

## 虹膜采集系统中图像质量评估的研究\*

宗瑞山, 田启川

(太原科技大学 电子学院, 山西 太原 030024)

**摘要:** 虹膜识别系统中, 虹膜图像质量的好坏直接影响识别的精度。针对虹膜采集过程, 提出一种全面的虹膜质量评估方法, 利用直方图对虹膜图像进行总体评估、对瞳孔定位; 利用瞳孔圆心与亮斑重心之间的距离判断亮斑的位置与瞳孔的偏离度; 利用总有界变差对虹膜感兴趣区域进行清晰度的判断; 利用直线拟合法定位眼睑并对虹膜有效区域进行判断。实验证明, 本文提出的方法切实可行。

**关键词:** 虹膜识别; 质量评估; 总有界变差; 直线拟合

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)11-0049-03

## Research on image quality evaluation for iris capture system

Zong Ruishan, Tian Qichuan

(College of Electronic, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** In iris recognition system, iris image's quality directly affects the recognition accuracy. This paper proposes an improved iris image quality evaluation method, which used overall evaluation of iris image by histogram, determined the location of bright spots by calculating the distance between the pupil's center and spots. Definition of iris image is evaluated through total bounded variation, effective area of the iris image is estimated by linear fitting approach. The experiment results show that the method is feasible.

**Key words:** iris recognition; quality evaluation; total bounded variation; linear fitting

在各种不同的生物识别技术中, 虹膜识别比其他的生物识别拥有更多的优良特性: 唯一性、稳定性、良好的防伪性、非侵犯性<sup>[1]</sup>。传统虹膜识别系统主要包括虹膜采集、预处理、特征提取和特征匹配。但是虹膜识别系统采集的虹膜图像并不是都符合识别的要求, 其中有很多图像存在着模糊、反光点干扰、虹膜有效区域过小等影响, 降低了虹膜图像识别的精度。所以在对虹膜图像预处理前对虹膜图像进行质量评估显得尤为重要<sup>[2]</sup>。本文在对现有的虹膜图像质量评估算法分析研究基础上, 结合虹膜采集系统的实际情况, 提出一种比较全面的虹膜质量评估方法。

## 1 总体评估

本文采集到的虹膜图像大小为 480×640 像素的 8 位灰度图像。在采集过程中由于被采集者的移动往往使得采集到的虹膜图像在质量上存在很大的缺陷, 如图 1 所示。

所以在虹膜图像进行定位前须对图像进行总体的评价, 剔除一些不合要求的图像, 以保证虹膜定位的准确性, 节省采集过程所需时间。



(a) 图像一 (b) 图像二 (c) 图像三 (d) 图像四

图 1 坏样本图

一个合适的虹膜图像其直方图的分布有规律性<sup>[3]</sup>, 如图 2 为一虹膜图像和其灰度直方图。由图可以发现, 直方图有三个比较明显的峰值, 分别对应瞳孔区域( $N_p$ )、虹膜区域( $N_l$ )和巩膜与皮肤区域( $N_o$ ), 其中,  $N_p$  为灰度值 < 45 的所有像素点,  $N_l$  为灰度值在 45~120 之间的所有像素点,  $N_o$  为灰度值 > 120 的所有像素点。评估参数计算如下:

$$Q_1 = \frac{N_l}{N_p} \quad Q_2 = \frac{N_l}{N_o} \quad (1)$$

\* 基金项目: 山西自然科学基金项目(2008011030)

式中  $Q_1$ 、 $Q_2$  为定义的两个评估参数,  $Q_1$  越小证明虹膜的可见度愈小, 但是如果  $Q_1$  过大也有可能是瞳孔被遮挡, 所以对  $Q_1$  选择两个门限, 即符合要求的虹膜图像应满足  $T_1 < Q_1 < T_2$ , 而对  $Q_2$  设定门限为  $Q_2 > T_3$ 。  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  是通过实验得到的阈值。

