

虹膜定位算法的研究

史春蕾^{1,2} 金龙旭¹

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)¹ (中国科学院研究生院 北京 100039)²

摘 要 虹膜识别系统中的虹膜定位精度和定位速度影响识别系统性能。在分析现有虹膜识别算法的基础上,采用基于 Canny 思想的边缘检测算子提取虹膜图像边缘信息,结合先验知识在小图像块上进行 Hough 变换拟合虹膜内外圆。实验结果表明,该定位方法在保证定位精度的同时有效地提高了定位速度。虹膜区域的噪声包括眼睑、睫毛、眼睑阴影和光斑等,在眼睑定位方面提出了边缘检测结合 Radon 变换分段直线定位去除眼睑噪声的方法,同时采用阈值法去除了睫毛和眼睑阴影对虹膜区域的干扰,并用实验验证了该算法的有效性和准确性。

关键词 虹膜定位,边缘提取,霍夫变换,眼睑定位

中图法分类号 TP391.4 文献标识码 A

Investigation of the Algorithm for Iris Localization

SHI Chun-lei^{1,2} JIN Long-xu¹

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)¹

(Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)²

Abstract The accuracy and speed of iris boundary localization affect recognition system performance in the iris recognition system. Based on analyzing some prevailing iris recognition algorithms, the edge information of the iris image was extracted by the edge detection operator which is based on Canny's thought, iris inner circle and outer circle were localized by Hough transform within the small block images by incorporating prior knowledge, and experimental result shows that this localization method improves the boundary localization speed and it also ensures the localization accuracy. The yawp from iris region includes the eyelid, eyelash, eyelid shadow and specular reflections. The segmental-secondary linear localization method adopting edge detection and Radon transform was proposed to remove the interference from the eyelid on the eyelid localization, the eyelash yawp and eyelid shadow were removed by threshold method, and experimental result shows that the algorithm is efficient and accurate.

Keywords Iris localization, Edge extraction, Hough transform, Eyelid localization

虹膜识别是一种安全、可靠的生物特征识别技术,通过有效的特征提取方法对人眼虹膜图像提取纹理特征,然后与已注册身份模板比对进行身份认证。虹膜纹理细节丰富,具有唯一性、稳定性、可采集性和非侵犯性等优点,与其它的生物特征识别方法相比较,虹膜识别的识别率是最高的^[1]。

虹膜识别技术由虹膜图像采集、定位、特征提取及匹配等环节组成。其中,虹膜定位是虹膜识别的关键性环节,定位准确与否将直接影响最终识别结果,而虹膜定位又包括虹膜内外圆的定位以及眼睑、睫毛、光斑等噪声的去除。图 1 示出人眼结构。

目前国内外的虹膜识别系统中,比较通用的算法有 Daugman 提出的微积分方法^[2]和 Wildes 提出的边缘检测结合 Hough 变换方法^[3]。微积分方法的定位精度高,但计算量大,耗时多,同时易受噪声影响导致定位失败;而 Hough 变换方法受噪声和边界间断的影响非常小,定位精度高,是一种很好的定位虹膜边界方法,但由于它是在三维空间搜索参数,同

样有计算量大耗时多的问题。

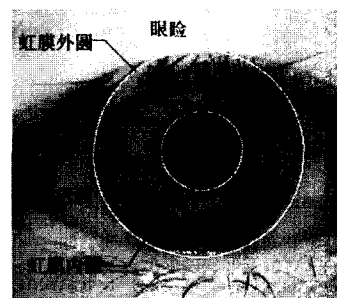


图 1 人眼结构图

为提高计算速度同时保证较高的定位精度,采用基于 Canny^[4,5]思想的边缘检测算子提取虹膜图像边缘信息,结合先验知识在小图像块上进行 Hough 变换拟合虹膜内外圆,减小了 Hough 变换的参数搜索范围,有效提高了计算速度。在眼睑定位方面提出了边缘检测结合 Radon^[6]变换分段直线定位去除眼睑噪声的方法,实验结果表明,该方法定位精度高

到稿日期:2009-10-30 返修日期:2010-01-20 本文受国家 863 高技术研究发展计划项目(No. 863-2-5-1-13B)资助。

史春蕾(1983—),女,博士生,主要研究方向为图像处理,E-mail: scl-83218@163.com;金龙旭(1965—),男,博士生导师,主要研究方向为航天光电有效载荷电控系统、各种可见光探测器驱动及图像处理等。

