

文章编号 1004-924X(2010)10-2306-08

应用迭代圆环像素率法实现快速虹膜定位

程宇奇^{1,2}, 朱明¹, 李桂菊¹, 葛微^{1,2}, 陈彦平³

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 130039; 3. 长春工业大学电气与工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要:针对虹膜定位易受噪声影响、速度慢、自适应性差等问题,提出了基于迭代圆环像素率法的快速虹膜定位算法。提出的定位算法包括切割虹膜图像、Hough圆检测粗定位、微积分算子精定位3个部分,从切割虹膜图像、图像抽样、迭代圆环像素率法、快速Hough圆检测以及分层定位思想5方面提高算法的速度。提出了缩小半径范围的迭代圆环像素率法以及消除瞳孔光斑的形态学方法,瞳孔分割阈值以及小范围的圆心、半径候选集等参数都是通过计算得到,自适应性好。使用4个虹膜数据库进行实验,并与相近算法进行了对比。实验结果表明,该算法的定位准确率为97.75%~99.07%,定位时间为52.847~158.502 ms,是一种鲁棒、快速、自适应的虹膜定位算法。

关键词:虹膜定位;微积分算子;Hough变换;迭代圆环像素率法;瞳孔光斑消除

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101810.2306

Rapid iris localization based on method of iterative pixel ratio to cirque area

CHENG Yu-qi^{1,2}, ZHU Ming¹, LI Gui-ju¹, GEI Wei^{1,2}, CHEN Yan-ping³

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*; 2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*; 3. *School of Electric & Electronic Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China*)

Abstract: Aimed at the problems of noise influence, high time consumption and bad adaptive performance for iris localization, a rapid iris localization algorithm based on the method of iterative pixel ratio to cirque area is proposed. The proposed method is composed of 3 parts: cutting iris image, coarse localization by circle detection of the Hough transformation and the precise localization by an integrodifferential operator. The methods of cutting the iris image, image sampling, iterative pixel ratio to cirque area, rapid circle detection of the Hough transformation and the layered localization theory are used to improve the algorithm speed. The method of iterative pixel ratio to cirque area is put forward to reduce the radius range, and the morphological method is used to eliminate the pupil faculae. The threshold of pupil segmentation, small-range candidates of circle centre and radius, etc. are all obtained by the computation with good adaptive performance. Finally, four iris databases are applied in

收稿日期:2009-11-10;修订日期:2010-03-01.

基金项目:国家863高技术研究发展计划资助项目(No. 2005AA778032)

the experiments, and experimental results are compared with other algorithms. The results show that the accuracy of the proposed algorithm is 97.75%~99.07% and the time consumption is 52.847~158.502 ms. The experiments prove that the proposed method is a robust, rapid, adaptive iris localization algorithm with good comprehensive performance.

Key words: iris localization; integrodifferential operator; Hough transformation; method of iterative pixel ratio to cirque area; pupil faculae elimination

1 引 言

相对于密码、身份证等传统身份识别方法,基于生物特征的身份鉴别技术由于其稳定、便捷、不易伪造等优点而备受青睐,而且随着科技的发展越来越成熟。生物特征识别主要有指纹识别^[1]、人脸识别^[2-3]、虹膜识别^[4]等,由于虹膜具有唯一性、稳定性、非侵犯性、天然防伪性等生理方面的优势使得虹膜识别在准确率、错误率等方面的性能指标都优于其它生物特征识别技术,在国际上已成为模式识别的研究热点。

虹膜定位是虹膜识别的关键环节,虹膜定位的优劣直接影响整个虹膜识别系统的性能,由于虹膜定位是最耗时的一个环节,因此虹膜定位的准确性、快速性成为关注的焦点。传统的虹膜定位算法中最具有代表性的是 Daugman 的微积分算子^[5-7]和 Wildes 的边缘检测加 Hough 变换的两步法^[8]。这两种定位算法都具有定位速度慢的缺点,许多研究者通过减小圆心与半径候选集的方法来提升了算法的速度,但大多通过先验知识^[9-10],不具备自适应的特点。本文提出的虹膜定位算法结合了 Hough 圆检测的良好抗噪性能与微积分算子准确性高的优点,通过 5 方面的改进提升了算法的速度,并最小化先验参数的设置,是一种鲁棒、快速、自适应的虹膜定位算法。

