

虹膜图象质量评价的研究

何家峰 叶虎年

(华中科技大学机械学院仪器系, 武汉 430074)

叶妙元

(华中科技大学电气学院, 武汉 430074)

摘要 一幅虹膜图象采集后, 首先要进行质量评价, 再根据评价结果确定其是否可以用于虹膜识别。将虹膜图象质量评价分为3个部分: 虹膜检测、虹膜不可用区域的确定以及虹膜图象清晰度评价。即采用模板匹配法在图象中检测可能的虹膜, 并利用虹膜图象的一些特征来校验其可信度; 寻找虹膜与眼皮的边界线, 计算虹膜被眼皮遮盖的面积, 同时根据虹膜和瞳孔的边界参数来计算位于图象外虹膜面积的大小, 以确定不可用虹膜部分的大小; 用灰度差分累加和的方法计算瞳孔边缘的平均高度, 以判断图象中虹膜的清晰程度。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象。

关键词 医学影像学(320·1140) 质量评价 虹膜检测 灰度差分曲线 累加和

中图分类号: R322.91 TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)04-0387-05

A Study on Iris Image Quality Evaluation

HE Jia-feng, YE Hu-nian

(Mechanical School, Huazhong Univ. of Sci & tech., Wuhan 430074)

YE Miao-yuan

(Electric School, Huazhong Univ. of Sci & tech., Wuhan 430074)

Abstract After an Iris image is acquired, its quality should be firstly evaluated to judge whether it can be used for Iris recognition. In this paper Iris image quality evaluation is divided into three parts, namely, Iris detection, Iris area calculating covered by the eyelids or not in the image as well as definition evaluation. The potential Iris is detected with template match and some characteristic Iris features of the Iris image are used for verifying the presence of the Iris. The boundary between the Iris and the eyelids is found to acquire the Iris area covered by eyelids, and then the Iris area not in the image is computed according to the features of Iris boundary and pupil boundary. The average height of pupil boundary is calculated for evaluating the definition of the iris image. The experimental results indicate that the Iris images with high quality can be picked out effectively.

Keywords Quality evaluation, Iris detection, Grey scale difference curve, Cumulative sum

0 引言

当一幅虹膜图象采集后, 首先要进行质量评价, 再根据评价结果确定其是否可以用于虹膜识别。因此, 把虹膜图象质量评价分解为3个方面: (1) 判断虹膜是否位于图象中。在采集瞬间, 如果处于闭眼状态或者眼睛不在视场内, 则采集到的图象中就不会出现虹膜; (2) 判断图象中虹膜部分的大小。一方面, 眼皮一般会遮盖一部分虹膜, 另一方面, 由于虹

膜图象采集要求比较严格的对准, 很难保证每次采集时, 虹膜都完全位于图象之中, 因此, 如果眼皮遮盖过多或者位于图象之外的虹膜面积太大, 就会严重影响虹膜识别的效果; (3) 判断图象中虹膜部分是否清晰。

在虹膜图象清晰度评价方面, Zhang 提出一种聚焦因子 $F^{[1]}$ 。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, 图象清晰时, S 变大, H 也经常变大; 图象模

糊时, S 变小, H 也经常变小. 因此, F 对虹膜图象清晰度不太敏感. 另外, McHugh 等提出一种频谱的方法^[2], 其基本思想是: 计算虹膜图象在高频域的能量, 该能量越高, 图象清晰度越好. 在判别速度方面, 文献^[2]方法比文献^[1]方法的慢.

本文从3个方面对虹膜图象质量评价进行了研究, 即虹膜检测、虹膜不可用部分的确定以及虹膜图象清晰度评价, 以便剔除不能用于虹膜识别的虹膜图象. 在虹膜检测方面, 选用 Daugman 提出的一种非常稳健的圆形轮廓算子^[3]来定位可能的虹膜, 并利用圆形边缘梯度、虹膜半径、虹膜半径的上下限、瞳孔半径与虹膜半径之比的上下限、瞳孔相对于虹膜的偏心率的上下限、瞳孔区域的平均灰度值以及瞳孔区域的灰度方差与平均灰度值的比值等特征来校验其可信度; 在虹膜不可用部分的确定方面, 用链码搜索的方法寻找虹膜与眼皮的边界线, 并用抛物线进行拟合, 从而计算出虹膜被眼皮遮盖的面积, 同时根据虹膜和瞳孔的边界参数来计算位于图象外的虹膜面积的大小; 在虹膜图象清晰度评价方面, 采用灰度差分累加和的方法计算瞳孔边沿的平均高度, 以评价虹膜图象的聚焦状态和清晰度.