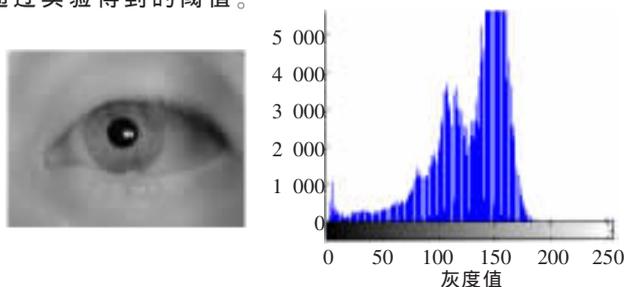


图2 符合要求的虹膜图像

对图1和图2中的虹膜图像总体评估结果如表1所示。

表1 虹膜图像总体评估结果

| 图像    | $Q_1$   | $Q_2$     | 结果  |
|-------|---------|-----------|-----|
| 图1(a) | 3.891 5 | 0.512 79  | 不合格 |
| 图1(b) | 1.684 6 | 0.527 76  | 不合格 |
| 图1(c) | 14.04 8 | 0.281 02  | 不合格 |
| 图1(d) | 6.667 8 | 0.077 621 | 不合格 |
| 图2    | 9.715 8 | 0.439 9   | 合格  |

## 2 细节评估

经过以上的总体评估, 将符合要求的虹膜图像再进行细节评估, 最终选出理想的虹膜图像。本文主要从以下几个方面进行细节的评估。

### 2.1 瞳孔定位

为了使整个评估过程节省时间, 本文只对瞳孔进行定位, 这可以满足本文对虹膜图像质量评估的要求。

首先根据虹膜图像的直方图选出合理的阈值进行二值化, 分离瞳孔; 然后利用形态学知识对瞳孔中的空洞进行填充, 再利用闭运算尽量多地消除睫毛的干扰; 再次分别从上下左右四个方向对处理后的图像进行搜索。只要得到灰度值为0的点, 就以此点位基础定义一个  $120 \times 120$  大小的区域, 并停止搜索; 最后分别对这四个区域中灰度值为0的点进行统计, 找出灰度值为0的点最多的即为瞳孔所在区域。其搜索结果如图3所示。

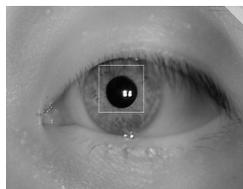


图3 瞳孔所在区域

找到瞳孔所在区域后, 在此区域中求灰度值为0的所有点的重心, 并以此作为瞳孔的圆心:

$$\begin{cases} x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \\ y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $(x_i, y_i)$  为灰度值为0的点的坐标,  $N$  为灰度值为0

的点的数目。然后在瞳孔区域中找到灰度值为0的上下左右四个顶点的坐标, 其中水平方向的坐标记作  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ , 垂直方向的坐标记作  $(x_3, y_3)$ 、 $(x_4, y_4)$ 。利用式(3)计算半径  $R$ :

$$R = \frac{(x_2 - x_1) + (y_4 - y_3)}{4} \quad (3)$$

得到圆心和半径之后, 利用最小二乘法进行圆的拟合。瞳孔定位效果如图4所示。

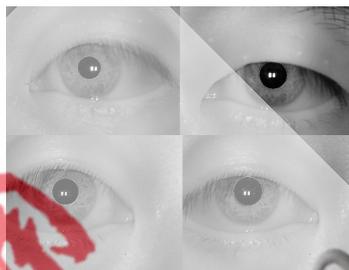


图4 瞳孔定位结果

利用本方法定位瞳孔, 当瞳孔被眼睑遮挡严重时会出现误差, 但对瞳孔未被遮挡或只有少量遮挡的虹膜图像定位还是比较准确的。由于对虹膜图像的外边界进行定位需要花费大量时间, 为了满足实时的需要, 本文未对虹膜外边界定位, 因通过对瞳孔的定位已经可以满足本文对虹膜图像质量评估的需要。

### 2.2 光源点检测

为了采集到理想的虹膜图像, 本文所用的虹膜采集设备上有4个小亮点, 用于引导被采集者的眼睛可以正视镜头。4个亮点会在虹膜图像上留下4个亮斑, 通常情况下亮斑都应该在瞳孔的内部, 越靠近瞳孔圆心虹膜图像的偏离度<sup>[4]</sup>越小, 反之偏离度越大。如果亮斑处在虹膜的有效区域上会破坏虹膜的纹理, 影响后续的识别。所以有必要对亮斑的位置进行检测。

