

一种虹膜图像的质量评价算法

冯薪桦 丁晓青 吴佑寿

(清华大学电子工程系智能技术与系统国家重点实验室,北京 100084)

摘要 在虹膜识别系统中,质量较差的虹膜图像可能被系统拒识,导致身份识别或身份认证的失败。因此有必要在虹膜图像的采集端引入质量评价环节,从虹膜图像采集仪输出的视频序列中挑选出符合识别系统要求的虹膜图像。首先提出了一种快速的基于连通域分析的瞳孔定位方法,然后在此基础上,针对具有散焦模糊和眼皮睫毛遮挡的虹膜图像,提出了一种分步式的虹膜图像质量评价算法。实验结果表明,该算法能够有效地筛选出符合要求的虹膜图像。

关键词 虹膜识别 质量评价 虹膜定位

中图分类号: TP391.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)06-0731-05

A Quality Assessment Method of Iris Images

FENG Xin-hua, DING Xiao-qing, WU You-shou

(State Key Laboratory of Intelligent Technology and Systems, Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract The iris image with bad quality will be rejected by the automatic iris recognition system, which will result in the failure of identification or verification. Therefore it is necessary to introduce the quality assessment process of iris images in the phase of image acquisition, which aims to pick out the iris image with high quality from the video sequence captured by the image acquisition device. This paper proposes a fast localization method based on connective region analysis to find out the position of the pupil in an iris image, and then proposes a new iris image quality assessment algorithm which can be divided into two steps. In the first step, the high frequency power of right and left part of the pupil is calculated to find out the defocused images. And in the second step, the gradient information of the upper region of the pupil is computed to distinguish between the occluded images and unoccluded images. The experimental results indicate that the new algorithm is effective to pick out the iris images with high quality.

Keywords iris recognition, quality assessment, iris localization

1 引言

虹膜是人体最独特的结构之一,它位于角膜和晶状体之间,呈圆盘状,中间为瞳孔所穿过,其表面由许多腺窝、皱褶、色素斑等构成,具有丰富的纹理信息。虹膜纹理具有以下特点^[1]:(1)唯一性;(2)稳定性;(3)防伪性;(4)非侵入性;(5)天然的极坐标特性。这使得虹膜识别技术与以往的生物识别技术(如指纹识别、人脸识别等)相比,具有稳定性好、准确率高、识别速度快、应用范围广等特点,近年来受到人们越来越多的关注。

在虹膜识别系统中,虹膜图像的质量是影响识别效果的重要因素。为了提高识别系统的准确性,必须选择满足一定质量要求的图像作为识别系统的输入。传统的图像质量评价方法分为主观评价和客观评价两大类。在虹膜识别系统中,通常要求对使用者的限制尽可能小,因此必须采用客观的评价标准,从虹膜图像采集仪输出的视频序列中自动挑选出一幅质量较好的图像,并实时输出到后续的识别过程中。影响虹膜图像质量的因素主要包括眼皮、睫毛的遮挡和散焦模糊。目前,虹膜识别系统中常用的质量评价算法包括:(1)利用虹膜图像的2维傅里叶变换计算频域高频能量的方法^[2];(2)计算

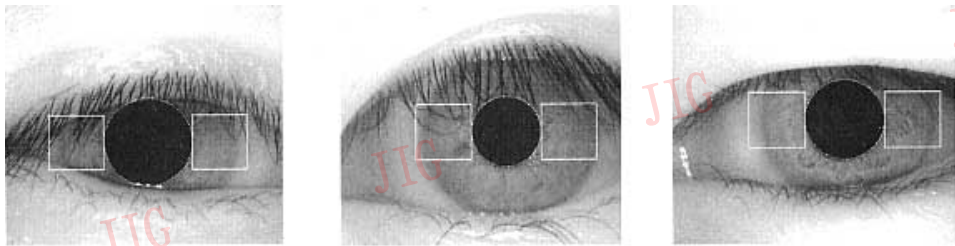
收稿日期:2004-06-03;改回日期:2004-10-13

第一作者简介:冯薪桦(1980~),女。2002年毕业于清华大学电子工程系,获学士学位。现于清华大学电子工程系攻读信号与信息处理专业博士学位。主要研究方向为模式识别、超清晰度图像重建和图像处理等。E-mail:fxh@ccserv.ee.tsinghua.edu.cn