2 虹膜定位算法

2.1 微积分算子

Daugman 博士提出了微积分算子,非常适用于虹膜内、外圆的定位,其计算公式为:

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

$$G_\sigma(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma^2}},$$

其中: $G_\sigma(r)$ 是一个尺度为 σ 的高斯函数,起平滑滤波的作用; $I(x, y)$ 是灰度图像;式中曲线积分的路径是圆心为 (x_0, y_0) ,半径为 r 的圆。此微积分算子实际上是通过在半径的梯度方向上搜索圆周变化的最大值的方法来进行圆检测的。

2.2 边缘检测结合 Hough 变换

Wilds 提出了边缘检测加 Hough 变换的两步虹膜定位方法。首先进行边缘检测,其算子为

$$|\nabla G(x, y) * I(x, y)|,$$

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

其中: $I(x, y)$ 是需进行边缘检测的灰度图像; $G(x, y)$ 是以 (x_0, y_0) 为中心,尺度为 σ 的二维高斯函数,起到平滑作用; ∇ 为梯度符号。然后进行 Hough 变换,实际上是通过边缘点的投票来确定虹膜的圆形边界参数,Hough 变换圆检测定义为:

$$H(x_c, y_c, r) = \sum_{i=1}^n h(x_i, y_i, x_c, y_c, r),$$

$$h(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = \begin{cases} 1, & g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = 0 \\ 0, & g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) \neq 0 \end{cases},$$

$$g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - r^2, \quad (3)$$

其中: $H(x_c, y_c, r)$ 是圆心为 (x_c, y_c) ,半径为 r 的圆投票累加器; (x_i, y_i) 为边缘点。

2.3 两种定位算法的特点

微积分算子的优点是在灰度图像上运算即可,定位准确性好;其缺点是光源形成的光斑对定位精度影响较大,并且计算速度慢。

边缘检测加 Hough 变换的两步虹膜定位方法的优点是采用投票的方式,其抗噪声干扰的能力良好;其缺点是二值化阈值对定位结果的影响较大,并且需要建立一个圆心和半径的三维累加器进行投票,所以计算量及存储空间的开销

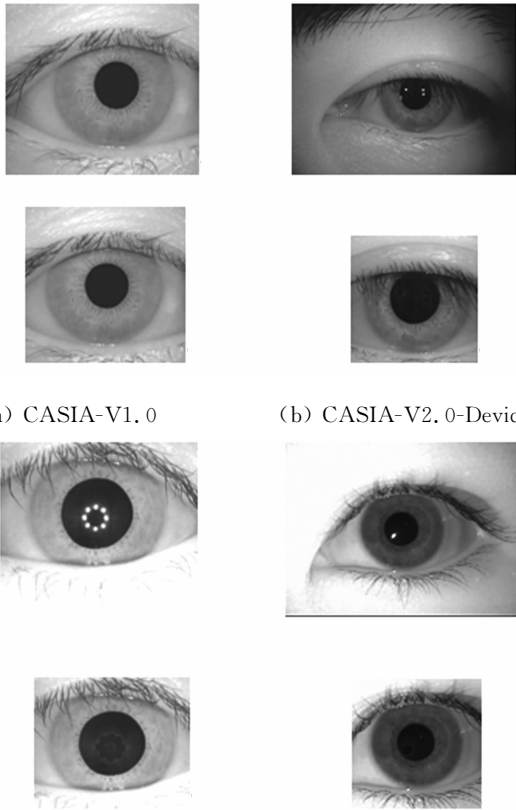
都很大。

许多研究者通过减小圆心与半径候选集的方法来提升了算法的速度,但大多通过先验知识^[9-10],不具备自适应的特点。本文的虹膜定位算法结合了 Hough 圆检测的良好抗噪性能与微积分算子准确性高的优点,通过 5 方面的改进提升了算法的速度。

3 提高定位速度的方法

3.1 切割虹膜图像

一般情况下,数据库的眼睛图像中虹膜外的无用区域在图像中的比重过大,更为严重的是一些眼睛图像中还有眉毛、头发、阴影等噪声,对虹膜定位的影响很大,因此切割虹膜图像,去除这些区域,不但非常有利于虹膜的定位,而且可以提高算法的运算速度,图 1 为 4 个数据库的切割虹膜图像的结果。