度快,最后采用阈值法去除了睫毛和眼睑阴影对虹膜区域的干扰。

1 虹膜内外圆定位

1.1 边缘检测

边缘检测算子对噪声有一定的敏感性,因此在提取边缘前需要对图像进行滤波处理来减小噪声的影响。利用高斯函数对图像进行平滑滤波,能够在过滤噪声的同时,很好地保护目标的轮廓信息^[7]。

二维高斯滤波器的响应函数为:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\delta^2}} \quad (1)$$

式中, (x_0, y_0) 是高斯函数的中心, δ 是标准方差。将虹膜图像和高斯函数卷积得到平滑后图像 $I(x, y)$, 如图 2 所示。

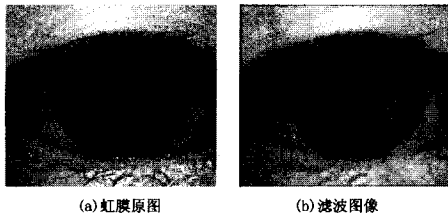


图 2 虹膜图像及高斯滤波结果

由于 Canny 算子的边缘检测方法具有不丢失重要的边缘、不含虚假的边缘、实际边缘与检测到的边缘位置之间的偏差最小且边缘检测的精度可以通过参数设置以适应不同类别的图像等优点,因此本文采用 Canny 思想进行边缘检测。具体算法如下。

1) 对于图像 $I(x, y)$, 采用式(2)计算边缘梯度信息 $Grad(x, y)$, 其中 α, β 为加权系数, 当 $\alpha=1, \beta=0$ 时表示图像水平方向的梯度, 当 $\alpha=0, \beta=1$ 时表示图像垂直方向的梯度;

$$\begin{cases} h(x, y) = I(x+1, y) - I(x-1, y) \\ v(x, y) = I(x, y+1) - I(x, y-1) \\ d_1(x, y) = I(x+1, y+1) - I(x-1, y-1) \\ d_2(x, y) = I(x-1, y+1) - I(x+1, y-1) \\ X(x, y) = h(x, y) + (d_1(x, y) + d_2(x, y))/2 \\ Y(x, y) = v(x, y) + (d_1(x, y) - d_2(x, y))/2 \\ Grad(x, y) = \sqrt{\alpha X^2(x, y) + \beta Y^2(x, y)} \end{cases} \quad (2)$$

2) 采用式(3)进行梯度归一化;

$$\begin{cases} \text{MinG} = \min(Grad(x, y)) \\ \text{MaxG} = \max(Grad(x, y)) \\ G(x, y) = (G(x, y) - \text{MinG}) / (\text{MaxG} - \text{MinG}) \end{cases} \quad (3)$$

3) 设 T_1 和 T_2 为二值化阈值, $T_1 > T_2$, (x', y') 为点 (x, y) 的 δ 邻域内的点, 那么二值边界图像为:

$$B(x, y) = \begin{cases} 1 & Grad(x, y) > T_1 \text{ 或 } Grad(x, y) > T_2 \text{ 且 } \exists Grad(x', y') > T_1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

1.2 Hough 变换

Hough 变换是标准的计算机视觉算法, 适于检测已知形状的目标, 如直线、圆、抛物线等。对于边缘清晰、能够通过边缘提取和二值化获得明显边界的目标, 其定位精度高, 受噪声

和曲线间断的影响较小, 对局部光源亮点不敏感, 即使在噪声较大的图像上仍然可以对目标进行检测。圆 Hough 变换的原理如下:

设经过边缘提取后图像上所有的边界点为 (x_j, y_j) , $j=1, \dots, n$ 。Hough 定义为:

$$H(x_c, y_c, r) = \sum_{j=1}^n h(x_j, y_j, x_c, y_c, r) \quad (5)$$

式中, $h(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = \begin{cases} 1 & \text{if } g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$ 。其

中, $g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = (x_j - x_c)^2 + (y_j - y_c)^2 - r^2$ 。

