

一种序列虹膜图像的综合质量评价研究

张立云, 黄健, 薛征宇, 赵欣

(大连海事大学, 辽宁大连 116026)

摘要:虹膜识别是身份识别最可靠的方法之一,近两年来已经引起了广泛的关注,并且取得了相应的成果,然而在识别速度和准确率方面,很难做到两全其美,而序列虹膜图像的质量评估则使解决此瓶颈成为可能。文中在对现有序列虹膜图像质量评价算法的基础上,提出了一种综合的序列虹膜图像质量评价算法,该算法包含3个部分:虹膜活体检测、虹膜有效区域的确定以及虹膜图像清晰度检测。实验结果表明,该方法能够有效地筛选出符合要求的虹膜图像,并且相应地提高了虹膜识别正确率。

关键词:质量评价;活体检测;睫毛检测;眼睑检测

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)11-0104-04

A Study on an Integrated Quality Assessment of Sequence Iris Image

ZHANG Li-yun, HUANG Jian, XUE Zheng-yu, ZHAO Xin

(Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Iris recognition is one of the most reliable methods for personal identification in recent years, which has received increasing attention and obtained the corresponding results, however, in recognition speed and accuracy, it is difficult to achieve the best of both worlds, the sequence iris image quality assessment makes it possible to resolve this bottleneck. On the base of sequence iris image quality evaluation in existence, proposing a algorithm of integrated sequence iris image quality, which includes three parts live detection of iris, iris effective area calculating as well as definition evaluation. The experimental results indicate that the iris image with high quality can be picked out effectively and correspondingly improve the accuracy rate of the iris recognition.

Key words: quality assessment; live detection; eyelash detection; eyelid detection

0 引言

随着数字化时代的到来,生物识别技术得以迅猛的发展,而虹膜是位于瞳孔和巩膜之间的一个环形区域,其表面由许多腺窝、褶皱、色素斑等构成,具有丰富的纹理信息。虹膜纹理具有唯一性、不易受损、采集方便等优点,这使得它成了目前身份认证中最有发展前途的识别技术之一,已经引起了越来越多的关注。

虹膜图像质量评估在自动化的虹膜识别系统中起着关键的作用。目前所存在的具有良好性能的虹膜识别算法都是基于一定质量的图像,不好质量的图像将会削弱系统识别的性能,而增加错误拒绝率(FRR)和错误接收率(FAR),因此,有必要阻止不好质量的图像输入到后续的识别过程中。目前,国内外研究人员提出的虹膜质量评价算法包括:Daugman通过计算二维傅立叶频谱中的所有高频能量来评价图像质量^[1],

Zhang提出一种聚焦因子 $F^{[2]}$ 。其基本思想是:计算瞳孔边缘最大梯度的平均值 S 以及虹膜灰度均值与瞳孔灰度均值之差 H ,得到聚焦因子 $F = S/H$ 。但在实验研究中发现,图像清晰时, S 变大, H 也经常变大;图像模糊时, S 变小, H 也经常变小,所以, F 对虹膜图像清晰度不太敏感。因此,仍然希望在清晰和不好质量的图像之中发现其他的不同之处,来使虹膜识别系统更快和更具有鲁棒性。

影响虹膜图像质量的因素主要有散焦模糊以及眼睑和睫毛的遮挡,文中从三个方面对虹膜图像质量评价进行了研究,即虹膜活体检测、虹膜有效区域的确定以及虹膜清晰度的检测,并在每个阶段设置不同的门限,过滤不符合要求的图像,剩余的图像进入下一阶段的评价。

1 虹膜的定位及活体检测

1.1 虹膜的定位

虹膜的定位采用了先定位内圆后定位外圆的两种定位方法。内圆的定位使用阈值分割^[3]和灰度投影^[4]