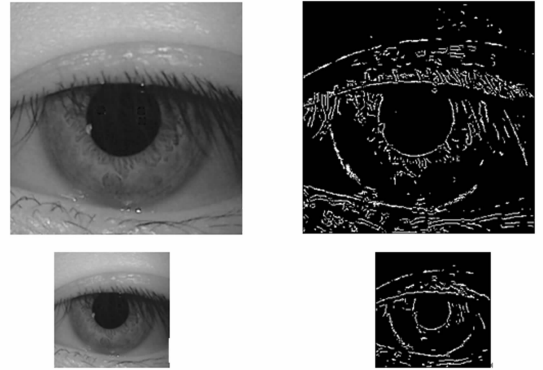
(a) CASIA-V1.0 (b) CASIA-V2.0-Device1

(c) CASIA-V3.0-Interval (d) MMU-V1

图 1 4 个数据库中的切割虹膜图像的结果
Fig. 1 Results of deleting useless area of iris images from 4 databases

3.2 虹膜图像的抽样

虹膜图像中的纹理、睫毛等的细节信息对虹膜定位来说是不利的,抽样不但可以有效地减少这些细节,还增强了虹膜边界,非常有利于虹膜定位,如图 2 所示。另外,抽样使得图像的数据量成指数倍地缩减,会大大提升算法的运算速度。



(a)原图 (b)Canny 边缘提取结果

(a)Original images (b)Canny edge images

图 2 原图像及抽样图像的 Canny 边缘提取结果
Fig. 2 Edge images by Canny operator for original image and its sampling image

3.3 迭代的圆环像素率法

本文通过迭代的圆环像素率法来缩小半径范围,具体步骤如下:

(1)将圆环分为如图 3 所示的面积相等的 3 部分,其半径参数的计算公式为:

$$\begin{cases} R_{mid} = \sqrt{(R_{inner}^2 + R_{outer}^2)}/2 \\ R_{midinner} = (3R_{mid}^2 + R_{inner}^2)/4R_{mid} \\ R_{midouter} = (5R_{mid}^2 - R_{inner}^2)/4R_{mid} \end{cases} \quad (4)$$

其中: R_{inner} 和 R_{outer} 为初始的圆环内外半径参数。

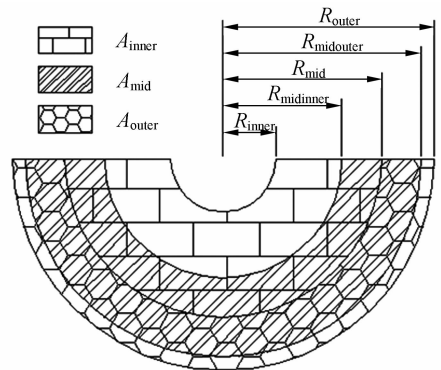


图 3 圆环分区示意图

Fig. 3 Sketch map of cirque dividing

(2)计算这 3 个圆环中边缘图像的像素数目

以及面积,相除得到圆环像素率,从而求得最大的圆环像素率,并将其所在区域的内外半径值赋值给 R_{inner} 和 R_{outer} 进行迭代;

(3)若 $R_{outer} - R_{inner} > T$ (T 为设定的半径范围),转入步骤(1);否则停止运算。最终的 R_{inner} 和 R_{outer} 即为所求半径范围的最小值与最大值。

3.4 快速 Hough 圆检测

针对基本 Hough 圆检测计算量及存储空间大的缺点,本文采用了快速 Hough 圆检测算法^[11],只需要建立一个二维的累加器以及一个一维的直方图,不但提升了算法的运算速度,而且极大地节省了存储空间,具体步骤为:

(1)在边缘提取过程中获得边缘梯度信息,梯度方向角 θ_i 的计算公式为:

$$\tan \theta_i = \frac{\text{grad}Y(x_i, y_i)}{\text{grad}X(x_i, y_i)}, \quad (5)$$

其中: $\text{grad}Y(x_i, y_i)$ 表示垂直方向边缘点的梯度, $\text{grad}X(x_i, y_i)$ 表示水平方向边缘点的梯度。

(2)对于半径范围内的每一个半径 r ,将所有边缘点 (x_i, y_i) 按照:

$$x_c = x_i - r \cdot \cos \theta_i, \quad y_c = y_i - r \cdot \sin \theta_i, \quad (6)$$

