

# 基于微积分法的虹膜边缘检测技术的研究

王晟全<sup>1</sup>, 李 昂<sup>1,2</sup>, 黎相龙<sup>3</sup>

(1. 南京理工大学紫金学院 电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210023;

2. 南京邮电大学 通信学院, 江苏 南京 210003;

3. 齐鲁师范学院, 山东 济南 250200)

**摘 要:**当前社会,人们对于身份安全越来越重视,尤其是在一些高度保密或者涉及个人隐私方面的场合,一对一的身份识别显得尤为重要。而虹膜识别恰好具备高效、不易被仿造等特点,使其作为一项身份识别技术被推向了热潮。图像边缘检测一直是图像处理中的经典研究课题,也是至今仍未得到圆满解决的一类问题。因此,探讨获取图像的边缘和轮廓的问题,是图像工程师们的重中之重。而虹膜识别技术中的边缘检测也如上所说是重要的一项技术,虹膜的内外边界可以近似地用圆来拟合。内圆表示虹膜与瞳孔的边界,外圆表示虹膜与巩膜的边界,但是这两个圆并不是同心圆。而如何更好、更准确地且不受外界干扰以及图像模糊情况下仍能较为有效地进行内外圆的边缘检测是研究的重点。文中就微积分法用于虹膜边缘检测方面展开了研究。

**关键词:**虹膜识别;霍夫算法;微积分算法;边缘检测

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)01-0060-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.01.011

## Research on Iris Edge Detection Technology Based on Daugman Algorithm

WANG Sheng-quan<sup>1</sup>, LI Ang<sup>1,2</sup>, LI Xiang-long<sup>3</sup>

(1. Institute of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and

Technology Zijin College, Nanjing 210023, China;

2. School of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications,  
Nanjing 210003, China;

3. Qilu Normal University, Jinan 250200, China)

**Abstract:** In the current society, people pay more and more attention to identity security, especially in the case of some highly confidential or personal privacy, one-to-one identification is particularly important. Iris recognition is characterized by high efficiency and not easy to be counterfeited, making it has been pushed into the craze as an identification technology. Image edge detection has always been a classic research topic in image processing, and it is also a kind of problem that has not been satisfactorily solved. Therefore, it is a top priority for image engineers to explore the problem of obtaining the edges and contours of images. Edge detection in iris recognition technology is also an important technique as described above, and the inner and outer boundaries of the iris can be approximated by a circle. The inner circle represents the boundary between the iris and the pupil, and the outer circle represents the boundary between the iris and the sclera, but the two circles are not concentric. How to detect the edge of inner and outer circles better, more accurately and effectively without external interference and image blurring is the focus of the research. The study on application of Daugman algorithm in iris edge detection is carried out.

**Key words:** iris recognition; Hough algorithm; Daugman algorithm; edge detection

## 0 引 言

当今社会,身份识别问题是大家普遍要面对的十

分重要的问题,指纹识别、人脸识别技术正趋于成熟,也正在被应用到需要进行身份识别的场景里,逐渐改

收稿日期:2019-02-12

修回日期:2019-06-17

网络出版时间:2019-09-24

基金项目:国家自然科学基金(61671253);江苏省高校自然科学基金面上项目(18KJD510004)

作者简介:王晟全(1998-),男,电子工程师,CCF会员(A9035M),研究方向为微电子及图像识别;李 昂,博士,副教授,通信工程师,研究方向为深度学习及图像处理。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190924.1539.062.html>

变人们的生活。但在大多使用场景中,研究人员发现指纹是非常容易被伪造的,双胞胎、整容等因素也使应用广泛的人脸识别陷入了难题。在某些方面,人们对指纹识别、人脸识别的安全系数提出了质疑。人类一直有一个关于“精准身份识别”的梦想,人脸、指纹、虹膜这些不可替代的生物体特征陆续被应用。并且指纹识别、人脸识别的准确度已经受到质疑,不得不提到虹膜识别。虹膜识别,可能是一项更具有安全性的技术<sup>[1-3]</sup>。

1 虹膜识别的特点

虹膜,作为重要的身份鉴别特征,具有以下优势<sup>[4]</sup>:

- (1)高独特性:几乎任何两个人(包括双胞胎)的虹膜都是不完全相同的,即使是同一个人左右眼的虹膜也存在一定的差异。
- (2)高稳定性:虹膜本身一般不易发病,可以保持几十年不变。
- (3)良好的防伪性能:要想精细地修改虹膜的表面结构特征,即使采用目前先进的眼科手术,也必须冒着视力损伤的危险。另外,利用虹膜本身有规律的震颤特性以及虹膜随光强度变化而缩放的特性,可以把假冒的虹膜图片区分开来。
- (4)易接受性:可以不与人体接触,甚至能够在人们没有觉察的情况下把虹膜图像拍摄下来。