收稿日期:2009-03-10;修回日期:2009-06-12

作者简介:张立云(1984-),女(满族),硕士研究生,研究方向为人工智能;黄健,副教授,研究方向为人工智能。

方法。瞳孔与虹膜之间的边界线梯度较大^[5], 较容易找到边界线, 如图 1 所示, 图(b)是图(a)的灰度直方图, 图(b)有两个峰值, 第一个峰表示的是瞳孔, 瞳孔的灰度级在 50 左右, 在两个峰值之间的谷中选取合适的阈值, 就可以使用二值化的分离方法来把瞳孔分离出来。在得到瞳孔的图像以后, 采用投影法粗略定位瞳孔的位置。在这个二值化的区域内, 0 代表黑色, 1 代表白色, 然后将这个矩形区域向水平和垂直方向投影, 投影后就可以找到瞳孔的中心。向水平方向投影所得到的曲线的最小值就是瞳孔的纵坐标, 向垂直方向投影所得到的曲线的最小值就是瞳孔的横坐标, 该计算方法为式(1)。然后, 行列扫描就可以得到半径。

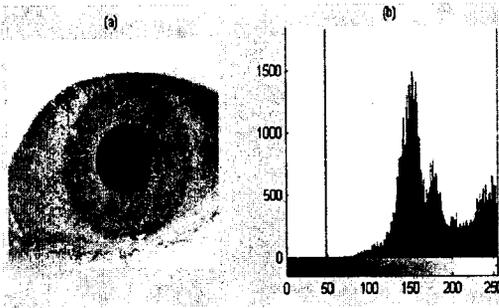


图 1 眼睛图像与直方图

$$\begin{aligned} \text{center_} x &= \text{find}(x) \text{ where } y = \min(y) \\ \text{center_} y &= \text{find}(y) \text{ where } x = \min(x) \end{aligned} \quad (1)$$

瞳孔的形状是圆形的, 具有对称的性质, 而且其中心、圆心、质心都位于同一点。根据先验知识及得到的瞳孔中心粗略位置及半径, 即粗略确定了瞳孔的区域, 在这个区域内用求质心的方法精确定位瞳孔中心。瞳孔质心的横、纵坐标可由公式(2)求得:

$$\begin{aligned} \text{Pupil_} x &= \frac{\sum_{i=1}^{2r_0} \sum_{j=1}^{\text{Len}(i)} y_j p(x_i, y_j)}{\sum_{i=1}^{2r_0} \sum_{j=1}^{\text{Len}(i)} p(x_i, y_j)} \\ \text{Pupil_} y &= \frac{\sum_{j=1}^{2r_0} \sum_{i=1}^{\text{Len}(j)} x_i p(x_i, y_j)}{\sum_{j=1}^{2r_0} \sum_{i=1}^{\text{Len}(j)} p(x_i, y_j)} \end{aligned} \quad (2)$$

其中, Pupil_ x 为瞳孔质心横坐标; Pupil_ y 为瞳孔质心纵坐标; r_0 为瞳孔半径; $p(x_i, y_j)$ 为坐标 (x_i, y_j) 处的灰度值; Len(i) 为第 i 行的列数, 即第 i 行的像素数; Len(j) 为第 j 列的行数, 即第 j 列的像素数;

$\sum_{i=1}^{2r_0} \sum_{j=1}^{\text{Len}(i)} p(x_i, y_j) = \sum_{j=1}^{2r_0} \sum_{i=1}^{\text{Len}(j)} p(x_i, y_j)$ 为瞳孔图像灰度值总和。

虹膜外边缘与巩膜在边缘处的对比不是非常明显, 而且虹膜本身有着非常丰富的纹理, 灰度并不连续, 所以用上面的算法无法定位虹膜的外边缘。文中

首先使用 Canny 算子对原图像进行边缘提取, 然后根据瞳孔的位置和它的先验知识截取包含瞳孔的矩形区域, 从而去掉了一些对虹膜外边缘定位没有贡献的点, 减少了后面工作的计算量并降低了出错的可能。然后分别进行行和列扫描, 就可以得到虹膜中心横坐标、纵坐标和半径。定位结果如图 2 所示。