对圆心累加器进行投票,累加器的最大值所对应的圆心作为此半径 r 对应的圆心,这样就建立了半径与圆心一一对应的关系。

(3)通过半径及其圆心对应的圆周像素数目建立一个半径直方图,通过 Bresenham 算法得到圆周近似的离散点数来归一化,归一化后的最大值所对应的半径及其圆心即为所求。

3.5 分层定位

本文对最后一步微积分算子精定位采用了分层定位的思想,即先在抽样图像上定位,根据其计算结果再在原分辨率图像上定位,这样可以在保证精度的同时以小的运算量搜索一个相对大的范围,提升了算法的速度。

4 虹膜定位算法的实现

本文的虹膜定位算法结合了 Hough 圆检测的良好抗噪性能与微积分算子准确性高的优点,通过许多改进方法提升算法的运算速度,最小化参数的设置,是一种鲁棒、快速、自适应的虹膜定位算法,其框图如图 4 所示,图 5 显示了整个算法的定位过程。

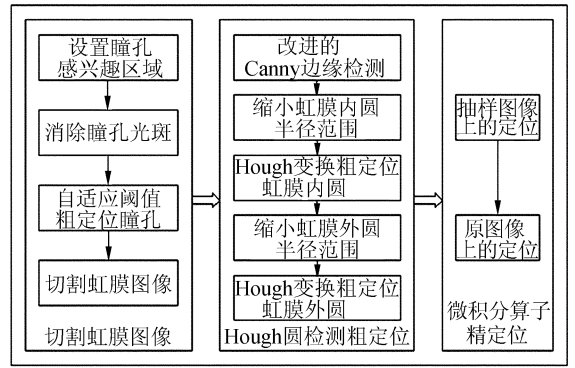


图 4 虹膜定位算法框图

Fig. 4 Block diagram of iris localization algorithm

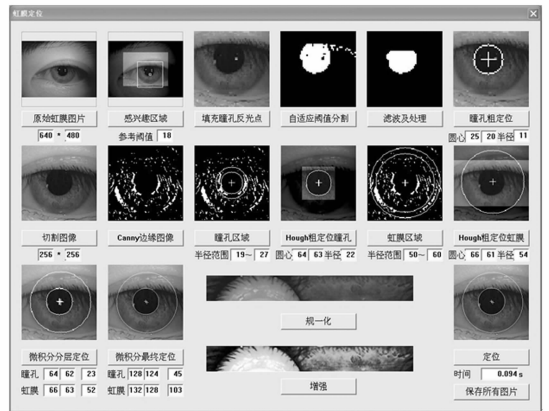


图 5 虹膜定位过程

Fig. 5 Process of iris localization

4.1 分块法设置瞳孔感兴趣区域

按照最小瞳孔半径来确定块宽度,对中间区域进行分块,找到灰度均值最小的一块,则能够定位在瞳孔中,根据该块的位置设置瞳孔感兴趣区域(Region of Interest, ROI),如图 6 所示。

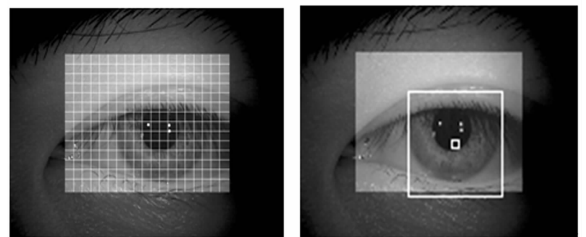


图 6 瞳孔感兴趣区域设置过程

Fig. 6 Pupil ROI

4.2 瞳孔分割自适应阈值的获得

瞳孔分割的阈值是通过分块法获得的最小块灰度均值加一定的灰度值来确定的,这个增加的

灰度值按照不同虹膜库中瞳孔灰度分布的不同情况来设置,按实验结果确定一个大致的数值即可,如 CASIA-V1.0 中为 10,CASIA-V2.0 中为 8。

4.3 形态学的方法消除瞳孔光斑

自适应阈值分割瞳孔,并通过形态学开、闭运算填充洞、滤毛刺,形成非瞳孔区域模板 1;使用灰度值为 200 的高阈值分割原图像,再膨胀后获



(a) 模板 1

(a) Mask 1



(b) 模板 2

(b) Mask 2



(c) 模板 3

(c) Mask 3

图 7 消除瞳孔光斑过程

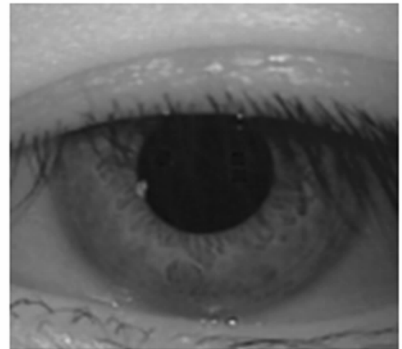
Fig. 7 Process of pupil faculae elimination

