因为虹膜外边缘往往不是一致的,有些虹膜上有一些很明显的向心性环状纹理,在上式中取它的最大值会使得该算法失去作用,所以使用面积分来替代线积分,就可以避免这种情况发生,其表达式为:

$$\max_{R_0-\Delta R < R < R_0+\Delta R} \left| G_\sigma(R) * \frac{\partial}{\partial R} \iint_D \frac{A(x, y)}{\pi R^2} dS \right|$$

使用公式对虹膜外边界进行搜索的过程中,考虑到虹膜上下部分会受到睫毛和眼睑遮挡的影响,就采用左右两段较小的圆弧进行积分,在这里设置圆弧的中心角都 45°。其中  $R_0$  为粗定位取得的虹膜外径,  $\Delta R$  为搜索范围,其改进后的边缘检测分别如图 3 所示。

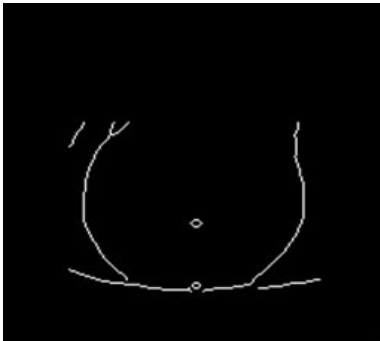


图 3 虹膜边缘检测

完成对虹膜内外边界的定位以后,采用最小二乘圆拟合对内外边界进行拟合,其最终的定位效果如图 4 所示。

3 虹膜图像的归一化处理

由于虹膜图像的大小及拍摄角度的差异,需要对虹膜图像进行归一化处理,归一化处理就是使用极坐标变换的方法将定位分离出来的环形虹膜区域通过旋

转、平移、缩放等调整到指定大小的矩形区域中。比较典型的虹膜归一化方法是 Daugman 的橡皮纸模型<sup>[9]</sup>。

文中在该基础上提出了一种基于线段提取的虹膜归一化方法,该算法的基本原理是利用多条线段来描述虹膜内外边界两个不同心圆周之间的区域,只需确定线段上点的数目就可以很方便的进行归一化操作,考虑到虹膜图像上的光照不均匀和其他不同程度噪声信息的干扰,影响虹膜图像纹理分析,不利于后续虹膜图像特征的提取与匹配,所以采用直方图均衡化的方法对归一化后的虹膜图像进行增强处理<sup>[10]</sup>,虹膜归一化图像如图 5 所示。



图 4 最终定位效果图

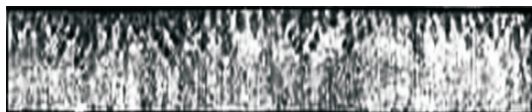


图 5 虹膜归一化处理结果

## 4 虹膜图像的特征提取

### 4.1 二维 Log-Gabor 滤波器

为了适应二维虹膜图像特征的提取,提高虹膜图像的纹理分析能力,这里将一维 Log-Gabor 滤波器扩展成二维 Log-Gabor 滤波器,其函数表达式如下式所示:

$$G(f, \theta) = \exp \left\{ -\frac{(\log(f/f_0))^2}{2(\log(\sigma_f/f_0))^2} \right\} \exp \left( -\frac{(\theta - \theta_0)^2}{2\sigma_\theta} \right)$$

其中,  $f_0$ 、 $\theta_0$ 、 $\sigma_f$  分别表示中心频率、滤波器的角度方向、用于确定的径向带宽,带宽公式  $B_f = 2(2\ln 2)^{1/2} |\ln(\sigma_f/f_0)|$ ,  $\sigma_\theta$  为确定的方向带宽,  $B_\theta = 2\sigma_\theta(2\ln 2)^{1/2}$ 。

### 4.2 虹膜图像特征提取

二维 Log-Gabor 滤波器是一个特定方向的带通滤波器,一个滤波器只能覆盖一定频率和方向的区域,称之为一个通道,在虹膜图像特征提取时,为了比较完整地提取虹膜图像的特征信息,需要从多个方向对虹膜图像进行滤波,也就是实现滤波器对多个方向的覆盖,这就要求构造一个滤波器组也就是通过多通道滤波器组来提取虹膜的纹理信息<sup>[11]</sup>。二维 Log-Gabor 滤波

