

## 一种基于直线行扫描的虹膜快速定位算法

郭荣艳, 胡雪惠

(周口师范学院 物理与电子工程系, 河南 周口 466000)

**摘要:** 为提高虹膜的定位速度, 提出一种粗定位与精定位相结合的虹膜快速定位算法. 首先, 利用阈值对人眼图像进行分割提取瞳孔, 对二值化瞳孔区域进行形态学开运算去除瞳孔区域外睫毛等噪声点; 然后对瞳孔区域进行直线行扫描提取瞳孔边界点, 并利用边界点进行最小二乘拟合粗略定位内边缘; 最后利用圆梯度算子对虹膜内外边缘进行精确定位. 对 CASIA(version 1.0) 虹膜数据库中 100 多幅虹膜图像进行定位实验, 所提算法的平均耗费时间为 1.38s, 圆梯度算子耗时 9.8s, Hough 变换方法耗时 14.3s. 定位结果表明文中算法对不同质量的虹膜图像定位速度快, 精度高, 鲁棒性强.

**关键词:** 虹膜定位; 行扫描; 圆梯度算子; 形态学方法; 最小二乘法

**中图分类号:** TP31

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2010)06-0105-04

## A Fast Iris Localization Algorithm Based on Line Scanning

GUO Rong-yan, HU Xue-hui

(Department of Physics, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466000, China)

**Abstract:** To improve the speed of localization, a fast iris localization algorithm combined a coarse localization and a fine localization. Firstly, pupil area is segmented from eye image by threshold, removing eyelash noise etc from binary pupil area by morphological operation. Then extracting pupil boundary point by line scanning to the pupil area, and using the least-square fitting to determine the inner boundary. Finally, using the circle gradients operator to localize the inner and outer iris boundary. Average localization time cost by the proposed algorithm on more than 100 iris images from CASIA (Version 1.0) is 1.38s, circle gradient operator cost 9.8s, Hough transform method cost 14.3 s. Experiment results showed that the proposed algorithm has a high performance on speed and precision, also has strong robustness for different quality iris image.

**Key words:** iris localization; row scanning; circle gradients operator; morphological operation; the least-square method

### 1 引言

虹膜是指白色巩膜与黑色瞳孔之间的色素沉着区域. 虹膜识别具有普遍性、唯一性、稳定性、受保护性、非入侵检测性和防伪性等优点. 非接触式的生物特征识别是身份鉴别研究与应用发展的必然趋势, 与人脸、指纹、步态等非接触式的身份鉴别方法相比, 虹膜具有更高的准确性. 据统计, 虹膜识别的准确识别率是各种生物特征识别中最高的<sup>[1]</sup>.

虹膜识别过程主要由虹膜图像采集、虹膜定位、

特征提取、特征匹配等几个步骤组成. 虹膜定位是在人眼原始图像中获得虹膜内外边缘的中心坐标及半径. 由于图像采集阶段获得的图像通常包含整个人眼区域, 所以需要将虹膜分割出来以供后续的身份识别, 它是虹膜识别系统的重要组成部分, 准确的虹膜定位是实现虹膜身份验证和识别的前提<sup>[2]</sup>.

虹膜内外边界都具有较好的圆环特性, 因此传统的虹膜定位算法都是采用圆形检测算子定位虹膜内外边缘. 经典虹膜定位方法主要有 John Daugman 提出的圆梯度算子<sup>[3]</sup>, Richard Wildes 提出的