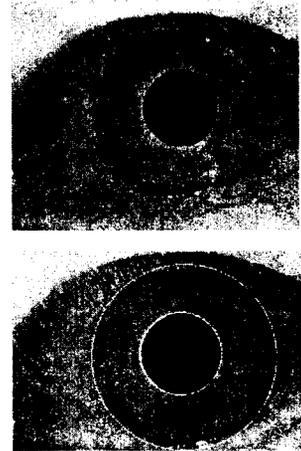


图 2 虹膜定位结果

该算法与 Hough 算法的比较结果如表 1 所示。

表 1 两种定位方法的比较

定位算法	定位精度	搜索 占内存	对图 像要求	平均时间
Hough 变换定位	内圆准确, 外圆不准确	大	低	3.5s
改进算法	内圆准确, 外圆准确	小	高	1.5s

1.2 虹膜的活体检测

眼睛的一个重要的生理特性是瞳孔的动态性, 虹膜上附着有环形的瞳孔收缩肌和辐射状的瞳孔扩张肌, 二者共同决定了瞳孔的大小。在正常的条件下, 瞳孔一直处于有节奏的收缩和扩张状态。也就是说瞳孔的大小随着时间在不停的变换。此外, 瞳孔对于光照的变化十分敏感: 当光照强度增加时, 瞳孔迅速收缩变小; 当光照强度减弱时, 瞳孔迅速扩张变大^[6]。由此可知, 当虹膜图像为活体图像, 即使在外界光源相对稳定时, 在一定时间里瞳孔的大小也会发生变化。因此, 检测一个图像序列中瞳孔的大小是一种有效的活体虹膜图像检测方法。文中引入瞳孔半径的相关系数 C_p 作为判别标准。

根据虹膜定位, 得出该序列图像中每一幅图像的瞳孔半径, 设其中的第 i 幅图像的瞳孔半径为 r_i , 第 $i+1$ 幅图像的瞳孔半径为 r_{i+1} , 该序列图像的总幅数为 n 。 C_p 的计算方法为式(3)所示。

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^n |r_i - r_{i+1}|}{n} \quad (3)$$

其中, $\bar{r}_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}$, 当 C_p 满足式(4)时, 即可以确定

该序列图像为活体图像, 然后进行后续的处理操作。

$$\text{Min}C_p \leq C_p \leq \text{Max}C_p \quad (4)$$

如果该序列图像为虹膜活体图像, 则认为该序列中的每一幅图像的质量评价因子 $Q_{i1} = 1$, 否则 $Q_{i1} = 0$ 。

2 虹膜有效区域的确定

由于虹膜图像采集要求比较严格的对准, 很难保证每次采集时, 虹膜都完全位于图像之中, 此外, 眼睑和睫毛的遮盖太多也会影响虹膜识别的效果。在一个遮挡严重的虹膜图像中, 至少虹膜区域的 1/3 是被眼睑遮挡, 而其他的部分有可能是被睫毛遮挡, 以至于不能精确地提取虹膜的信息, 所以, 要进行眼睑和眼睫毛的检测, 再确定虹膜有效区域。

2.1 眼睑检测

(1) 根据虹膜内外圆的定位结果, 确定上眼睑所在的范围, 即将瞳孔中心以上及虹膜外圆上边界以下部分作为上眼睑所在的区域, 下眼睑的粗定位与上眼睑类似。

(2) 用 Canny 算子对眼睑所在的区域进行边缘检测, 为了降低睫毛对眼睑边缘的影响, 在边缘检测时, 检测算子调节到水平方向, 因为眼睑接近水平方向, 而垂直方向上则会包含很多噪声。