1 虹膜检测

虹膜与瞳孔近似于圆形, 所以可以用圆形模板来提取可能的虹膜边界和瞳孔边界(即虹膜内边界).

由可能的虹膜边界和瞳孔边界所界定的部分未必一定是虹膜, 因此, 有必要根据虹膜的某些其他特征来进一步检验, 以增强虹膜检测的可信度.

1.1 虹膜定位

Daugman 曾提出一种圆形轮廓算子用来定位可能的虹膜^[3], 其圆形轮廓算子如下:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

其中, $G_\sigma(r)$ 为高斯函数, $I(x, y)$ 为图象灰度分布, ds 是一段以 (x_0, y_0) 为圆心、以 r 为半径的圆弧. 该式实质上是一个以尺度 σ 模糊化的圆形边界探测器, 它对虹膜边界或瞳孔边界的定位是在 (r, x_0, y_0) 三参数空间不断迭代求最优解(即求最大值)的过程.

为了快速有效地定位可能的虹膜, 采取以下措施:

(1) 由于眼皮有时会遮盖住部分虹膜, 甚至会遮盖住部分瞳孔, 为尽量排除眼皮对虹膜定位的影

响, 把积分域限定在 $-\pi/6 \sim \pi/6$ 及 $5\pi/6 \sim 7\pi/6$ 内.

(2) 为了加快运算速度, 采用变分辨率搜索, 先在较低分辨率图象空间搜索, 然后过渡到较高分辨率图象空间, 最后在原始图象空间搜索.

(3) 限定搜索范围. 设虹膜参数为 (R, X_0, Y_0) , 瞳孔参数为 (r, x_0, y_0) . 对于一个虹膜采集系统来说, 图象中虹膜半径的上下限、瞳孔半径与虹膜半径之比的上下限以及瞳孔相对于虹膜的偏心率的上下限是可以由统计预先得到的. 即 R, r 的范围可以限定, 虹膜中心坐标 (X_0, Y_0) 的大致范围在瞳孔中心坐标 (x_0, y_0) 确定后也可以限定. 瞳孔中心坐标 (x_0, y_0) 的近似位置可以由图象的水平投影量曲线和垂直投影量曲线得到. 如果图象中存在虹膜部分, 则水平投影量曲线和垂直投影量曲线的最小值处将分别近似对应于瞳孔中心坐标 x_0, y_0 .

设由式(1)所计算的可能的虹膜边界和瞳孔边界的值分别为 A_i, A_p , 如果 $A_i < T_A$ 或 $A_p < T_{Ap}$, 则判断图象中没有虹膜出现. 即使图象中事实上有虹膜出现, 但由于眼睛开度不够大或图象过于模糊等原因造成所计算的值过小, 也等效于图象中没有虹膜出现.

1.2 进一步校验

在上述的虹膜定位过程中, 已经用到一些虹膜的特征, 如圆形边缘梯度、虹膜半径、虹膜半径的上下限、瞳孔半径与虹膜半径之比的上下限以及瞳孔相对于虹膜的偏心率的上下限等. 这些虹膜的特征, 既起到快速有效定位的作用, 又起到对可能的虹膜进行校验的作用.

下面利用瞳孔在图象中的灰度特征来进一步校验. 其灰度特征为灰度值较低、近似均匀, 可以用瞳孔区域的平均灰度值 M 以及灰度方差 S 与平均灰度值 M 之比 R_s 来表征. 当满足

$$\begin{aligned} M &< T_m \\ R_s = \frac{S}{M} &< T_{R_s} \end{aligned} \quad (2)$$

条件时, 所定位的虹膜得到进一步确定, 否则, 便判定所定位出来的虹膜是不可信的.

式(2)中, T_M, T_{R_s} 是预先确定的阈值.

2 虹膜不可用部分的确定

虹膜不可用部分包括虹膜位于图象之外的部分和虹膜被眼皮遮挡的部分.