Hough<sup>[4]</sup>变换方法, WANG 的最小二乘法<sup>[5]</sup>, 此外, 还包括基于几何特征的定位方法<sup>[6]</sup>和主动轮廓线法<sup>[7]</sup>. 但由于采集的虹膜图像质量的不确定性, 上述算法都有一定的适用范围, 圆梯度算子定位精度高, 且不受二值化阈值的影响, 缺点是容易受到局部光源的影响; Hough 变换与最小二乘法都是基于二值化边界点的定位方法, 其前提是必须将边界点与非边界点区分开来, 否则不能精确定位, Hough 变换方法存在实时性差的问题, 而最小二乘法由于是拟合方法, 定位速度较快, 但其精度不如圆梯度算子和 Hough 变换方法高; 当图像质量不高时, 基于几何特征的定位方法与主动轮廓线法定位精度急剧下降. 针对以上算法的局限, 许多文献提出了粗定位与精定位相结合的方法<sup>[8-11]</sup>, 既保证了定位精度, 也提高了定位速度. 文中提出了一种利用直线扫描与最小二乘法相结合的虹膜内边缘快速定位算法, 同时利用内外边缘的耦合性这一先验知识, 缩小微积分方法搜索外边缘的范围, 减少运算量, 提高了定位速度. 该方法与已有经典方法相比, 精确度基本一致, 在定位速度上有较大改进.

## 2 虹膜内边缘定位

### 2.1 图像平滑处理

虹膜图像采集过程中不可避免受到各种噪声的干扰, 使得虹膜图像中存在一定的图像噪声, 为保证本算法的定位精度, 必须去除虹膜边界带上的噪声, 这样使虹膜图像的内外边界上尽可能多的像素点的灰度值趋于一致, 同时又不至于消除内外的灰度差异. 文中在定位前使用小尺度高斯低通滤波器  $G(n_1, n_2)$  (式(1)、式(2)) 对图像进行滤波.

$$G_g(n_1, n_2) = e^{-(n_1^2+n_2^2)/(2\sigma^2)} \quad (1)$$

$$G(n_1, n_2) = \frac{h_g(n_1, n_2)}{\sum_{n_1} \sum_{n_2}} \quad (2)$$

滤波过程主要是将滤波器中心滑过虹膜图像, 与滤波器中心对应的虹膜图像点的灰度等于滤波器系数与对应像素的灰度值相乘之和.

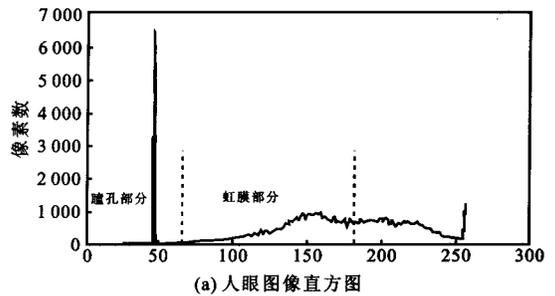
文中滤波器大小为  $3 \times 3$ ,  $\sigma$  的大小根据图像特点而定, 这里  $\sigma = 4$ .

### 2.2 内边缘粗定位

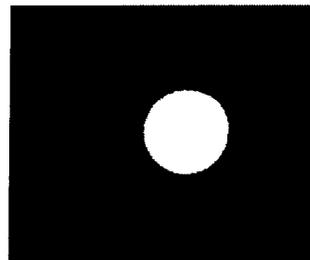
文中采用阈值分割法先提取瞳孔区域, 然后对虹膜图像进行形态学开运算, 以消除睫毛、光斑等噪声干扰, 然后再从瞳孔联通区域下方提取边界点, 利用所提取边界点进行瞳孔粗略拟合, 具体包括以下

步骤.

(1) 图 1(a) 为一幅典型人眼图像直方图, 从该直方图看出人眼图像灰度分布有一定特点, 瞳孔灰度要小于虹膜灰度, 虹膜灰度要小于巩膜灰度, 且瞳孔灰度集中在狭窄的范围内, 在直方图中显现为尖锐的峰值. 采用文献[5]中的阈值分割方法, 二值化阈值选择在第一个峰值的右侧, 按式(3)对人眼图像进行阈值化, 其中:  $I(x, y)$  为点  $(x, y)$  处灰度值,  $T$  为分割阈值,  $BW$  为阈值分割后图像. 图 1(b) 是阈值化后的结果, 我们可以看出, 瞳孔被成功地被分离出来.