2 虹膜识别流程

虹膜识别流程如图 1 所示。

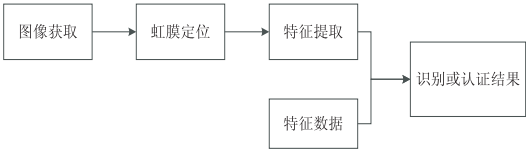


图 1 虹膜识别流程

2.1 采集设备

虹膜是一个很小的器官,直径约十几毫米,不同人种的虹膜颜色有着很大的差别。

白种人的虹膜颜色浅,纹理显著,黄种人的虹膜则多为深褐色,纹理非常不明显,因此,如何实现虹膜图像的获取是一个较大的难题。并且,由于虹膜识别对图像的灰度分辨率具有比较高的要求,因此,虹膜图像采集设备的性能相当关键。在获取图像的过程中,使用者必须在一定的距离内,平视镜头几秒钟方可完成采集工作<sup>[5]</sup>。

采集虹膜图像并不是接触式获取,而是非接触式的,这样一套设备主要是由图像采集电路组成,其中包括控制芯片、光学镜头以及补光装置。普遍的研究表

明,通过传统的 CCD 采集同图像采集卡相结合进行图像采集的方式多有不便且集成度较低。研究人员发现,使用 CMOS 图像传感器与相应的 USB 控制芯片传输相结合的方式不但便利且传输速度快,完全可以满足虹膜识别技术对于快速采集工作的要求<sup>[6]</sup>。

但是,在很多情况下,在虹膜图像采集时会遇到一些不可避免的问题,例如:受到杂光的干扰;使用者可能无法准确地置于最佳采集距离;使用者在镜头前可能会出现抖动、眨眼等不确定因素,从而导致图像不清晰,不能被准确识别<sup>[7-9]</sup>。

对于可能出现的问题,均做出了相关的应对措施,如下:

- (1)为了解决杂光干扰的问题,图像采集系统要采用近红外 LED 光源照明,并在镜头和图像传感器之间加装近红外光滤片。顾名思义,该滤光片仅允许 LED 近红外光通过,可有效过滤自然光;
- (2)在镜头前的适当位置加装半透半反光镜,可使使用者借助该装置的光学特征观察自己眼镜是否在合适的位置,并且可以使用户清楚地察觉自己是否发生了抖动。

2.2 测距和聚焦检测

测距指的是几何测距,即通过几何图像法进行测距。其分为两种,如图 2 所示。

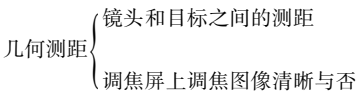


图 2 几何测距

测距方法的自动调焦有三角测量法、红外测量法以及超声波测量法。可见,虹膜的提取对于提取方法和设备的要求以及用户的使用方法还是具有一定要求的,但是,只要技术相对成熟,这些都可以得到改善。

3 虹膜定位

虹膜区域分割是虹膜识别技术中的一个重要步骤,在虹膜识别的时候,必须先将虹膜区域从眼部图像中分离出来。事实上,这里说的就是将瞳孔和巩膜区分,虹膜定位就是要确定虹膜的内外边界。

3.1 滤波

采用低通滤波,在空域平滑依靠模板的卷积运算,假如该模板尺寸大,卷积量较大,其性能会大大降低。通常采用频域运算解决其实时性低的问题,其中包括图像傅里叶变换、频率中心移动、滤波器系数和傅里叶变换结果的对应点相乘、频率中心平移、傅里叶逆变换。频域滤波将空域中模板卷积成与之前图像相等的两个矩阵对应点的乘法,占用内存空间大,不过其计算量会显著减少,使得整个运算过程是以空间换取了时间。

### 3.2 边缘检测

通过锐化模板和图像的卷积来达到边缘提取的效果,锐化模板如式1所示。

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

当空域模板较大时,模板卷积运算量很大,为了提高算法实时性,可将图像变换到频域进行边缘提取。虹膜识别中,虹膜的边缘是接近于圆的一种几何结构,其可看成是一组同心圆,这两个圆内分别与周围的图像环境产生了较为明显的灰度差,通过灰度差来分析是否为边界,这种方法在图像识别领域应用广泛<sup>[10-13]</sup>。