虹膜边界梯度的方法^[3]; (3) 基于小波包分解的虹膜图像质量评价算法^[4]。这 3 种算法都是针对由于对焦不准引起的图像质量的差异, 并不能处理眼皮、睫毛遮挡的情况。

Li 等人在深入分析不同类别(清晰的图像、分别具有散焦模糊、运动模糊和严重遮挡的图像)虹膜图像特点的前提下, 提出了一种基于傅里叶变换的图像

质量评价算法^[5]。实验结果表明: 该算法不但可以处理散焦模糊的情况, 对具有运动模糊和严重遮挡的虹膜图像也具有较好的判别能力, 但在遮挡不是很严重的时候完全失效。如图 1 所示, 该方法只能剔除图 1(a)所示的图像, 并不能将图 1(b)和图 1(c)所示的图像从虹膜采集仪输出的视频序列中剔除, 尽管它们也会对系统的识别性能产生不利的影响。



(a) 具有严重遮挡的图像

(b) 具有轻微睫毛遮挡的图像

(c) 具有轻微眼皮遮挡的图像

图 1 不同遮挡情况下的虹膜图像

Fig. 1 Iris images with different occluded states

在对现有虹膜图像质量评价算法进行仔细的分析研究之后, 结合虹膜图像的具体特点, 提出一种分步式的质量评价算法: 首先利用瞳孔两侧区域高频分量的大小来判断虹膜图像是否具有散焦模糊, 然后利用瞳孔上侧区域的梯度信息来区分有遮挡和无遮挡的虹膜图像。该方法只需要提取瞳孔的边界, 不需要对整个虹膜进行定位, 计算速度较快, 并可以有效地处理散焦模糊和遮挡的情况。

2 瞳孔定位

虹膜的内边界(瞳孔与虹膜的边界)和外边界(虹膜与巩膜的边界)均近似于圆形, 可以用圆形模板来提取。文献中常用的虹膜定位方法包括基于圆形轮廓算子的方法^[1]和基于边缘检测的方法^[3]。前者需要在 3 维参数空间 (r, x_0, y_0) 中不断搜索求取最优解(这里 r, x_0, y_0 分别代表圆的半径和圆心坐标); 后者需要利用 Hough 变换进行投票求取圆形边界, 运算量都很大。为此提出一种基于连通域分析的瞳孔定位方法, 仅对虹膜的内边界进行定位, 可以极大地减少运算量。具体的定位过程如下:

(1) 对虹膜图像进行全局二值化。假设虹膜图像的最小灰度值为 I_{\min} , 灰度均值为 I_{mean} , 则二值化的阈值 $T = I_{\min} + \frac{I_{\text{mean}}}{3}$ 。

(2) 利用闭运算去除大部分眼皮和睫毛的干扰。闭运算所用的结构元素可以取得稍大一些, 实验中采用的是 5×5 的矩形模板。

(3) 进行连通域分析, 找出面积最大的连通域 C , 瞳孔的中心坐标 (x_p, y_p) 和瞳孔半径 r_p 可以由下式估计得到。

$$\begin{cases} (x_p, y_p) = \frac{1}{N} \sum_{(x_c, y_c) \in C} (x_c, y_c) \\ r_p = \text{round}\left(\sqrt{\frac{N}{\pi}}\right) \end{cases} \quad (1)$$