对于每个边界点 (x_j, y_j) , 如果有 $g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = 0$, 说明由参数 (x_c, y_c, r) 确定的圆周通过了边界点 (x_j, y_j) 。这样对应于最大值的 H 表示由它确定的圆经过的边界点最多, 是最有可能表示待检测圆周边界的。

Hough 变换定位边界相当于对边界参数进行投票, 如果图像中所有的边界点都参与投票, 而且参数的候选范围较大时, 实时性差。为提高 Hough 变换定位虹膜边界的快速性可从两个方面来考虑: 1) 减少边界点个数; 2) 缩小参数候选范围。本文通过有效运用虹膜库的先验知识和比例缩小虹膜图像来提高定位速度。

1.3 算法实现

1) 根据先验知识, 确定虹膜内外圆的半径范围。实验采用了中科院自动化所提供的 CASIA 1.0 虹膜图像数据库^[8], 其内圆半径范围是 $[30, 70]$, 外圆半径范围是 $[80, 140]$ 。

2) 虹膜外圆定位: 将高斯平滑后的图像按 40% 比例缩小。由人眼的几何特征可知, 虹膜的上、下两侧容易受眼睑和睫毛遮挡, 因此边缘图像中的有效信息主要分布在虹膜外边缘的左、右两侧。对缩小眼图采用式(2)一式(4)提取垂直方向的边缘梯度信息, 在外圆半径范围内进行 Hough 圆拟合, 得到外圆的圆心 (x_i, y_i) 和半径 r_i , 定位结果如图 3(c) 所示。

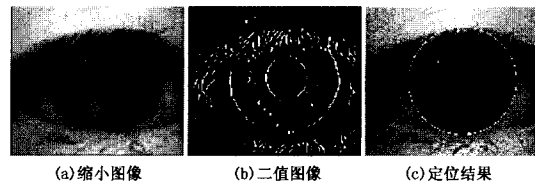


图 3 虹膜外圆定位

3) 虹膜内圆定位: 由于瞳孔始终在虹膜区域内, 将内圆定位的搜索范围局限在外圆参数确定的矩形范围内, 设虹膜图像 $I(x, y)$, 则待定位图像是 $I[(y_i - r_i): (y_i + r_i), (x_i - r_i): (x_i + r_i)]$, 如图 4(a) 所示, 将该图像按 60% 比例缩小, 由式(2)一式(4)提取水平和垂直方向的边缘信息, 在内圆半径变化范围内进行 Hough 圆拟合, 得到瞳孔的圆心 (x_p, y_p) 和半径 r_p , 定位过程如图 4 所示。

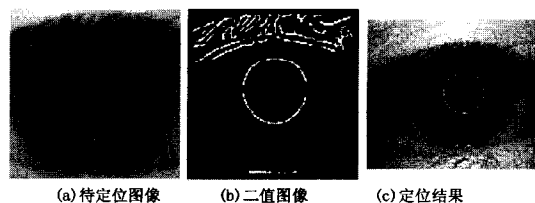


图 4 虹膜内圆定位

2 噪声检测

虹膜图像的有效部分是虹膜环形区域的纹理特征,而经过内外圆定位的虹膜环形区域却包含有上下眼睑、眼睑阴影、睫毛、光斑等噪声,这些干扰如果不消除,而作为真实信号看待,必然造成虹膜特征的错误表示^[9],最终导致虹膜识别系统的错误拒绝率增大。

2.1 眼睑定位

眼睑对虹膜区域的干扰很大,目前检测眼睑的方法主要有两大类:采用 Hough 变换^[3]或者微积分算子^[2]方法进行抛物线拟合定位上下眼睑和直线定位眼睑。圆弧检测法定位精度高,计算量大,直线检测法定位精度低,速度快。为保证定位精度提高定位速度,本文提出了边缘检测结合 Radon 变换方法分段直线定位上下眼睑。具体算法为:

1)根据人眼图像几何特征,眼睑分布在虹膜的上下两侧,按瞳孔中心将眼睑区域分成4个部分进行定位,如图5(a)所示。

2)由于眼睑轮廓主要在水平方向上,则在每个小图像块内由式(2)一式(4)提取水平方向边缘信息,然后进行 Radon 变换拟合直线,将噪声部分的像素值设为 Nan,定位结果如图5(b)所示。