2.1 位于图象之外的虹膜面积的确定

虹膜定位后,虹膜参数 (R, X_0, Y_0) 和瞳孔参数 (r, x_0, y_0) 便确定下来.由这些参数,便可以计算出位于图象外的虹膜面积.

设图象的尺寸为 $l \times h$.如果 $X_0 < 0$,或 $Y_0 < 0$,或 $x_0 < 0$,或 $y_0 < 0$,或 $X_0 > l$,或 $Y_0 > h$,或 $x_0 > l$,或 $y_0 > h$,则位于图象外的虹膜部分太多,不能用于虹膜识别.下面讨论位于图象之外的其他情况.

(1) 如果 $R > X_0, r < x_0$,则位于图象外的虹膜面积为

$$S_1 = R^2 \arccos(X_0/R) - X_0(R^2 - X_0^2)^{1/2};$$

如果 $R > X_0, r > x_0$,则位于图象外的虹膜面积为

$$S_1 = R^2 \arccos(X_0/R) - X_0(R^2 - X_0^2)^{1/2} - r^2 \arccos(x_0/r) + x_0(r^2 - x_0^2)^{1/2}.$$

(2) 如果 $R > Y_0, r < y_0$,则位于图象外的虹膜面积为

$$S_2 = R^2 \arccos(Y_0/R) - Y_0(R^2 - Y_0^2)^{1/2};$$

如果 $R > Y_0, r > y_0$,则位于图象外的虹膜面积为

$$S_2 = R^2 \arccos(Y_0/R) - Y_0(R^2 - Y_0^2)^{1/2} - r^2 \arccos(y_0/r) + y_0(r^2 - y_0^2)^{1/2}.$$

(3) 如果 $R > l - X_0, r < l - x_0$,则位于图象外的虹膜面积为

$$S_3 = R^2 \arccos((l - X_0)/R) - (l - X_0)(R^2 - (l - X_0)^2)^{1/2};$$

如果 $R > l - X_0, r > l - x_0$,则位于图象外的虹膜面积为

$$S_3 = R^2 \arccos((l - X_0)/R) - (l - X_0)(R^2 - (l - X_0)^2)^{1/2} - r^2 \arccos((l - x_0)/r) + (l - x_0)(r^2 - (l - x_0)^2)^{1/2}.$$

(4) 如果 $R > h - Y_0, r < h - y_0$,则位于图象外的虹膜面积为

$$S_4 = R^2 \arccos((h - Y_0)/R) - (h - Y_0)(R^2 - (h - Y_0)^2)^{1/2};$$

如果 $R > h - Y_0, r > h - y_0$,则位于图象外的虹膜面积为

$$S_4 = R^2 \arccos((h - Y_0)/R) - (h - Y_0)(R^2 - (h - Y_0)^2)^{1/2} - r^2 \arccos((h - y_0)/r) + (h - y_0)(r^2 - (h - y_0)^2)^{1/2}.$$

S_1, S_2, S_3, S_4 可以单独发生,或者 S_a (a 为1或2)和 S_b (b 为3或4)联合发生.

2.2 被眼皮遮挡的虹膜面积的确定

计算的具体步骤如下:

(1) 对图象进行平滑滤波,以减少噪声对寻找眼皮边缘的影响.

(2) 对虹膜灰度图象进行二次微分,并将其转

化为二值图.设图象的灰度分布为 $I(x, y)$,则二次微分的表达式为

$$d(x, y) = \sum_{i,j=-1,0,1} I(x+i, y+j) - 9I(x, y) \quad (3)$$

如果 $d(x, y) > T_d$,则 $d(x, y) = 255$;否则 $d(x, y) = 0$.其中 T_d 是预先设定好的门限值.

(3) 在虹膜区域内,即以 (X_0, Y_0) 为中心、 R 为半径的圆形区域内,用链码搜索方法搜索,搜索的边界必须是以圆形虹膜的边界点为起始点、以另一边界点为结束点且近似于直线或抛物线,并用抛物线对边界进行拟合.

(4) 计算虹膜部分被遮盖的面积 S_5 .

2.3 虹膜不可用部分的总面积计算

总面积由下式确定

$$S = S_a \cup S_b \cup S_5 \quad (4)$$

S_a, S_b 或 S_5 不发生时,则 S_a, S_b 或 S_5 值为0.