(a) 人眼图像直方图



(b) 阈值分割结果

图 1 瞳孔阈值分割

$$\begin{cases} BW(x, y) = 0 & \text{if } I(x, y) < T \\ BW(x, y) = 1 & \text{if } I(x, y) > T \end{cases} \quad (3)$$

(2) 从图 1(b) 看出, 瞳孔区域外有部分睫毛等噪声, 且瞳孔边界不是那么平滑, 而形态学开运算是先对图像先腐蚀后膨胀, 腐蚀可以消除比结构元素小的狭窄的间断和细的突出物<sup>[12]</sup>, 如图 1(b) 中细的睫毛, 再用相同的结构元素进行膨胀则可以复原瞳孔被腐蚀的区域, 而且使边缘更光滑.

形态学开运算为

$$BW \circ B = (BW \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

腐蚀操作为

$$(BW \ominus B)_z = \{z \mid B_z \subseteq BW\} \quad (5)$$

膨胀操作为

$$BW \oplus B = \{z \mid \hat{B}_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (6)$$

$BW$  为阈值二值化图像,  $B$  为结构元素, 这里  $B$  取半径为 5 的圆盘型结构元素. 对图 2(b) 开运算结果如图 3(a) 所示, 可以看出开运算后瞳孔区域以外

的睫毛噪声被消除,同时瞳孔区域边缘更光滑.

(3) 提取下部边界点并利用最小二乘法粗略拟合内边缘. 提取边界点具体步骤为:

① 运用形态学算子式迭代提取图 3(a) 中的瞳孔联通分量. 初始  $P_0$  是瞳孔区域内任一点,  $B$  是一个适当的结构元素,  $A$  为图 3(a) 所示整幅图像, 该式收敛条件为  $P_k = P_{k-1}$ , 令收敛后  $P = P_k$ , 则  $P$  为瞳孔联通分量.

$$P_k = (P_{k-1} \oplus B) \cap A \quad (7)$$

② 找出联通分量区域的横坐标最小值  $r_{\min}$ , 直线  $x_0 = r_{\min}$  实际上为瞳孔区域的一条平行切线, 坐标为图像处理常用坐标约定. 以间隔  $\Delta x$  做若干条平行于切线  $x_0 = r_{\min}$  的直线, 则第  $n$  条平行直线方程为

$$x_n = r_{\min} + n \cdot \Delta x \quad (8)$$

第  $n$  条平行直线与瞳孔区域相交的端点为  $(x_n, y_{\min}), (x_n, y_{\max})$ , 此即为一对瞳孔区域的边界点, 为确保平行直线与瞳孔区域相交, 则需满足:

$$y_{\max} - y_{\min} > T \quad (9)$$

上式确保平行直线有一部分落入瞳孔区域内.  $n$  条平行线按以上方法共取  $2n$  个边界点, 如图 3(b) 所示. 对所提取的  $2n$  个边界点  $(x_i, y_i), 3 \leq i \leq 2n$ , 利用最小二乘法进行粗略拟合. 圆的一般方程为

$$x^2 + y^2 + A_x + B_y + C \quad (10)$$

瞳孔中心坐标  $(x_p, y_p)$  及半径  $r_p$  由式(11)确定.

$$\begin{cases} x_p = -\frac{A}{2} \\ y_p = -\frac{B}{2} \\ r_p = \frac{\sqrt{A^2 + B^2 - 4C}}{2} \end{cases} \quad (11)$$

将式(10)变换为

$$Ax + By + C = -x^2 - y^2 \quad (12)$$

式(12)矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i & y_i & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(x_1^2 + y_1^2) \\ -(x_2^2 + y_2^2) \\ \vdots \\ -(x_i^2 + y_i^2) \\ \vdots \\ -(x_n^2 + y_n^2) \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\text{设 } P = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i & y_i & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix},$$

$$N = \begin{bmatrix} -(x_1^2 + y_1^2) \\ -(x_2^2 + y_2^2) \\ \vdots \\ -(x_i^2 + y_i^2) \\ \vdots \\ -(x_n^2 + y_n^2) \end{bmatrix}$$

利用最小二乘法对瞳孔边缘进行拟合, 则式(15)的最小二乘解为

$$Q = (P^H P)^{-1} P^H N \quad (14)$$

根据  $Q$  的解确定瞳孔参数, 最后粗定位结果如图 2(c) 所示. 虹膜内边缘粗定位过程示意图如图 2 所示.