其中, N 为连通域 C 的像素点个数, (x_c, y_c) 为连通域 C 中点的坐标, 函数 $\text{round}(\cdot)$ 代表取整操作。

3 分步式虹膜图像质量评价算法

在瞳孔定位的基础上, 分别提取出瞳孔左右两侧区域和上侧区域进行图像质量分析。本文提出的分步式质量评价算法主要针对散焦模糊和眼皮、睫毛遮挡的情况。

3.1 提取瞳孔两侧区域的高频分量

虹膜纹理是否清晰, 反映到频域上则表现为高频部分的能量是否足够大, 因此可以根据图像傅里叶变换后高频分量的多少来评价图像质量。以往的虹膜图像评价方法通常是对虹膜进行精确定位后, 对虹膜所在的环形区域进行极坐标变换, 将其展开为矩形区

域,然后在矩形区域上进行傅里叶变换或小波变换,完成图像质量的评价。然而定位所得的环形区域并不完全属于虹膜,还包含了部分眼皮以及睫毛,直接计算该区域高频分量的大小,并不能真实地反映出图像的清晰程度。比如图1(b)所示的虹膜图像,由于存在睫毛遮挡,即使人为引入散焦模糊,该图像对应的虹膜区域仍然具有较大的高频分量。

为了能够更加客观地反映虹膜图像的清晰程度,仅选择瞳孔左右两侧的矩形区域进行分析,因为除了极少数存在严重遮挡的情况,瞳孔左右两侧区域中几乎不包含睫毛或眼皮部分。实验中所用到的虹膜图像均取自 CASIA 虹膜数据库(<http://www.sinobiometrics.com>),库中的虹膜图像尺寸为 320×320 ,瞳孔半径在 44 个像素左右,实验中选择瞳孔两侧 64×64 的矩形区域 R_1 和 R_2 ,分别计算它们的傅里叶变换 $F_1(u, v)$ 、 $F_2(u, v)$,然后利用下式计算对应的高频分量 P_H 。

$$P_H = \iint_{a=|(u,v)|/\sqrt{u^2+v^2} \geq th} F(u, v) du dv \quad (2)$$

其中, th 表示中高频分量的分界点,取值范围在 1 ~ 32 之间; $F(u, v)$ 由下式计算得到。

$$F(u, v) = \frac{|F_1(u, v)| + |F_2(u, v)|}{2} \quad (3)$$

将 P_H 与预先设定的阈值 TH 进行比较, P_H 小于阈值的图像将被认为是具有散焦模糊的图像而被丢弃, P_H 大于阈值的图像将被送到后续的过程中,进一步判断是否具有眼皮或睫毛的遮挡。

3.2 提取瞳孔上侧区域的梯度信息

如果虹膜图像存在眼皮或睫毛的干扰,对识别系统的性能将产生不利的影响。仔细观察数据库中的虹膜图像,发现如果虹膜图像存在眼皮的干扰,瞳孔上侧区域在竖直方向上会存在较大的高频分量;如果存在睫毛的干扰,则瞳孔上侧区域在水平方向上具有较大的高频分量。因此可以通过提取瞳孔上侧区域的高频信息来判断图像是否具有遮挡。这里用梯度来描述高频信息,因为梯度算子不仅具有良好的方向性,而且计算量很小。

首先从瞳孔上方提取出一个矩形区域,区域的大小和瞳孔半径有关;接着分别计算水平方向和竖直方向上的梯度图 G_x 、 G_y ,计算 G_x 、 G_y 的均值,组成 2 维的特征向量 D ;最后利用 SVM 算法^[6]对样本进行分类。涉及的运算为

