

一种有效抑制睫毛干扰的虹膜定位算法

唐荣年, 张新曼, 韩九强

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 为了提高在图像质量较差时的虹膜定位性能, 改善虹膜定位的成功率和速度, 在对 Daugman 算法改进的基础上, 提出了一种基于形态学算子的虹膜定位算法(ILBM). 该算法将睫毛干扰看作虹膜图像中出现的缝隙, 通过应用形态学中的膨胀算子对缝隙进行填补进而消除干扰, 虹膜边缘参数则采用 Hough 变换来求取. 与 Daugman 算法相比, ILBM 算法可以有效抑制虹膜定位过程中存在的睫毛干扰, 提高虹膜定位的速度. 对比实验表明, ILBM 算法具有比 Daugman 算法更好的抑制干扰能力和鲁棒性, 具有更高的定位成功率和更快的定位速度, 定位时间仅为 Daugman 算法的 17%, 定位成功率提高了 3.7%.

关键词: 边缘检测; 虹膜定位; 形态算子

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)10-1175-04

An Effective Algorithm Suppressing Eyelash Interference for Iris Location

Tang Rongnian, Zhang Xinman, Han Jiuqiang

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In order to improve the success ratio and velocity of iris location, an iris location algorithm based on morphological operators was developed. The iris location algorithm was realized through regarding the eyelashes as slits of iris image and applying the dilation operator of the morphology to fill up, and then the disturbance was removed. The Hough transform was used to get the parameter of iris boundary. So, the proposed iris location algorithm can reduce the errors caused by eyelashes and eyelids, and improve the speed of location process. Experiment validation has been carried out with iris image database. It shows that the improved algorithm can locate the iris more effective and quickly. Compared with the traditional algorithm of Daugman, and the location time is only 17% of Daugman's algorithm and the success ratio can be increased by 3.7%.

Keywords: edge detection; iris location; morphological operation

当前, 生物特征识别已然是新一代人类身份识别的发展方向^[1-2]. 虹膜是人眼中位于瞳孔和巩膜之间的近似的圆环状区域(如图1所示), 具有稳定性、惟一性和非侵犯性等特点, 因此虹膜识别已经成为生物特征识别的一个重要分支和研究热点. 虹膜识别主要包括3个步骤: 虹膜定位、特征提取和模式匹配. 许多文献已经证实^[3-7], 虹膜定位不仅要占用整个虹膜识别时间的30%~50%, 而且虹膜定位的成败会直接影响识别的效果甚至是成败. 因此, 提高虹

膜定位的速度和成功率是非常有意义的.

虹膜定位就是寻找虹膜的内、外边缘并求得对应的参数, 一般分为检测内边缘与检测外边缘2个步骤, 其本质是一个在多种干扰(如睫毛、眼睑等)情况下的圆匹配问题. 虹膜定位的算法主要有: ① Daugman^[3-4]的微积分算子圆形边缘探测法(简称Daugman算法); ② Wildes^[5]的二维高斯算子、边缘检测算子结合 Hough 变换的算法; ③ Ma^[7]的 Canny 算子与 Hough 变换相结合的算法; ④ Miyazawa^[8]

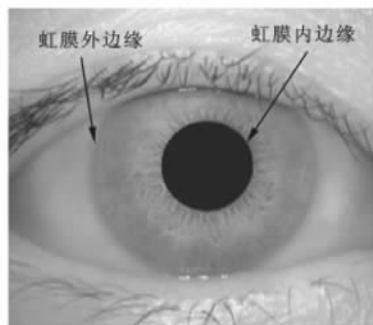


图1 虹膜位置示意图

的椭圆模型边缘探测算法,等等.在上述算法中,Daugman 算法最具影响力,具有出众的定位性能.但是,该算法也存在较大的不足,即当虹膜图像中存在严重睫毛或眼睑干扰时,其定位成功率和速度会有较大的波动.因此,本文在 Daugman 算法的基础上提出了一种基于形态学算子的虹膜定位算法(Iris Location Based on Morphological, ILBM),以提高虹膜定位的速度及成功率.