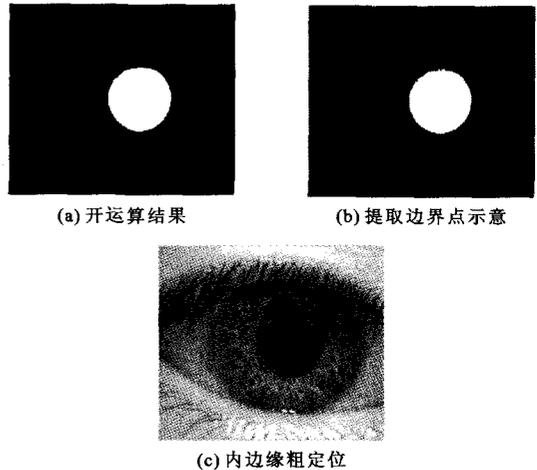


图 2 虹膜内边缘粗定位过程示意图

### 2.3 内边缘精定位

在虹膜内边缘粗定位基础上, 文中采用 Daugman 圆梯度方法进一步精确定位. 由于瞳孔边缘较明显较周边暗, 所以文献[3]中圆梯度算子对内边缘精定位

$$\max_{(r, x_0, y_0)} |G_o(r) * \frac{\partial}{\partial r} \int_{(r, x_0, y_0)} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds| \quad (15)$$

式中,  $I(x, y)$  代表虹膜图像在  $(x, y)$  处的灰度值. 该算子以图像上每点  $(x_0, y_0)$  为圆心, 随着  $r$  的变化, 计算相邻两个圆周之间灰度均值之差, 当输出值达到最大时, 所对应的参数  $(x_0, y_0, r)$  就是要寻找的边界. 式(22)中  $*$  是卷积运算,  $G_o(r) = (1/$

$\sqrt{2\pi\sigma}e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma^2}}$  是标准差  $\sigma$  为的高斯算子,起平滑滤波的作用.  $x_0$  限制在  $(x_p - 10, x_p + 10)$ ,  $y_0$  限制在  $(y_p - 10, y_p + 10)$ , 为瞳孔中心粗定位结果.  $r$  限制在  $[r_p - 10, r_p + 10]$ ,  $(x_p, y_p, r_p)$  为瞳孔半径粗定位结果,最后得到内边缘参数  $(X_p, Y_p, R_p)$ .

### 3. 外边缘定位

虹膜外边缘过渡带通常较宽,灰度变化也没有内边缘强,另外,虹膜本身丰富的纹理信息(如神经圈)也会影响虹膜外边缘定位<sup>[10]</sup>,直接应用以上线积分方法有时并不能准确定位虹膜外边缘.文中采用面积分<sup>[3]</sup>代替以上线积分对外边缘定位.

$$\max_{(r, x_0, y_0)} |G_\sigma(R) * \frac{\partial}{\partial R} \iint_D \frac{I(x, y)}{\pi R^2} d\delta \quad (16)$$

由于虹膜内外边缘虽然不能认为是同心圆,但存在耦合关系<sup>[13]</sup>,其中心距离之差小于  $d_0$ .

$$\sqrt{(x_0 - x_p)^2 + (y_0 - y_p)^2} \leq d_0 \quad (17)$$

文中取  $d_0 = 15$ ,采用面积分方法定位虹膜外边缘,参数搜索范围为,  $x_0 \in [x_p - 15, x_p + 15]$ ,  $y_0 \in [y_p - 15, y_p + 15]$ ,  $r \in [80, 130]$ <sup>[13]</sup>.人在正常的凝视状态下,上下眼皮会覆盖一部分虹膜,所以积分区域一般限定在  $[-\pi/4, \pi/4]$  和  $[3\pi/4, 5\pi/4]$  的扇形区域内.最后得到外边缘参数为  $(X_r, Y_r, R_r)$ .