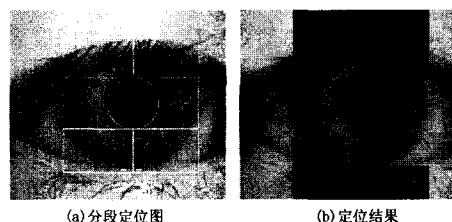


图5 眼睑定位图

2.2 其它噪声去除

和虹膜区域其它点的灰度相比,睫毛和眼皮阴影具有灰度值偏低的特点,可直接采用阈值法去除睫毛和眼皮阴影的干扰。算法如下:

$$eyeimage(x, y) = nan \text{ if } eyeimage(x, y) \leq \mu \quad (6)$$

式中, μ 是阈值, $eyeimage(x, y)$ 是经过内外圆和眼睑定位的虹膜图像。

由于实验采用的是 CASIA 1.0 虹膜库,虹膜图像没有光斑噪声的干扰。

3 仿真结果

实验使用了中科院自动化所提供的 CASIA 1.0 虹膜图像数据库,该数据库包括 108 只眼睛的虹膜图像,每只眼睛分两阶段采集 7 个样本,共 756 幅图像,分辨率是 320×280 。用 MATLAB 7.6 对 756 幅虹膜图像进行了定位,其中虹膜内外圆的定位准确率达 96.78%,眼睑定位速度显著提高,部分仿真结果如图 6 所示。眼睑定位方面本文算法和微积分算子拟合抛物线方法的比较如表 1 所列。

表1 眼睑定位结果比较

	平均时间/s	最快时间/s	最慢时间/s
文献[2]	5.9324	7.6311	4.3127
本文	0.1537	0.1913	0.1030

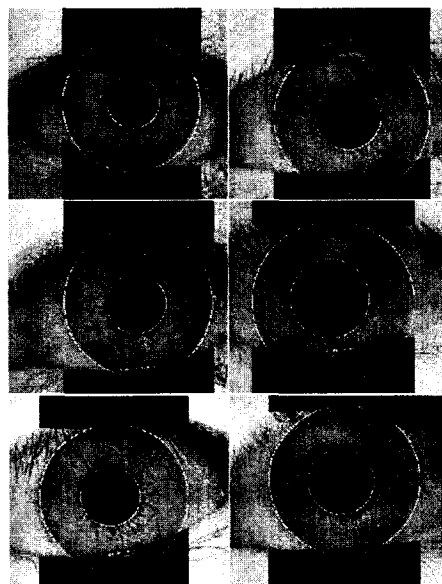


图6 部分实验结果

结束语 本文通过有效运用虹膜库的先验知识和在小图像块上进行参数搜索的方法,减少了虹膜定位的计算量,取得了较高的定位精度;提出的眼睑分段直线定位方法在计算速度和精度方面都取得了较好的效果。但由于采用了 Hough 拟合方法,仍然存在计算量大的问题,考虑到虹膜内圆边界的梯度变化较大,可以在内圆定位方面采用诸如几何方法、最小二乘法^[10]等定位方法来提高定位速度。

参考文献

- [1] Jain A K, Bolle R, Pankanti S, et al. Biometrics: Personal identification in networked society[M]. New York: Amsterdam: Kluwer Academic Publisher, 1999: 103-121
- [2] Daugman J. 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 IEEE, 1997, 85(9): 1348-1363
- [4] Canny J A. Computational approach to edge detection[J]. IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698
- [5] Fleck M M. Some defects in finite-difference edge finders[J]. IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(3): 337-345
- [6] 冈萨雷斯. 数字图像数理(MATLAB版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 296-304
- [7] 田启川, 潘泉, 程永梅, 等. 不同光照下的虹膜边界定位研究[J]. 光电子·激光, 2006, 17(4): 488-492
- [8] 中国科学院自动化研究所. CASIA 虹膜图像数据库[EB/OL]. <http://www.sinobiometrics.com>
- [9] 张德馨. 虹膜图像的预处理[D]. 中国科学院自动化研究所, 2003: 38
- [10] 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
- [11] Kovesi P. MATLAB Functions for computer vision and image analysis[EB/OL]. <http://www.cs.uwa.edu.au/~pk/Research/MatlabFns/index.html>