式2给出了四种不同方向的边缘提取算子,分别是水平方向、垂直方向、135°方向和45°方向。

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

设图像为函数  $P(x,y)$ , 其水平方向的边缘函数为:

$$l(x,y) = P(x+1,y) - l(x-1,y) \quad (3)$$

垂直方向的边缘函数为:

$$h(x,y) = P(x,y+1) - P(x,y-1) \quad (4)$$

135°方向的边缘函数为:

$$D(x,y) = P(x+1,y+1) - P(x-1,y-1) \quad (5)$$

45°方向的边缘函数为:

$$d(x,y) = P(x-1,y+1) - P(x+1,y-1) \quad (6)$$

将以上求加权可代换出整个图像的梯度图像,公式如下:

$$G(x,y) = \sqrt{\alpha^2 \cdot X^2(x,y) + \beta^2 \cdot Y^2(x,y)} \quad (7)$$

又可以得:

$$X(x,y) = h(x,y) + \frac{d_1(x,y) + d_2(x,y)}{2} \quad (8)$$

$$Y(x,y) = v(x,y) + \frac{d_1(x,y) - d_2(x,y)}{2} \quad (9)$$

### 3.3 使用微积分法进行虹膜定位

微积分法(见图3)和其他类似于 Hough 变化的算

法,如果检测的虹膜图像较为模糊,对比度不是很高,微积分算法依然可以精确定位。它使用的是图像的梯度幅度信息,不需要二值化处理,更不会产生类似于投票机制的二值化阈值的选择问题。

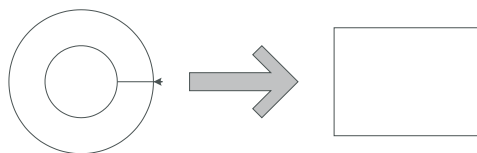


图3 微积分法

首先是检测圆,假如能将图像的中心位置确定下来,设其中心位置为  $(x_0, y_0)$ , 则算法如下:

$$\max(x_0, y_0, r) \left| G(r) * \frac{d}{dr} \oint_{x_0, y_0, r} \frac{P(x,y)}{2\pi r} \right| \quad (10)$$

$$G(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

通过上面的算法来检测圆周梯度变化最大的地方,如图4所示。

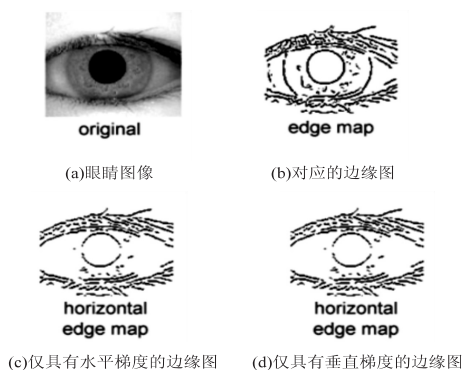


图4 检测图像

霍夫变换方法存在许多问题。首先,它需要为边缘检测选择阈值,这可能导致关键边缘点被移除,导致无法检测圆弧。其次,霍夫变换由于其“强力”方法而在计算上是密集的,因此可能不适合于实时应用。而微积分法就不会存在此类问题<sup>[14-16]</sup>。

## 4 仿真结果

由于虹膜代码(iris code)是通过复杂的运算获得的,并能提供数量较多的特征点,所以虹膜识别技术是精确度最高的生物识别技术,具体描述如下:

两个不同的虹膜信息有 75% 匹配信息的可能性是 1 : 106;

等错率: 1 : 1 200 000;

两个不同的虹膜产生相同 iris code(虹膜代码)的可能性是 1 : 1 052。

在做实验时,使用了 LEI-a 数据集。表1是仅使用一个滤波器,具有各种中心波长的 LEI-a 数据集的可判定性,其中 sigmaOnF 为 0.75,模板大小为 20 × 240,并且有 3 个移位。

表 1 实验结果(1)