### 4 试验结果与分析

实验选用中科院自动化所 CASIA<sup>[14]</sup> (version 1.0)虹膜数据库,包括  $108 \times 7$  幅虹膜图像,图像为 8 位灰度图,分辨率为  $280 \times 320$  像素.每只眼随机选取一幅图像,共 108 幅虹膜图像,利用 Matlab 7 在 Intel Core 2.0GHz CPU 上定位,本算法平均耗时间为 1.38s, Daugman 方法耗时 9.8s, Wildes 的方法耗时 14.3s.利用 Daugman 的圆梯度算子, Wildes 的 Hough 变换,文中算法分别对清晰、受睫毛干扰、受上下眼皮覆盖的 3 幅图像(图 3(a)、(b)、(c))进行处理,从图 3 的定位效果看,此算法定位速度快,精度高,而且对于不同质量的虹膜图像定位鲁棒性强.

### 5 结束语

实验结果表明,此算法先利用阈值对人眼图像进行分割提取瞳孔,经过形态学开运算去除噪声点后,再提取一定边界点对虹膜内边缘进行粗略拟合;最后利用虹膜内外边缘中心的耦合性这一先验知

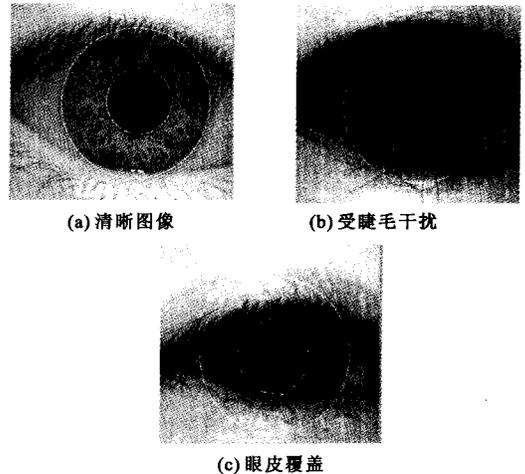


图 3 对不同质量虹膜图像定位结果

识,缩小了圆梯度算子搜索虹膜外边缘中心的范围.通过以上算法,大大减少了微积分算子搜索范围,提高了定位速度.通过对 CASIA(version 1.0)100 多幅虹膜图像的定位结果表明,此定位算法快速、准确、鲁棒.不足之处在于,用椭圆来检测内边缘更精确,但是相比确定圆的三个参数,确定椭圆需要五个参数,计算复杂度增加,定位速度是个值得考虑的问题,如何找到实用性算法是下一步的工作.

### 参考文献:

- [1] 田启川,张润生.生物特征识别综述[J].计算机应用研究,2009,26(12):4404.
- [2] 薛白,刘文耀,王金涛,左坤隆.虹膜图像预处理算法研究[J].光电子·激光,2003,14(7):742-745.
- [3] Daugman J. How iris recognition works[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for VideoTechnology, 2004, 14:21-30.
- [4] Wildes R. Iris recognition: an emerging biometric technology[J]. IEEE. 1997,85(9):1348-1363.
- [5] Wang Yunhong, Zhu Yong, Tan Tieniu. Biometrics personal identification based on iris pattern[J]. Acta Automatica Sinica, 2002,28(1):1-10.
- [6] 王成儒,胡正平,练秋生.一种虹膜定位算法[J].计算机辅助设计与图形学报,2002,14(10):950-952.
- [7] Daugman J. New methods in iris recognition[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2007, 37(5):1167-1175.
- [8] 韩方,陈颖,陆亨利.虹膜定位算法[J].上海大学学报:自然科学版,2001,38(17):217-219.
- [9] 李庆嵘,马争.虹膜定位算法研究[J].电子科技大学学报,2002,31(1):7-9.