器组的构建包括控制滤波器频率带宽的径向量和控制滤波器方向选择的方向分量两部分。在对归一化后的虹膜图像进行滤波的应用中,滤波器参数的选择主要有中心频率和方向角两个,由于二维 Log-Gabor 滤波器可以构造出任意带宽,所以它比 Gabor 滤波器所能覆盖的频率范围更大。文中将归一化处理并增强后的虹膜图像  $I(x, y)$  划分成与滤波器模板大小相等的  $m \times n$  子块  $I_{m \times n}(x, y)$ ,采用分块滤波的方法来提取虹膜图像的特征信息。每个子块的计算结果如下式所示:

$$F_{kj}(p, q) = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n I(p+x-\frac{m}{2}, q+y-\frac{n}{2}) * G_{kj}(x, y)$$

其中  $(p, q)$  为每个子块的中心坐标。

### 4.3 虹膜图像特征编码

在提取的虹膜特征信息  $F_{kj}(p, q)$  中主要有幅值信息和相位信息,但根据相关研究证实虹膜图像的主要纹理信息为相位信息,即对应于归一化处理图像的行方向信息。所以只要提取  $F_{kj}(p, q)$  中的相位信息  $L_{kj}(p, q)$  即可,如下式所示:

$$L_{kj}(p, q) = \arctan \left( \frac{iF_{kj}(p, q) - \overline{F_{kj}(p, q)}}{F_{kj}(p, q) + \overline{F_{kj}(p, q)}} \right)$$

其中  $\bar{S}$  表示共轭复数。

虹膜特征编码的原理是在对特征信息进行相位编码时,将每个相位信息转化为两位的格雷码  $(h_r, h_i)$  形式,每个格雷码  $(h_r, h_i)$  反映了相位信息点  $L_{kj}(p, q)$  所处的具体象限位置,其中,  $h_r$  和  $h_i$  分别称为实部码和虚部码。其具体的实现方法如下:

$$\begin{cases} (h_r, h_i) = (1, 1), 0 \leq L_{kj}(p, q) \leq \pi/2 \\ (h_r, h_i) = (0, 1), \pi/2 \leq L_{kj}(p, q) \leq \pi \\ (h_r, h_i) = (0, 0), \pi \leq L_{kj}(p, q) \leq 3\pi/2 \\ (h_r, h_i) = (1, 0), 3\pi/2 \leq L_{kj}(p, q) \leq 2\pi \end{cases}$$

利用上面编码方法可得到所有尺度和方向下的虹膜特征码,将这些特征码组合起来就构成了完整的虹膜特征码。

## 5 虹膜特征匹配

Hamming 距离计算是常用的匹配算法,它将特征编码间对应位置上编码相异的数量比例作为这两个模板之间的匹配程度,距离越小,匹配程度越高<sup>[12]</sup>。设特征编码  $A_M$  和  $B_M$  都是  $N$  维向量特征,则 Hamming 距离计算公式可以这样定义:

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_M \oplus B_M$$

式中,  $\oplus$  表示两个向量直接的异或运算,如果阈值  $T_0 < HD$ ,则虹膜不是同一个人的;否则,则可以判定虹膜属于同一个人的。

## 6 实验结果及分析

文中从 CASIA2 虹膜数据库选取了 900 多幅虹膜图像作为实验样本,并依照文中提出的算法对其进行了虹膜定位实验,定位的准确率达到了 94.5%,与 Hough 变换及 Canny 检测相比,有着更高的准确率和更快的速度,Hough 变换在此样本中的定位平均耗时达 14.7s,Canny 检测的定位耗时也达 11.8s,而文中的定位算法只要 2.2s,能够满足实时性的要求。在虹膜识别算法测试时,同类样本之间和不同类样本之间的匹配结果统计如图 6 所示。