$\lambda_{\min}$	$\mu_s$	$\sigma_s$	$\mu_d$	$\sigma_d$	$d'$	DOF
2.0	0.452 2	0.031 7	0.484 3	0.007 3	1.391 0	4 640
3.0	0.416 2	0.044 3	0.484 9	0.006 5	2.171 6	5 959
4.0	0.373 1	0.055 3	0.482 3	0.007 9	2.767 6	3 951
5.0	0.339 4	0.059 8	0.480 8	0.008 8	3.309 1	3 206
6.0	0.312 7	0.063 1	0.478 6	0.010 0	3.669 6	2 475
7.0	0.291 4	0.064 1	0.476 2	0.012 3	4.008 0	1 695
8.0	0.275 4	0.062 6	0.474 2	0.013 9	4.387 4	1 313
9.0	0.265 8	0.061 3	0.473 7	0.014 8	4.663 6	1 131
10.0	0.260 5	0.060 5	0.473 8	0.015 4	4.829 9	1 048
11.0	0.256 9	0.061 3	0.474 2	0.016 2	4.844 5	951
12.0	0.253 1	0.061 7	0.474 3	0.017 5	4.872 8	814
13.0	0.249 5	0.062 3	0.474 3	0.019 7	4.864 3	644
14.0	0.246 5	0.062 8	0.473 7	0.021 6	4.838 5	532

表 2 是仅使用一个滤波器,具有各种中心波长的 LEI-a 数据集的可判定性,其中 sigmaOnF 为 0.5,模板大小为 20×240,并且有 3 个移位。

表 3 是仅使用一个滤波器,具有各种中心波长的 LEI-a 数据集的可判定性,其中 sigmaOnF 为 0.3,模板大小为 20×240,并且有 3 个移位。

表 2 实验结果(2)

$\lambda_{\min}$	$\mu_s$	$\sigma_s$	$\mu_d$	$\sigma_d$	$d'$	DOF
2.0	0.410 0	0.043 2	0.486 7	0.005 1	2.493 2	9 477
3.0	0.374 7	0.049 0	0.485 9	0.005 6	3.185 8	7 940
4.0	0.343 9	0.054 2	0.484 6	0.006 5	3.644 3	5 965
5.0	0.320 1	0.057 5	0.483 6	0.007 6	3.984 0	4 337
6.0	0.300 2	0.058 2	0.482 7	0.008 6	4.387 0	3 342
7.0	0.286 7	0.058 7	0.482 3	0.009 6	4.653 0	2 712
8.0	0.275 4	0.059 0	0.482 0	0.010 4	4.880 2	2 324
9.0	0.266 3	0.058 7	0.481 7	0.011 1	5.101 8	2 021
10.0	0.259 0	0.059 0	0.481 5	0.012 1	5.228 4	1 703
11.0	0.253 1	0.058 7	0.481 3	0.013 1	5.365 3	1 460
12.0	0.248 7	0.058 9	0.481 0	0.014 0	5.429 2	1 272
13.0	0.244 8	0.060 1	0.480 6	0.015 0	5.385 0	1 126
14.0	0.241 9	0.060 4	0.480 2	0.015 7	5.401 5	1 011

表 3 实验结果(3)

$\lambda_{\min}$	$\mu_s$	$\sigma_s$	$\mu_d$	$\sigma_d$	$d'$	DOF
2.0	0.351 4	0.050 2	0.485 6	0.006 1	3.752 5	6 721
3.0	0.327 8	0.052 2	0.484 7	0.007 0	4.215 1	5 042
4.0	0.310 3	0.053 4	0.484 2	0.008 1	4.547 9	3 818
5.0	0.296 6	0.054 3	0.483 6	0.009 2	4.802 3	2 965
6.0	0.286 6	0.055 4	0.483 1	0.010 1	4.934 5	2 43 7
7.0	0.277 7	0.055 8	0.482 5	0.011 1	5.094 6	2 016
8.0	0.270 8	0.056 5	0.482 0	0.012 2	5.169 7	1 689
9.0	0.264 7	0.056 8	0.481 3	0.013 2	5.257 0	1 443
10.0	0.259 6	0.057 2	0.481 0	0.014 5	5.307 7	1 193
11.0	0.254 9	0.057 4	0.480 4	0.015 5	5.363 2	1 033
12.0	0.251 4	0.057 2	0.479 9	0.016 8	5.418 0	880
13.0	0.248 5	0.057 5	0.479 4	0.018 1	5.413 8	759
14.0	0.246 1	0.057 9	0.479 0	0.019 5	5.388 4	657