1 Daugman 算法存在的问题

Daugman 算法在进行虹膜内、外边缘检测时,均采用同一种算法,即用微积分算子进行圆形边缘探测,具体的计算公式为

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

式中:\$(x_0, y_0)\$为指定的圆心坐标;\$r\$为圆心\$(x_0, y_0)\$所确定的同心圆半径;\$I(x, y)\$为待定位图像中的像素值;\$G_\sigma(r)\$为消除噪声干扰的高斯平滑函数.

由式(1)可知,Daugman 算法以虹膜内边缘圆心\$(x_0, y_0)\$为基准,在不同半径\$r\$的同心圆周上求取平均灰度值,当相邻两圆周上的平均灰度值变化最大时,所对应的半径即为虹膜内边缘半径(外边缘检测亦相同).但是,虹膜内、外边缘的圆心位置是事先无法确知的,所以通常会利用一些先验条件对圆心位置进行粗略定位,然后在对该区域中对不同圆心下的不同半径所对应的平均灰度值突变进行比较以逼近真正的圆心位置和半径值.当然,由于虹膜内、外边缘为近似同心圆,所以粗定位只需要一次即可.通过理论分析以及实验验证,Daugman 算法存在以下缺陷:

(1)圆心\$(x_0, y_0)\$所在区域的确定对算法结果的影响很大.如果粗定位的区域较大,就会使探测算子的搜索空间很大,从而导致定位速度的大幅下降,在

睫毛、眼睑干扰较多或者虹膜图像的质量较差时,因为有很多区域的灰度值比较接近,这个问题就比较突出,可以使定位速度下降约20%,本文对于不同干扰程度的定位对比实验证明了这一点.另外,Daugman 算法中使用的先验条件往往会削弱算法的普适性;

(2)陷入局部最小值的问题.由于某些虹膜上存在非常明显的向心性环状纹理,或者眼睫毛比较浓密且覆盖面积较大,因此式(1)会过早地陷入局部最小值.这个局限会造成内、外边缘的定位出现偏差甚至导致算法失效,从而造成定位失败.

2 改进的算法 ILBM

针对 Daugman 算法中的种种局限性,本文提出了 ILBM 虹膜定位算法.该算法不再使用相同的算子去求取虹膜的内、外边缘参数,而是根据不同定位阶段的灰度、纹理特征设计了不同的算子.在内边缘定位时,ILBM 算法采用全新的基于形态算子和 Hough 变换的算法来抑制干扰,提高速度和成功率.在外边缘定位时,ILBM 算法对微积分算子探测的路径进行了修改.

2.1 虹膜内边缘定位

由图1所示的人眼图像可知,睫毛的灰度值和瞳孔的灰度值比较接近,这为虹膜内边缘的准确辨识增加了困难,所以睫毛的有效抑制是非常关键的.基于上述考虑,本文提出的 ILBM 算法采用如下的算子和步骤:

(1)考虑到睫毛是比较散乱、无方向性的细线状物体,可以将睫毛看作是图像背景中嵌入的无规则缝隙,则抑制干扰的过程便可看作是用背景“填补”这些缝隙的过程.由于形态学中的膨胀算子对填补物体中的小空洞和狭窄的缝隙很有效果,而且该算法的速度很快,所以本文算法采用膨胀算子^[9]来进行“填补”

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) +$$

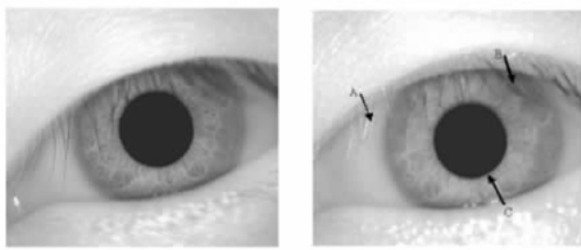
$$b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in f; (x, y) \in b\} \quad (2)$$

式中:\$\oplus\$代表膨胀运算;\$f\$是图像空间;\$b\$是结构元素;\$s, t, x, y\$是图像中像素的坐标.

用 ILBM 算法进行虹膜内边缘检测的过程如图2所示,其中膨胀运算中应用\$3 \times 3\$的全‘1’方阵作为结构元素.由图2b可见,A、B两处的睫毛灰度有了明显的提高,C处的虹膜内边缘灰度则基本没有变化.所以,利用膨胀算子可使图像中的睫毛模糊甚至融入眼皮、瞳孔等大背景中,抑制效果比较明显.