$$G_x(i, j) = I(i-1, j) - 2I(i, j) + I(i+1, j) \quad (4)$$

$$G_y(i, j) = I(i, j-1) - 2I(i, j) + I(i, j+1) \quad (5)$$

$$D(1) = \frac{1}{MN} \sum_i \sum_j |G_x(i, j)| \quad (6)$$

$$D(2) = \frac{1}{MN} \sum_i \sum_j |G_y(i, j)| \quad (7)$$

其中, M 、 N 分别为矩形区域的长度和宽度。

实际应用中,需要从虹膜图像采集仪输入的多帧图像中挑选出一幅最优的图像。如果所有的图像均满足要求,则选择离分界面最远的图像。

4 实验结果

4.1 瞳孔定位

将基于连通域的瞳孔定位方法和文献[1]~[3]中采用的基于边缘检测和 Hough 变换的瞳孔定位方法进行了比较。算法 A 采用基于连通域的方法;算法 B 和算法 C 均为基于边缘检测和 Hough 变换的瞳孔定位方法,其中算法 B 采用梯度算子提取图像的边缘,算法 C 采用 Canny 算子提取图像的边缘。表 1 给出了不同算法下定位结果的差异。其中, x_p 、 y_p 、 r_p 分别表示瞳孔中心的横纵坐标以及瞳孔的半径。由表 1 可以看出:三者的定位结果并没有明显差异。通过进一步比较具有最大差异的几幅图像发现,算法 A 具有更好的容错性,算法 B 和算法 C 在具有睫毛和眼皮干扰的时候,定位结果没有算法 A 好。

表 1 不同算法下瞳孔定位结果的比较

Tab. 1 Performance compare of different located approaches

算法	x_p		y_p		r_p	
	均值	最大差异	均值	最大差异	均值	最大差异
A vs. B	0.097	2	0.020	2	0.149	3
A vs. C	0.024	2	0.121	2	0.261	3

从运算速度上看,算法 A 的平均处理时间为 0.14s/帧,略优于算法 B (0.28s/帧),较算法 C (1.47s/帧)有明显提高,这主要是因为 Hough 变换和 Canny 算子的运算复杂度比较高,影响了定位速度。

4.2 图像质量的鉴别

如前所述,首先利用高频分量的大小来判断虹膜图像是否具有散焦模糊,然后再利用梯度信息区分有遮挡和无遮挡的虹膜图像。

CASIA 虹膜数据库中的图像清晰度都比较高,实验过程中对数据库中的图像人为引入模糊。模糊算子是一个 $N \times N$ 的“1”矩阵,用 N^2 进行归一化。图 2 给出了不同模糊程度下的虹膜图像, P_H 是对应的高频分量。由图 2 可以看出,利用高频分量的大小可以

很容易地区分出具有散焦模糊的图像和清晰的图像。实验中所用的阈值为 $TH = 7.0 \times 10^5$, 如果 $P_H > TH$, 就认为图像不具有散焦模糊。式(2)中的 th 和这里的 TH 的大小均通过实验设定, 不同的虹膜图片集可能需要选取不同的阈值大小。

虹膜图像中的遮挡可分为两种情况——眼睫毛遮挡和眼皮遮挡, 分别如图 3(b)、(c) 所示, 图 3 还给出了各种情况下瞳孔上侧区域的梯度信息, 可见, 具

有眼睫毛遮挡的虹膜图像对应的水平梯度均值较大, 具有眼皮遮挡的虹膜图像对应的垂直梯度均值较大。

将 CASIA 虹膜数据库中的图像分成两类——有遮挡的图像和无遮挡的图像。从每类中各挑选 100 幅图像作为训练样本, 150 幅图像作为测试样本, 然后利用 SVM 进行分类。分类结果如图 4 所示, 可见该算法可以有效的判断虹膜图像是否具有遮挡。图 4 中, t_1 、 t_2 分别代表 $D(1)$ 和 $D(2)$ 。