实验过程如图5~图8所示。

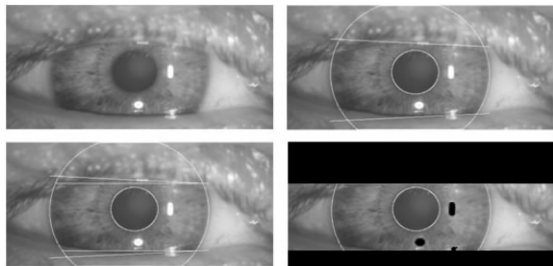


图5 眼睛图像“pi201b”的分割阶段

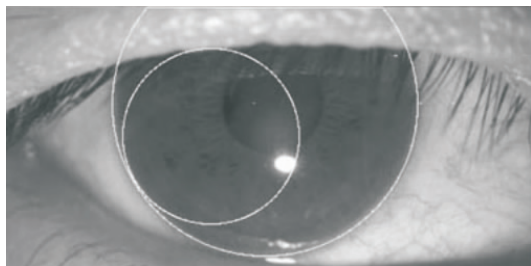
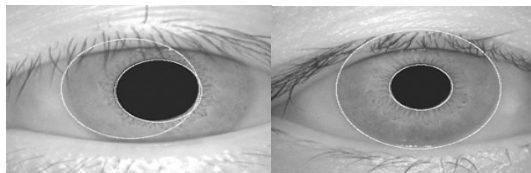
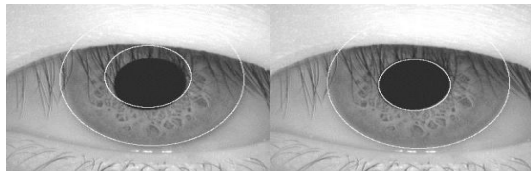


图6 边缘检测阶段



(a)

(b)



(c)

(d)

图7 虹膜定位的真实过程



图8 虹膜归一化

生的虹膜代码也有20%的变化,这似乎是虹膜识别的致命弱点,但在识别过程中,这种 iris code 的变化只占整个虹膜代码的10%,它所占代码的比例是相当小的。由此可见,虹膜识别算法使用微积分还是很不错的选择。

#### 参考文献:

- [1] MA Li, TAN Tieniu, WANG Yunhong, et al. Efficient iris recognition by characterizing key local variations [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(6): 739-750.
- [2] LEE Y, MICHEALS R J, FILLIBEN J J, et al. VASIR: an open-source research platform for advanced iris recognition technologies [J]. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 2013, 36(4): 456-469.
- [3] CHEN Ying, LIU Yuanning, ZHU Xiaodong, et al. Efficient iris recognition based on optimal subfeature selection and weighted subregion fusion [J]. Scientific World Journal, 2014, 2014: 157173.
- [4] DAUGMAN J. New methods in iris recognition [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics; Part B, Cybernetics, 2007, 37(5): 1167-1175.
- [5] 章为川. 基于各向异性高斯核的图像边缘和角点检测 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [6] PIDLICH J, RENNER F, ELLINGER A, et al. Iris recognition: an emerging biometric technology [J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(9): 1348-1363.
- [7] 刘峰瑞. 基于自适应分数阶阶次的图像增强和图像匹配 [D]. 南昌: 南昌航空大学, 2017.
- [8] 杨卓东. 分数阶微积分在图像处理中的算法研究与改进 [D]. 贵州: 贵州大学, 2017.
- [9] 张磊, 李萍. 基于分数阶边缘检测的算法比较 [J]. 智慧工厂, 2017(4): 84-86.
- [10] 何春, 叶永强, 姜斌, 等. 一种基于分数阶微积分模板的新型边缘检测方法 [J]. 自动化学报, 2012, 38(5): 776-787.
- [11] 兰利彬. 分数阶微分数字图像处理及支持向量机在人脸识别中的应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [12] 吴庆岗. 复杂背景输电线路图像中部件边缘提取算法研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2012.
- [13] 刘建磊. 主动轮廓模型和高斯模型在图像处理中的应用研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [14] 张坤, 李珊珊, 王晓红, 等. 基于机器视觉的铁路信号灯检测技术 [J]. 河北工业科技, 2019, 36(2): 115-121.
- [15] 王春, 叶虎年. 虹膜识别算法的研究 [J]. 贵州工业大学学报: 自然科学版, 2000, 29(3): 48-52.
- [16] 叶学义, 龙飞, 庄连生, 等. 实时虹膜识别系统中的图像预评估检测 [J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(11): 2037-2042.

## 5 结束语

技术的算法还受到了现有技术的制约。众所周知, CPU 速度是大规模检索的一个瓶颈, 另外网络和硬件设备的性能也制约着检索的速度。当然, 由于虹膜识别技术采用的是单色成像技术, 因此一些图像很难把它从瞳孔的图像中分离出来。但是微积分算法允许图像质量在某种程度上有所变化。相同的虹膜所产