不可用的虹膜面积与总虹膜面积比为

$$k = \frac{S}{\pi(R^2 - r^2)} \quad (5)$$

当 $k < T_k$ 时,不可用的虹膜面积在允许范围内,在虹膜识别时,将不可用的虹膜区域剔除掉,不参与特征提取与匹配;否则,不可用的虹膜面积过大,不能用于虹膜识别.

3 虹膜图象清晰度评价

由于瞳孔边沿的陡峭程度往往不同,瞳孔边沿的圆度也不同,所以使用瞳孔边沿最大梯度的均值或用圆形轮廓算子所计算的值来评价虹膜图象聚焦状态(对应于虹膜图象清晰度)是不太准确的.用瞳孔边沿的平均高度 H 来评价虹膜图象的聚焦状态和清晰度,能取得很好的效果.

在虹膜图象中选定几行,每行都穿过瞳孔.对于每一行,可以形成一个灰度曲线.虹膜与瞳孔的颜色相差较大,所以虹膜与瞳孔之间的边沿对应于灰度曲线上明显的跳变边沿.设灰度曲线上的点表示为 I_n .由灰度曲线,经过差分运算,便可以求得灰度差分曲线 (D_n) .差分运算如下:

$$D_0 = 0 \quad (6)$$

$$D_n = I_n - I_{n-1}$$

在灰度差分曲线上, n 个相邻点的(差分累加)为

$$W_n = D_1 + D_1 + \dots + D_n \quad (7)$$

在虹膜检测过程中,已经把瞳孔边沿用圆形来拟合.虽然用圆形拟合的瞳孔边沿未必完全与真实的瞳孔边沿重合,但基本上相差不大,尤其是在瞳孔 $-\pi/6 \sim \pi/6$ 及 $5\pi/6 \sim 7\pi/6$ 区域内.因此,可以确定瞳孔边沿的大致范围.

在瞳孔边沿的大致范围内,从瞳孔区开始,逐点往虹膜区滑动,检测3个相邻像素点的差分累加和 W_3 ,如果某个 W_3 首次大于一个门限值,则把3个像素点中的第1个像素点确定为瞳孔边沿的起始点.继续逐点滑动,并检测3个相邻像素点的差分累加和 W_3 ,直到某个 W_3 小于门限值才结束滑动检测,并把最后那次大于门限值的 W_3 的3个相邻像素点的第3个像素点确定为瞳孔边沿的结束点.计算瞳孔边沿起始点到结束点的灰度累加和 W_m (假设由 m 个像素点组成),即为瞳孔的一个边沿高度.

计算所有选定行的瞳孔边沿高度,求平均值,便得到瞳孔边沿的平均高度 H .

如果 $H > T_H$,则判断该虹膜图象具备足够的聚焦度和清晰度,否则,不能满足虹膜识别的要求.

在检测瞳孔边沿时,采用相邻3个像素点的差分累加和可以增强检测的稳定性,允许边沿上局部的平缓或较小的下降.

4 实验结果

用上述方法对虹膜图象进行了实验,取得了很好的效果.下面是一个具体的例子(图1).图1(a)是一幅 312×232 的虹膜图象的定位结果.虹膜半径 $R=102$ pixels,瞳孔半径 $r=36$ pixels,瞳孔半径与虹膜半径之比为0.35,瞳孔中心相对于虹膜中心的偏心率为0.02.瞳孔的平均灰度 $M=74.1$ (灰度级),其灰度方差 $S=8.6$ pixels,于是 $R_s=S/M=0.12$.图1(b)是眼皮与虹膜的分界线,是曲线拟合后的结果.被虹膜遮盖的面积 $S_s=2988$ pixels,与整个虹膜面积之比 $k=0.10$.图1(c)是水平穿过瞳孔中心的灰度曲线,图1(d)是对应的灰度差分曲线,图1(e)是利用灰度差分累加和的方法寻找到的瞳孔边沿(以虚线表示),其中左边沿高度为73(灰度级),右边沿高度为112(灰度级).在多条穿过瞳孔的灰度曲线上寻到多个瞳孔边沿后,便可以得到瞳孔边沿的平均高度 $H=91.4$ (灰度级).图1(e)中左右边沿高度相差较大,是由于光学照明不均匀的缘故.在均匀照明的情况下,利用瞳孔边沿的平均高度来评价虹膜图象的聚焦状态和清晰度会获得更好的效果.