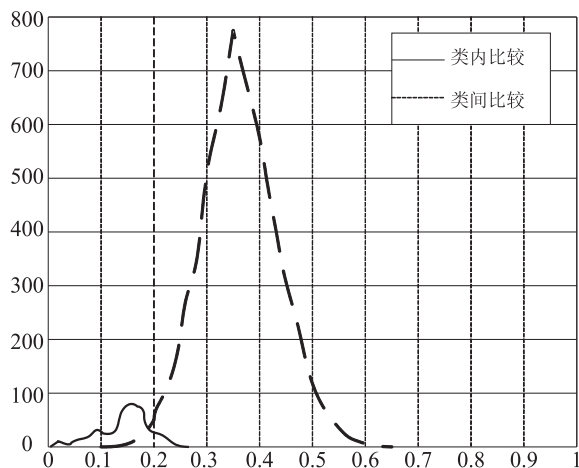


图6 Hamming 距离匹配结果

从图中可以看出同类样本和不同类样本的匹配结果有着很大的差异,利用虹膜图像的纹理特征进行海明距离的求解可以非常有效地进行虹膜图像的识别。

## 7 结束语

实验结果表明,文中的提出的改进的定位算法优于 Hough 变换及 Canny 检测定位算法,表现为定位速度更快,准确率更高,提出的基于线段提取的虹膜归一化方法,较完整地保留了虹膜的纹理特征信息,更有利

于虹膜特征信息的提取,采用基于二维 Log-Gabo 滤波的方法较完整地提取了虹膜的相位信息,比传统的二维 Gabo 滤波有着更小的等错误率和相同接收率下更小的错误拒绝率,可以更好地进行虹膜识别。

### 参考文献:

- [1] 万里光. 虹膜识别技术的应用与发展[J]. 船电技术, 2008, 28(5): 308-311.
- [2] Richard P W. Iris recognition: an emerging biometric technology[J]. Proceedings of IEEE, 1997, 85(9): 1348-1363.
- [3] Daugman J G. How iris recognition works[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 21-30.
- [4] 王风华, 韩九强. 基于 2D Log-Gabor 滤波器的虹膜识别研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(7): 1808-1811.
- [5] 李忠科. 虹膜识别系统的若干算法研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [6] Ma Li, Tan Tieniu, Wang Yunhong. Efficient iris recognition by characterizing key local variations[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(6): 738-749.
- [7] 苑玮琦, 冯琪, 白晓光. 基于 2D-Gabor 滤波器的虹膜噪声检测方法[J]. 光子学报, 2010, 39(2): 369-373.
- [8] 袁晓燕. 虹膜定位、形变及特征提取研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [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.
- [10] 唐崇武, 李会方, 何俊婷, 等. 改进的直方图均衡图像增强算法及实现[J]. 信息安全与通信保密, 2009, 12(3): 72-74.
- [11] 唐荣年, 韩九强, 张新曼. 一种 Log-Gabor 滤波器结合多分辨率分析的虹膜识别方法[J]. 西安交通大学学报, 2009(4): 30-33.
- [12] 郑沁锋, 李晓宁. 基于 Gabor 滤波的快速虹膜识别算法[J]. 计算机工程与设计, 2011(3): 976-979.

(上接第 33 页)

- gray level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979(1): 62-66.
- [6] Ye Q, Gao W, Huang Q. Automatic text segmentation from complex background[C]//IEEE International Conference on Image Processing. Singapore: IEEE Press, 2004: 2905-2908.
- [7] Chaddha N. Text segmentation in mixed mode images[C]//28th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, CA, USA: IEEE Press, 1994.
- [8] Fu Ping, Li Meng, Yin Hongtao. Gabor Filter Based Text Extraction from Digital Document Images[J]. 电子学报, 2006(z1): 2387-2390.

- [9] Cai X C, Keyes D E, Melvin R G, et al. Parallel Newton-Krylov-Schwarz algorithms for the transonic full potential equation[J]. SIAM Journal on Scientific Computing, 1998, 19(1): 246-265.
- [10] 庞茜, 侯正信, 杨爱萍, 等. 图像修复的邻域差值扩散模型[J]. 计量学报, 2009(5): 409-412.
- [11] 谢安明, 邵美珍, 李弼程. 基于小波的图像放大模型分析[J]. 信息工程学院学报, 2000(2): 57-60.
- [12] 钟铭华. 小波插值与自蛇模型在放大图像清晰化中的应用研究[D]. 昆明: 云南大学, 2012.

# 改进的算法在虹膜识别中的应用研究

作者：许威， 权芳芳， 姜媛媛， 李陈陈， 皇森森

作者单位：许威, 姜媛媛, 李陈陈, 皇森森(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001), 权芳芳(安徽理工大学 理学院, 安徽 淮南 232001)

刊名：计算机技术与发展

英文刊名：Computer Technology and Development

年，卷(期)：2013(3)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjtz201303011.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201303011.aspx)