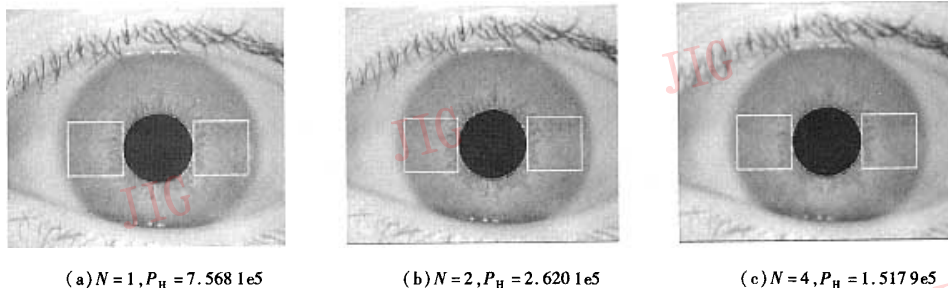


图 2 不同散焦模糊下的图像及其对应的高频分量

Fig.2 Iris images with different defocused degrees



图 3 不同遮挡情况下对应的梯度信息值

Fig.3 Iris images with different occluded states

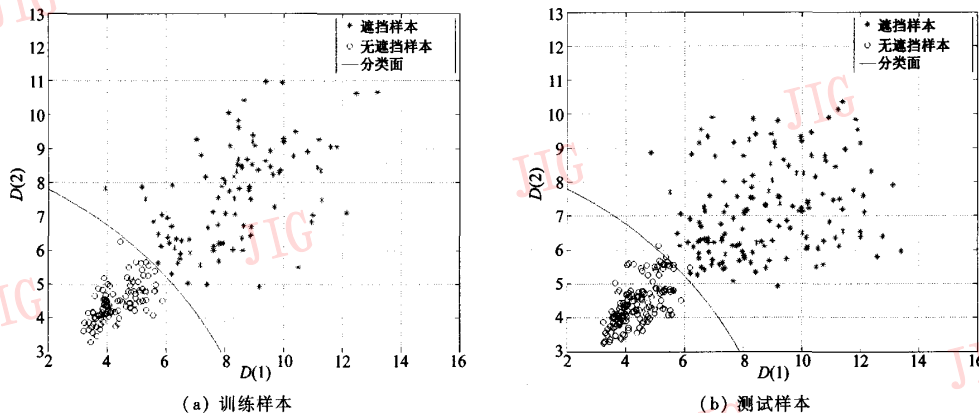


图 4 SVM 分类结果

Fig.4 The result of SVM classifier

5 结 论

本文首先提出了一种快速的瞳孔定位算法,然后在瞳孔定位的基础上,选取出部分虹膜区域进行虹膜图像的质量评价。评价过程分为两个步骤,首先利用瞳孔两侧区域高频分量的大小来判断虹膜图像是否具有散焦模糊,然后再利用瞳孔上侧区域的梯度信息来区分有遮挡和无遮挡的虹膜图像。在 Pentium/900 的主机下,利用 Matlab 对整个算法进行仿真。从输入图像到判定图像是否可用,平均每帧只需要 0.1536s,即具备 6.5 帧/s 的处理能力。实验结果表明,该算法可以有效地处理散焦模糊和睫毛及眼皮遮挡的情况,是一种实时可行的虹膜图像质量评价方法。但该算法没有考虑下眼皮遮挡的情况以及运动模糊的情况、眼睛开合度的影响。这些是未来的研究方向。

参考文献 (References)

- 1 Daugman J G. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, **15**(11):1148 ~ 1161.
- 2 Daugman J G. How iris recognition works[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004, **14**(1):21 ~ 30.
- 3 Wildes R P. Iris recognition: An emerging biometric technology[J]. *Proceeding of the IEEE*, 1997, **85**(9):1348 ~ 1363.
- 4 CHEN Ji, HU Guang-shu, XU Jin. Iris image quality evaluation method based on wavelet packet decomposition[J]. *J Tsinghua Univ*, 2003, **43**(3):377 ~ 380. (in Chinese)[陈戟,胡广书,徐进. 基于小波包分解的虹膜图像质量评价算法[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2003, **43**(3):377 ~ 380.]
- 5 Ma L, Tan T, Wang Y, *et al*. Personal identification based on iris texture analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(12):1519 ~ 1533.
- 6 Theodoridis S, Koutroumbas K. *Pattern Recognition (Second Edition)*[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.