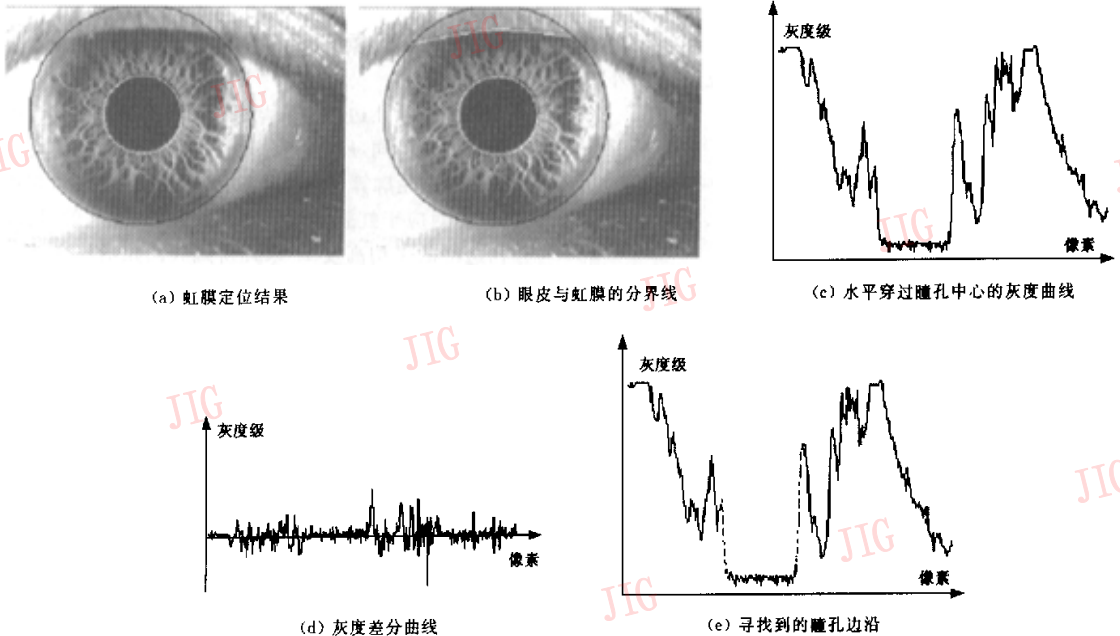


图1 虹膜图象评价方法实验

5 结束语

本文把虹膜图象质量评价分为3个部分:虹膜检测、虹膜不可用面积的确定以及虹膜图象清晰度评价,同时提供了相应的质量评价方法,并在实验中获得了很好的效果。

与国外研究人员在虹膜图象质量评价方面的研究工作相比,本文研究工作的特色在于:(1)首次把虹膜检测、虹膜不可用面积的确定以及虹膜图象清晰度评价等3个方面的内容都归纳于虹膜图象质量评价的框架之内;(2)采用灰度差分累加和的方法计算瞳孔边沿的平均高度,以评价虹膜图象的聚焦状态和清晰度,与文献[1]中的清晰度评价方法相比,该方法不仅速度快,而且更为有效;(3)充分利用虹膜图象的多种特征来检测虹膜,提高了虹膜检测的可信度。

参考文献

- 1 Zhang Guang Hua. Method of selecting the best enroll image for personal Identification[P]. US Patent: 597494, 1999-11-02.
- 2 McHugh, James Timothy, Lee, *et al.* Handheld iris imaging apparatus and method[P]. US Patent: 6289113, 2001-09-11.

- 3 Daugman J G. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence [J]. IEEE Trans. on PAMI. 1993, 15(11):1148~1161.
- 4 Sun Ji Min, Jan Jin Chai. Method for discriminating forgery in iris recognition system[P]. Japan Patent: 298727, 2000-10-24.
- 5 Merrick G M. Personal identification [P]. WIPO Patent: 0101329, 2001-01-04.



何家峰 1970年生,博士.主要研究方向为神经活动可视化研究、图象处理与模式识别。



叶虎年 1938年生,教授,博士生导师.主要研究方向为光谱技术、微机电系统、生命信息检测技术等。

叶妙元 1936年生,教授,博士生导师.主要研究方向为超高压光纤电流电压互感器。