(下转第 113 页)

强处理,图 3 中给出了增强后的三幅原始图片的灰度分布结果.可以看出,经过对比度变换,三幅图像的灰度分布范围均有所增大,增强了图像的视觉效果.其中,图 3(a)的变化最为明显,其灰度值已经由  $[50, 100]$  范围扩展到了大约  $[40, 160]$  的区间之内.由此可见,应用文中提出的  $g-l$ -PSO 算法进行灰度图像增强切实有效.

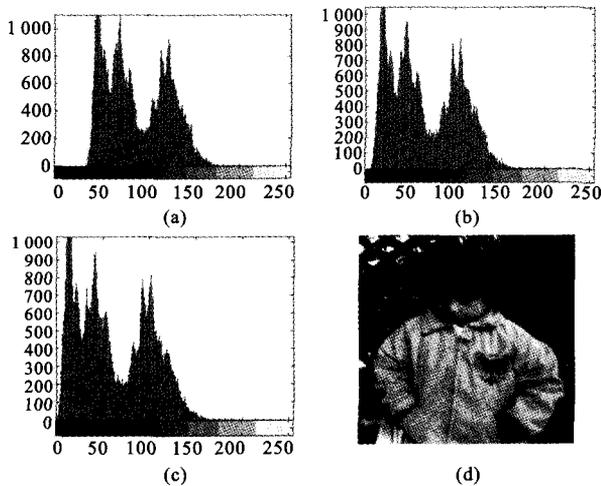


图 3 增强之后的灰度柱状图及增强效果

## 5 结束语

使用规则化 Beta 函数,可以完成灰度图像的对比度变换,从而达到图像增强的目的.文中首先提出

了一种更加高效的 PSO 算法,并将其用于 Beta 函数的参数确定,并以不同模糊程度的图像进行图像增强实验.结果表明,利用文中的  $g-l$ -PSO 算法,可以快速地找到 Beta 函数针对目标图片的解析形式,完成图像像素对比度变换操作.下一步,将聚焦彩色图像的图像增强问题.

## 参考文献:

- [1] 刘兴森,王仕成,赵静.一种基于小波变换的非线性红外图像增强算法[J]. 红外技术, 2009(12):708-711.
- [2] 王正友,胡国胜,吴海燕.基于 DWT 的 Alpha2Rooting 图像增强[J]. 小型微型计算机系统, 2009(5):996-999.
- [3] Tubbs J D. A note on parametric image enhancement [J]. Pattern Recognition, 1987, 30(6):617-621.
- [4] Van F den Bergh. An analysis of particle swarm optimizers[D]. Pretoria: University of Pretoria, 2001.
- [5] Kennedy J, Eberhart R C, Shi Y C. Swarm intelligence [M]. San Francisco, Morgan Kaufmann Press, 2001.
- [6] 周激流,吕航.一种基于新型遗传算法的图像自适应增强算法的研究[J]. 计算机学报, 2001, 24(9):959-964.
- [7] Rosenfield A, Avinash C K. Digital picture processing [M]. New York: Academic Press, 1982.

## 作者简介:

罗圣敏 男, (1978-), 硕士研究生, 讲师. 研究方向为人工智能、算法分析、图形图像.

(上接第 108 页)

- [10] 何家峰,廖曙铮,叶虎年等.虹膜定位[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(3):253-255.
- [11] 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.
- [12] 冯桂.基于形态学变换理论的虹膜识别方法[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6):2308-2309.
- [13] 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):82-84.

- [14] Institute of Automation. Chinese academy of sciences. CASIA iris image database (ver 1.0) [DB/OL]. <http://www.sinobiometrics.com>.

## 作者简介:

郭荣艳 女, (1977-), 硕士. 研究方向为信号与信息处理.  
吴定允 男, (1959-), 硕士. 研究方向为单片机开发.