(3) 用中值滤波进一步去除随机噪声, 当边缘长度小于阈值 T_{eyelid} 时则认为是噪声。

(4) 用最小二乘法对去噪后的边缘图进行抛物线拟合, 如图 3 所示。

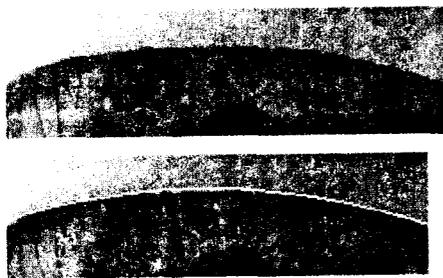


图 3 眼睑检测结果

2.2 眼睫毛的检测

在虹膜图像中, 睫毛像素的灰度值和瞳孔像素的灰度值非常接近, 所以取瞳孔像素的灰度值作为提取睫毛的阈值 Threshold, 虽然可能会漏检一下睫毛, 但是不会影响整体的结果。

如图 4 所示: 图(b)是图(a)的直方图, 图(b)有三个主要的峰值, 其中第一个峰值对应的是瞳孔灰度值

的范围, 第二是对应虹膜灰度值的范围, 第三个是对应睫毛的范围。

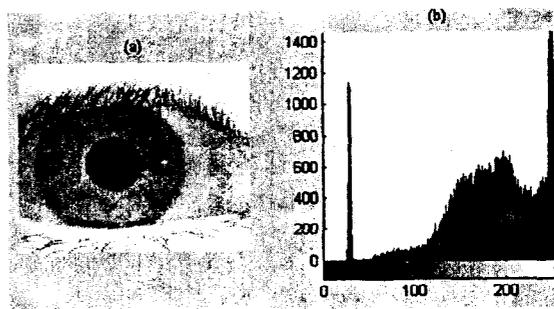


图 4 眼睛图像与直方图

2.3 有效虹膜区域的比重

施鹏飞等人^[7]定义了虹膜的可见度评价因子如式(5):

$$Q_{i2} = K_1 \times K_2 = \frac{N_{\text{iris}}}{N_{\text{all}}} \times \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) = \frac{N_{\text{iris}}}{\pi R_2^2} \times \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (5)$$

其中, N_{iris} 为有效虹膜的像素数, R_1 为瞳孔的半径, R_2 为虹膜外圆的半径。 Q_{i2} 值越大, 说明有效的虹膜纹理信息越多, 越有利于虹膜的识别。现在文献中对 N_{iris} 的求法大多采用首先求虹膜的灰度值, 再根据虹膜的灰度值求取虹膜的像素数的方法, 这种方法得出的结果存在较大的误差。文中采用上面定位上下眼睑的方法, 去掉虹膜区域内上下眼睑和睫毛的噪声后求取有效的虹膜像素数 N_{iris} 。

3 虹膜清晰度的检测

清晰的虹膜图像具有以下特征: 瞳孔, 虹膜, 巩膜区域灰度分布比较均匀, 不同区域间的灰度突变比较大, 比较明显。而在采集过程中对虹膜清晰度影响比较大的主要是散焦模糊, 所以文中主要是从这个方面进行检测。

清晰的虹膜图像在二维傅里叶频谱中有相对统一的频率分布, 而散焦图像的能量主要集中在低频部分。因此, 在以前的研究中, 利用图像的高频能量来评估图像的散焦是最常用的方法^[8]。为了获得图像的高频能量, 一个合适的高通卷积核是非常重要的, Daugman 使用了一个 8×8 的卷积内核来提取图像的高频能量, 但是这会消耗很多的时间, 为了减少运行时间和计算量, 可以使用 5×5 的卷积内核, 然后使用公式(6)来测量图像的聚焦程度。

$$Q_{i3} = \frac{x^2}{x^2 + p^2} \quad (6)$$

其中, x 是图像经过 5×5 的卷积内核运算后的总频谱能量, p 是原始图像这部分所含有的总能量。

4 虹膜图像的综合质量评价

4.1 虹膜图像的综合质量评价

设第 i 幅虹膜图像的综合质量评价因子为 Q_i , 定义如式(7):

$$Q_i = w_1 Q_{i1} + w_2 Q_{i2} + w_3 Q_{i3} \quad (7)$$

其中, w_1, w_2, w_3 分别表示质量评价因子的权值。图像质量评价因子 Q_i 越大, 说明该幅图像质量越好。

4.2 虹膜图像质量评价的过程

根据图像的一些性质, 对输入的序列图像进行分阶段的评价, 不同的阶段设置不同的门限, 只有满足要求的图像才进入下一阶段的评价, 这样会有效缩短图像评价时间。某一输入虹膜序列图像的评价过程为:

(1) 首先对输入的图像进行活体检测, 当 $Q_{i1} = 1$ 时, 即是活体虹膜图像时才进入下一阶段的评价, 如果为 0, 就将此图像舍弃。

(2) 对剩余的图像进行虹膜有效区域的判定。根据先验知识, 设定一个门限, 当符合要求的图像才进行进一步的评价。

(3) 对上步剩下的图像进行清晰度的检测。

(4) 根据综合质量评价算法, 选取最满足要求的图像进行识别。

最后得到的可能是一幅或多幅图像, 这主要取决于后续的虹膜识别系统是单模板还是多模板。

5 结束语

论文中提出序列虹膜图像的综合质量评价方法, 此方法先利用瞳孔的动态特性来检查活体虹膜, 然后

在去除眼睑和睫毛影响的基础上来求取虹膜的有效像素数, 之后再来判断虹膜的可见度, 最后通过对图像的聚焦模糊检测来评价图像的清晰度。此外, 与国内外研究成果相比, 文中的一个特点在于在对序列虹膜图像质量评价的不同阶段设置不同的门限, 只有满足门限要求的才会进入下一步评价。实验结果基本与主观评价一致, 序列图像的评价时间基本可以接受。

参考文献:

- [1] Daugman J. Statistical richness of visual phase information update on recognizing persons by iris patterns[J]. International Journal of Computer Vision, 2001, 45(1): 25-38.
- [2] Zhang Guanghua. Method of selecting the best enroll image for personal identification[P]. US Patent: 597494, 1999-11-02.
- [3] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [4] 李庆嵘. 虹膜定位算法研究[J]. 电子科技大学学报, 2002, 31(1): 7-9.
- [5] 胡正平, 王成儒. 基于综合特征的虹膜定位的算法[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2003, 13(2): 73-75.
- [6] 马力. 基于虹膜识别的身份鉴别方法研究[D]. 北京: 中国科学自动化研究所, 2004.
- [7] 邢磊, 施鹏飞. 虹膜图像的质量评价方法[J]. 中国体视学与图像分析, 2003, 8(6): 110-113.
- [8] Daugman J. How Iris Recognition Works[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 21-30.

(上接第 103 页)

也就是更大程度地找到了原文件中的冗余信息, 依据无损压缩的一般规律, 高压缩率就意味着高风险, 把“中华人民共和国”压缩为“中国”后, 只要有一个字出错, 将丢失全部信息。固实”编码也是这样出现第一数据区数据损坏就很难在恢复出原始数据了, 而非“固实”编码则不会出现这种情况。因此, 设计“固实”编码的纠错^[9]与容错译码算法, 必须遵照“固实”编码的这些特点和机理。

参考文献:

- [1] Hashemian R. Condensed Table of Huffman Coding, a New Approach to Efficient Decoding[J]. IEEE Trans. on Communications, 2004, 52(1): 6-8.
- [2] Gonciari P T, Al-Hashimi B M. Variable-Length Input Coding for System-on-a-Chip Test[J]. IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Sys-

tems, 2003, 22(6): 783-795.

- [3] 姜楠, 王健. 常用多媒体文件格式与压缩编解码[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 9-16.
- [4] 傅祖芸. 信息论-基础理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 305-340.
- [5] 李小平. 数据压缩及传输编码软件[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 38-130.
- [6] 刘立柱, 丁志鸿, 王刚. 无失真信源编码纠错译码理论与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 25-26.
- [7] 吴乐南. 数据压缩原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 38-130.
- [8] Tehranipour M, Nourani M. Nine-Code Compression Technique for Testing Embedded Cores in SoCs[J]. IEEE Trans. on Very Large Scale Integration, 2005, 13(6): 719-731.
- [9] 姜丹. 信息理论与编码[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 1992: 65-72.