得高光模板 2;将模板 1 用于模板 2 来去除非瞳孔区域的高光点,得到瞳孔光斑模板 3;最后用它来填黑原灰度图像,过程如图 7 所示。消除瞳孔光斑的结果一般即可,足已消除由采集设备所形成的光斑对粗定位瞳孔的影响。

4.4 Canny 算子的改进

标准的 Canny 算子包括 4 个步骤:(1)使用高斯滤波器平滑图像;(2)利用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向;(3)对梯度幅值进行非极大值抑制;(4)使用高阈值来检测强边缘,低阈值来连接边缘。

标准的 Canny 算子^[12]能够提取高质量的单边缘图像,如图 8(b)所示,而本文只是为 Hough 圆检测提供候选集点,因此边界图像提取的质量并不重要,反而边缘图像中虹膜内外圆的边界点所占比重越大,越有利于 Hough 圆检测的结果。为了更有利于虹膜定位,对 Canny 算子进行了两点改进:(1)只对垂直方向进行非极大值抑制,得到水平方向单边缘,其它方向多边缘的图像,如图 8



(a) 原图像

(a) Original image



(b) 标准 Canny 边界图像

(b) Standard Canny edge image



(c) 垂直方向非极大值抑制

(c) Non-max suppression at vertical direction



(d) 腐蚀后的图像

(d) Eroded image

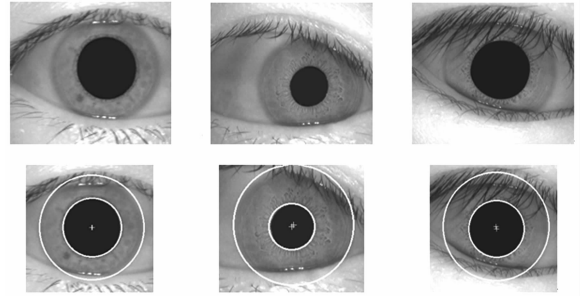
图 8 标准的和改进的 Canny 算子对比

Fig.8 Comparison of standard and improved Canny operators

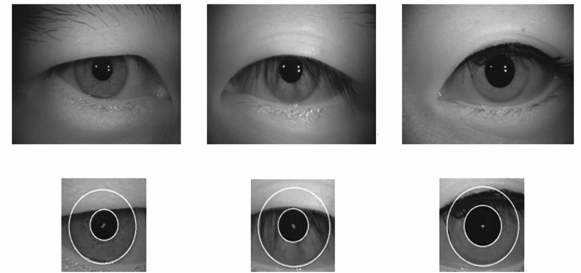
(c)所示,在形态学腐蚀运算之后,就滤除了大部分水平方向眼睑以及虹膜纹理的细节,并保留了垂直方向的虹膜内外圆的大部分边界,如图 8(d)所示,从而提高了虹膜内外圆在边缘图像中的比重;(b)由于不需要细节信息,因此只采用高阈值的单阈值算法来检测强边缘,既不影响 Hough 圆检测的结果,又能加快算法的运算速度。

5 实验结果

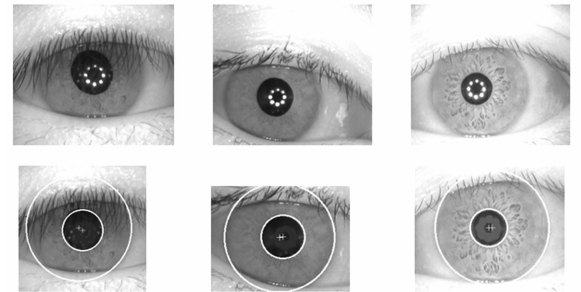
为了验证本文算法的性能,使用 Visual C++ 6.0 与 OpenCV 编程环境,在配置为 AMD Athlon64 X2 5000+ 2.60 GHz CPU、1.75 G 内存的微机中,对中国科学院自动化研究所 CASIA^[13]3 个版本以及马来西亚多媒体大学 MMU-V1.0 版本^[14]共 4 个虹膜数据库进行了实验。定位的部分图像如图 9 所示。