(2)考虑到睫毛灰度值已得到提升,所以只需选择合适的阈值 T 对经过膨胀运算的图像二值化,即可清晰地显现出虹膜内边缘的轮廓(见图 2c). 然后,利用形态学中的边界提取运算即可提取出虹膜的内边缘(见图 2d. 为了图示方便,这里对检测结果进行了取反).

(3)利用 Hough 变换求取瞳孔的圆心及半径. 虽然 Hough 变换的速度不高,但是本文选择 Hough 变换基于如下两点理由:①经过上述步骤后,进行 Hough 变换的有效点数已经大幅度减少,这使得 Hough 变换的速度大大加快;②在某些情况下,提取出的虹膜内边缘并不总是如图 2d 所示的那样完整,此时应用 Hough 变换依然能够很好地求解出圆参数,这是其他求解圆参数算法所无法企及的,由此保证了算法的鲁棒性.



(a)原图像

(b)经膨胀运算

(c)二值化

(d)边界检测

图2 ILBM算法内边缘检测过程

2.2 虹膜外边缘的检测定位

虹膜外边缘是指虹膜与巩膜的边界,过渡带较宽且比较模糊. 由于已知内边缘的圆心和半径,并且内、外边缘的圆心位置比较接近,所以只需在平行正切于虹膜内边缘的一个带状区域内进行圆弧的探测即可. 本文的 ILBM 算法采用式(3)所示的改进的微积分算子圆弧探测公式来进行虹膜外边缘的定位

$$\max(r, x_0, y_0) \left| G_\sigma(r) \frac{\partial}{\partial r} \int_{L(r, x_0, y_0)} \frac{I(x, y)}{\sum_{i=1}^n i} ds \right| \quad (3)$$

式中: $L(r, x_0, y_0)$ 是由 (r, x_0, y_0) 确定的圆上的弧线段; $\sum_{i=1}^n i$ 为参与灰度值累加计算的弧线段上的所有点的数目.

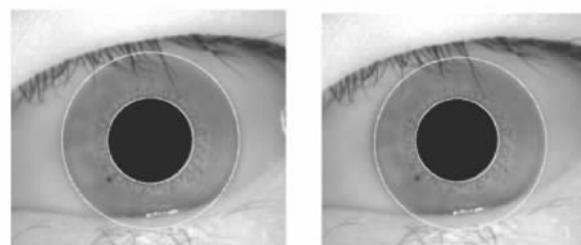
为了降低算法因睫毛干扰而陷入局部最优解的情况,本文算法是在经膨胀算子运算过的虹膜图像上进行迭代求解的,以提高对虹膜外边缘的定位成功率.

3 仿真实验结果

仿真实验中的虹膜图像全部来源于中科院的 CASIA1.0 虹膜图像库^[10],虹膜图像为 320×280 像素,256 色灰度. 实验设备采用 celeron 2.6 GHz、192 MB 内存的计算机,仿真软件为 Matlab7.0, Daugman 算法是依照文献[2]的论述实现的.

3.1 算法定位有效性的比较实验

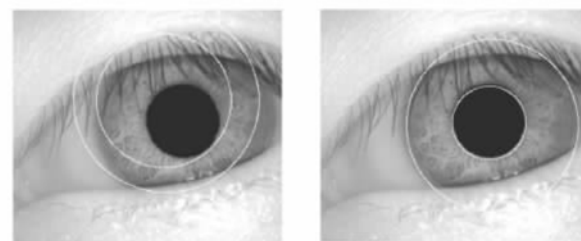
实验主要比较 Daugman 和本文算法的有效性,即能否准确地定位出虹膜的内、外边缘. 算法是否有效的标准为所求取的虹膜边界(见图 3 中白色圈圈)能否基本吻合虹膜的内、外边缘. 全部仿真实验均在相同条件下进行. 由于篇幅所限,在文中仅采用 2 组定位后的图像来进行说明. 图 3 及图 4 分别列出了 2 种定位算法对虹膜定位的结果.