如图3、图4可以发现亮斑的灰度值明显高于虹膜图像中其他点的灰度值, 所以本文首先在瞳孔的所在区域(如图3)利用式(4)进行二值化处理。

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & I(x, y) > T_4 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $I(x, y)$  为瞳孔所在区域的灰度值,  $T_4$  一般选择190, 然后利用式(5)统计灰度值为1的数目。

$$\text{num} = \sum_x \sum_y f(x, y) \quad (5)$$

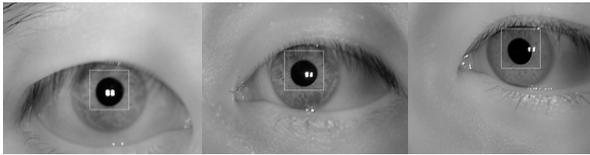
如果  $\text{num} < T_5$  ( $T_5$  为实验得到的瞳孔内光斑个数的阈值), 则认为亮斑没在或不完全在瞳孔区域。对于此类图像可以判定为不合格图像。对于  $\text{num} > T_5$  的虹膜图像, 本文利用式(2)的方法求出亮斑的重心坐标  $(x_i, y_i)$ , 利用式(6)计算亮斑与瞳孔圆心的距离。

$$D = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (6)$$

式中,  $(x, y)$  为瞳孔的圆心。  $D$  越小证明亮斑越靠近

瞳孔圆心, 偏离度越小; 反之, 越远离瞳孔圆心, 其偏离度越大。因此设定一阈值  $T_d$ , 规定  $D$  大于此阈值的图像为不合格。光源点的检测结果如图 5 所示。

从检测结果可以发现, 图 5(a)、(b) 两幅图像的亮斑与瞳孔圆心距离小, 偏离度也小, 符合要求。图 5(c) 中的亮斑与瞳孔圆心距离远, 虹膜偏离度也比较大, 部分亮斑在虹膜的区域上, 破坏了虹膜的纹理, 是不合格的图像。



(a) $D=3.8371$  (b) $D=15.914$  (c) $D=41.962$

图 5 光源点的检测

### 2.3 图像清晰度判断

在虹膜采集的过程中, 由于移动或离焦都会使虹膜图像变得模糊, 虹膜图像清晰与否直接影响到整个虹膜识别过程, 清晰的图像可以有效地降低误判率。目前虹膜图像清晰度的评估方法主要有三种: 空域分析法、频域分析法<sup>[5]</sup>、小波分析法<sup>[6]</sup>。其中, 频域分析法计算量大, 不能满足实时处理的要求, 而空域分析法则运算速度快, 可以满足实时处理要求。

本文利用图像的总有效变差<sup>[7]</sup>判断虹膜图像的清晰度。数字图像的总有效变差即图像  $f(x, y)$  在  $x, y$  方向的变化率之和, 可表示为:

$$D_f = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N |f(x+1, y) - f(x, y)| + |f(x, y+1) - f(x, y)| \quad (7)$$

式中,  $M, N$  表示图像的高和宽, 当图像越清晰时, 图像的总有效变差越大; 越模糊时, 图像的总有效变差越小。

本文首先在瞳孔两侧的虹膜区域选择两个  $64 \times 64$  大小的感兴趣(ROI)区域, 分别计算两个区域的总有效变差数值的大小。令  $D_{fl}$  为瞳孔左边总有效变差的数值,  $D_{fr}$  为瞳孔右边总有效变差的数值。通过大量的实验证明, 此算法对虹膜图像的清晰度可以做出很好的判断。图 6 为其中的部分实验结果。



$D_{fl}=27496$   $D_{fl}=20488$   $D_{fl}=12571$   
 $D_{fr}=28267$   $D_{fr}=15404$   $D_{fr}=11705$

图 6 虹膜图像清晰度判断

通过对 ROI 区域的总有效变差的计算, 选择合适的阈值, 规定总有效变差大于此阈值的虹膜图像为清晰图像。

### 2.4 虹膜有效区域的判断

在整个眼部图像中, 眼皮对虹膜部分的遮挡情况会

经常出现, 如果眼皮对虹膜部分遮挡严重将会影响到识别的精度。目前关于上下眼睑的检测大部分都是采用二次曲线的拟合进行检测。这种方法可以比较准确地定位眼睑部分, 但是算法难度相对较大, 运算速度慢。针对这种情况, 本文在一定的精度下采用近似直线拟合的方法对眼睑进行检测。一般情况下, 下眼皮对虹膜部分的影响较小, 所以本文主要针对上眼皮的遮挡进行上眼睑的检测。