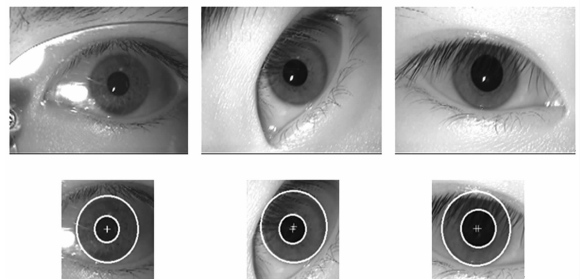
(a) CASIA-V1.0



(b) CASIA-V2.0-Device1



(c) CASIA-V3.0-Interval



(d) MMU-V1

图 9 虹膜定位结果

Fig.9 Iris localization results

图 9 显示了 4 个数据库中有眼睑、睫毛遮挡、化妆、位置严重偏移、光照变化、旋转、戴眼镜等情况的虹膜定位结果。由于 4 个数据库的虹膜采集

设备与成像质量均不相同,具有普遍性,足以证明本文定位算法的鲁棒性;表 1 显示了本文虹膜定位算法的实验结果,从中可以看出,虹膜图像大小不能对算法速度起决定性作用,实际上消除瞳孔光斑环节对最后定位时间影响较大。4 个数据库定位时间最长的只有 158.052 ms,而 CASIA-V1.0 虹膜数据库的定位时间仅为 89.947 ms,说明本算法已步入当今快速定位算法的行列。

表 1 虹膜定位算法实验结果

Tab.1 Experimental results of iris localization algorithm

虹膜库	图像数目	图像大小	定位准确率/%	平均定位时间/ms
CASIA-V1.0	756	320×280	99.07	89.947
CASIA-V2.0-Device1	1 200	640×320	97.75	110.637
CASIA-V3.0-Interval	2 641	320×280	98.56	158.502
MMU-V1	450	320×240	98.4	52.847

文献[9]使用了一种改进的 Hough 变换的方法进行虹膜定位,定位准确率为 98.90%;文献[15]通过对图像抽样来提升算法速度,最后使用 Canny 算子和 Hough 变换实现虹膜定位,定位准确率为 99.47%。

两个文献所使用的图像均来源于 CASIA-V1.0 数据库,其算法在某些方面与本文算法具有相似性,因此与本文的算法具有一定的可比性。两文献算法的定位准确率同本文相当,但是只给

出了 CASIA-V1.0 虹膜图像数据库的实验结果,而该库中的虹膜样本在瞳孔部分作了填充黑像素处理,使得定位更加容易,不太适合做定位算法的研究,所以无法证明两种算法的广泛适应性及鲁棒性;另外,文献[9]通过先验知识来减小圆心与半径的候选集,不具备自适应的特点。而本文算法在 4 个不同图像质量的虹膜数据库中得到了验证,是一种快速、鲁棒、自适应的虹膜定位方法。

6 结 论

本文的定位算法通过形态学的方法消除瞳孔光斑以去除其对虹膜定位的影响;提出了迭代的圆环像素率法来缩小半径范围,再结合切割虹膜图像、对图像抽样、快速的 Hough 圆检测以及分层定位思想极大地提高了算法的运算速度;使用分块法得到了瞳孔分割的自适应阈值,而且小范围的圆心和半径的候选集完全是通过计算得到,从而最小化了参数的设置,自适应性好。使用了 4 个虹膜数据库进行实验,并与相近方法进行了对比。实验结果表明,该算法的定位准确率为 97.75%~99.07%,定位时间为 52.847~158.502 ms,是一种鲁棒、快速、自适应的虹膜定位算法。

致谢 感谢中国科学院自动化研究所免费提供的 CASIA 虹膜图像数据库以及马来西亚多媒体大学免费提供的 MMU 虹膜图像数据库,使得本课题得以顺利开展。

参考文献:

- [1] 罗菁,林树忠,詹湘琳,等. 基于 2DPCA 和 EBFNN 的指纹识别方法[J]. 光学 精密工程,2008,16(9):1773-1780.
LUO J, LIN SH ZH, ZHAN X L, et al.. A novel fingerprint recognition algorithm based on 2DPCA and EBFNN [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(9):1773-1780. (in Chinese)
- [2] 王玮,黄非非,李见为,等. 使用多尺度 LBP 特征描述与识别人脸[J]. 光学 精密工程,2008,16(4):696-705.
WANG W, HUANG F F, LI J W, et al.. Face description and recognition using multi-scale LBP feature [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(4):696-705. (in Chinese)
- [3] 杨利平,龚卫国,李伟红,等. 随机采样子空间保局投影人脸识别算法[J]. 光学 精密工程,2008,16(8):1465-1470.
YAN L P, GONG W G, LI W H, et al.. Random sampling subspace locality preserving projection for face recognition [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(8):1465-1470. (in Chinese)
- [4] 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.
WANG Y H, ZHU Y, TAN T N. Biometrics personal identification based on iris pattern [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2002,28(1):1-10. (in Chinese)

- [5] DAUGMAN J. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence [J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993,15(11):1148-1161.
- [6] DAUGMAN J. How iris recognition works [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004,14(1): 21-30.
- [7] DAUGMAN J. High confidence recognition of persons by their iris patterns [C]. *Proceedings of the 2004 Chinese Conference on Biometric Recognition, Guangzhou, P. R. China*, 2004,3338:5-25.
- [8] WILDES R P. Iris recognition: an emerging biometric technology [J]. *IEEE*,1997,85(9):1348-1363.
- [9] 刘洋,李霞,王娜,等. 基于特定感兴趣区采样的虹膜定位改进算法[J]. *光子学报*,2008,37(6):1277-1280.
- LIU Y, LI X, WANG N, *et al.*. An improved iris location algorithm based on sampling to special regions of interesting (ROI) [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008,37(6):1277-1280. (in Chinese)
- [10] 刘爱林,王修信,王永军. 基于圆环逼近的虹膜定位方法[J]. *工程图学学报*,2008,29(3):105-108.
- LIU A L, WANG X X, WANG Y J. Iris location method based on circular arcs approximation [J]. *Journal of Engineering Graphics*, 2008,29(3): 105-108. (in Chinese)
- [11] DAVIES E R. A modified Hough scheme for general circle location [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1988,7(1):37-44.
- [12] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, 8(6): 679-698.
- [13] Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. CASIA iris databases [DB/OL]. <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>.
- [14] Multimedia University. MMU iris database [DB/OL]. <http://phoenix.inf.upol.cz/iris>.
- [15] 王云新,刘铁根,江俊峰. 基于图像抽样的快速虹膜定位算法[J]. *光电工程*,2008,35(9):122-126.
- WANG Y X, LIU T G, JIANG J F. Rapid iris localization algorithm based on image sampling[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2008, 35(9): 122-126. (in Chinese)

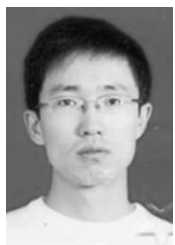
作者简介:



程宇奇(1977—),女,吉林长春人,博士,1999年于吉林工学院获得学士学位,2010年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获博士学位,主要从事数字图像处理、模式识别等方面的研究。E-mail: tkgg-cyq@sohu.com



葛微(1982—),女,吉林柳河人,博士,2005年于东北师范大学获得学士学位,2010年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获博士学位,主要从事数字图像处理、模式识别等方面的研究。E-mail: geweciomp@163.com

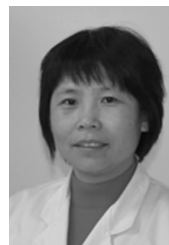


陈彦平(1977—),男,吉林舒兰人,1999年于吉林工学院获得学士学位,主要从事数字图像处理方面的研究。E-mail: chenyanping@mail.ccut.edu.cn

导师简介:



朱明(1963—),男,江西南昌人,研究员,博士生导师,1985年于南京航空航天大学获得学士学位,1991年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事视频图像处理、自动目标识别及成像目标跟踪等方面的研究。E-mail: zhu_mingca@163.com



李桂菊(1964—),女,吉林人,研究员,硕士生导师,1985年于吉林大学获得学士学位,1988年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事数字图像处理及DSP应用方面的研究。E-mail: lgjciom666@yahoo.com.cn