(a)Daugman 算法

(b)ILBM 算法

图3 受轻度干扰的定位结果



(c)Daugman 算法

(d)ILBM 算法

图4 受严重干扰的定位结果

由图 3 可见,对于有轻度干扰的虹膜图像,两种算法的定位结果基本一致,都是有效的. 但是,对于图 4 所示的有严重干扰的图像,Daugman 算法则存

在明显的定位偏差,定位无效,而本文的 ILBM 算法则能够进行有效的虹膜定位,具有较强的抗干扰能力。

3.2 算法定位性能的比较实验

本实验着重比较对于不同质量的虹膜图像,两种算法的定位成功率、速度以及鲁棒性等性能。检测的虹膜图像按受干扰程度分为有轻微干扰及有严重干扰两类。实验所用图像为 CASIA1.0 虹膜图像库中随机选取的近 400 幅图像,在完全相同的实验条件下进行仿真,实验结果见表 1。

表 1 两种算法对不同质量图像定位的精度、速度比较

	平均用时/s		定位成功率/%	
	轻微干扰	严重干扰	轻微干扰	严重干扰
Daugman 算法	6.82	8.26	94.6	93.12
本文算法	1.30	1.29	97.6	97.42

由表 1 可见,对于不同质量的虹膜图像,本文算法的定位成功率与耗时基本没有波动,性能稳定,而在有严重干扰的情况下,Daugman 算法的性能均有较大幅度的下降。实验数据还表明,无论在轻微干扰还是严重干扰时,本文算法的定位成功率和速度均明显优于 Daugman 算法。

表 2 两种算法定位精度、速度比较

	定位成功率/%	平均耗时/s
Daugman 算法	93.86	7.540
本文算法	97.51	1.295

表 2 列出了两种算法对全部所选图像(不对图像进行分类)的总体定位性能。可见,相对于 Daugman 算法,本文算法能使定位成功率提高约 3.7%,定位时间仅为 Daugman 算法的 17%。

4 结 论

本文研究了影响虹膜定位的常见干扰的特性,提出了基于形态学算子的虹膜定位算法 ILBM,通过对大量虹膜图像样本进行实验验证,得出如下结论:

(1)本文所提 ILBM 算法可以有效地解决虹膜边缘定位时因睫毛、眼睑的严重干扰所导致定位成功率以及速度下降的问题,算法性能稳定;

(2)通过与经典虹膜定位算法的比对实验可知,

本文所提的 ILBM 算法在虹膜定位时具有较好的定位成功率和速度。经相同条件下的大样本仿真实验验证,相对 Daugman 算法而言,本文算法能使定位成功率提高约 3.7%,定位时间仅为 Daugman 算法的 17%。

参考文献:

- [1] Jain A, Bolle R, Pankanti S, et al. Biometrics: personal identification in a networked society [M]. Boston, USA: Kluwer Academic Publisher, 1999.
- [2] 王勇,韩九强.基于最小最大概率机的虹膜图像分类方法研究[J].西安交通大学学报,2006,40(6):651-654.
Wang Yong, Han Jiuqiang. Study on iris image classification approach based on minimax probability machine [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006, 40(6):651-654.
- [3] Daugman J. How iris recognition works [J]. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 2004, 14(1): 21-30.
- [4] Daugman J. The importance of being random: statistical principles of iris recognition [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(2): 279-291.
- [5] Wildes R P. Iris recognition: an emerging biometric technology [J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(9): 1348-1363.
- [6] Liu Xiaomei, Bowyer K W, Flynn P J. Experimental evaluation of iris recognition [C]//Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway, USA: IEEE, 2005: 151-158.
- [7] Ma Li, Tan Tieniu, Wang Yunhong, et al. Efficient iris recognition by characterizing key local variations [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(6):739-750.
- [8] Miyazawa K, Ito K, Aoki T, et al. An efficient iris recognition algorithm using phase-based image matching [C]//Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway, USA: IEEE, 2005: 49-52.
- [9] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing [M]. 2nd ed. 北京:电子工业出版社,2002: 519-567.
- [10] Center for Biometrics and Security Research. CASIA iris image database[ED/OL]. (2003-12) [2006-08-01]. <http://www.sinobiometrics.com/casiairis.htm>.

(编辑 刘杨)