检验出上眼睑后就可以求出眼睑下方虹膜区域的面积, 根据面积的大小可以判定眼皮对虹膜部分的遮挡情况。为了节省时间, 本文在瞳孔的上部选择了一个  $64 \times 64$  大小的 ROI 区域, 然后在 ROI 区域中进行上眼睑检测。主要步骤如下:

(1) 对 ROI 区域在水平方向上进行均值化处理, 消除睫毛的影响。

(2) 在 ROI 区域中选择三列分别计算坐标  $M_i, M_i$  的计算公式如下:

$$M_i = \max\{|f(x+1, y_i) - f(x, y_i)| + |f(x-1, y_i) - f(x, y_i)|\}$$

式中,  $i=1, 2, 3, x=1, 2, \dots, 64$ 。记录下  $M_i$  对应的坐标分别为  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 。以这三个点位顶点拟合直线, 检测出眼睑。

(3) 根据以上检测出的顶点坐标按下式计算虹膜有效区域:

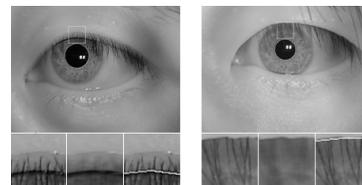
$$FQ = \frac{S_{\text{有效}}}{S_{\text{ROI}}} \times 100\% \quad (8)$$

式中,  $S_{\text{有效}}$  为 ROI 区域中虹膜部分的面积, 可以按照梯形的面积公式进行求解;  $S_{\text{ROI}}$  为整个 ROI 区域的面积。

通过大量的实验证明, 本文的方法可以有效地表示出虹膜有效区域的被遮挡情况。以下是部分实验结果。

图 7(a) 与图 7(d) 为选择的 ROI 区域; 图 7(b) 与图 7(e) 为经过水平均值化处理后的图像, 从图像中可以看出, 水平均值化后可以有效地去除睫毛带来的影响; 图 7(c) 与图 7(f) 为眼睑检测后的图像。

$FQ$  越大则虹膜的有效区域就越大, 所以可以设置一个阈值, 规定  $FQ$  大于此阈值的虹膜图像为合格图像。



(a) (b) (c) (d) (e) (f)  
 $FQ=30.078\%$   $FQ=89.453\%$

图 7 虹膜有效区域判断

本文在总结了当前主流虹膜质量评估算法的基础上, 从实时性出发, 分别从总体与细节两方面对虹膜图像进行质量评估。在细节评估方面提出了一些新的方法, 相比目前的一些主流评估方法更全面、更快速。通过

对大量的虹膜图像进行评估表明, 本文的算法与主观评估相一致。

参考文献

[1] 王蕴红, 朱勇, 谭铁牛. 基于虹膜识别的身份鉴别[J]. 自动化学报, 2002, 28(1): 1-10.

[2] XING L, SHI P F. A quality evaluation method of iris images [J]. Chinese Journal of Stereology and Images Analysis, 2003, 8(2).

[3] 马争, 骆丽. 实时虹膜图像质量评估的研究[J]. 仪器仪表学报, 2008(4): 144-148.

[4] 邢磊, 施鹏飞. 虹膜图像的质量评估方法[J]. 中国体视学报与图像分析, 2005, 8(2): 108-113.

[5] Li Ma, Tan Tieniu, Wang Yunhong, et al. Personal identification based on iris texture analysis [J]. Transaction On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 2003, 25

(12).

[6] 陈戟, 胡广书, 徐进. 基于小波包分解的虹膜图像质量评级算法 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2003(3): 377-380.

[7] Cheng Xiaogang, Chen Qimei, Liu Guoqing. The relation between total bounded variation and image definition detection [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009(9):120-122.

(收稿日期: 2010-08-09)

作者简介:

宗瑞山, 男, 1984 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理, 智能信息处理与识别。

田启川, 男, 1971 年生, 博士后, 副教授, 主要研究方向: 生物特征识别, 模式识别, 智能信息处理, 图像处理与智能控制。

