

基于 2 维投影的虹膜定位

叶学义 庄镇泉 姚鹏 龙飞

(中国科学技术大学电子科学与技术系, 合肥 230026)

摘要 由于在经过定位预处理之后的原始虹膜图像中, 存在可能干扰定位的多种因素。为了准确、快速地进行虹膜定位, 因而对这些因素进行了详细的分析之后, 首先采用建立图像边界初始域的 2 维投影图的方法, 将初始域中的各种分布特征和各维的投影特征联系起来; 然后利用搜索和交叉方法来得到较好的虹膜边界的初始域, 以最终计算出准确的虹膜边界。经过对样本库的比对实验和分析, 结果表明, 该方法定位的结果准确、快速、鲁棒性较好, 而且对预处理过程中采用的不同类型的滤波器并不敏感。

关键词 初始域 2 维投影 虹膜定位

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)03-0305-05

Iris Localization Based on Two-dimensional Projection

YE Xue-yi, ZHUANG Zhen-quan, YAO Peng, LONG Fei

(Department of Electronic Science & Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract This paper particularly analyzes some factors possibly disturbing iris localization in the iris image through the localizing pre-processing. After establishing two-dimensional projection of the edge rude-field, the paper researches the relation between every dimension projecting characters and the tangled distributing traits in the edge rude-field, and then acquires the possible good rude-field of iris edge using the way of scout and crossing, finally calculates the exact iris boundary. After the comparing test and the analysis to the iris image database, the result shows that the robust algorithm can quickly and accurately complete iris localization and it is not sensitive to different filters worked on the pre-processing of the localization.

Keywords rude-field, projection of two-dimension, iris localization

1 引言

近些年来, 人们对社会公共安全性的越来越高的要求, 促进了生物特征识别的蓬勃发展, 其中虹膜识别是最为准确的身份识别方法之一。从原始输入图像中定位出虹膜部分是完成虹膜识别的前提和必要环节, 由于定位的准确与否不仅直接决定了识别率的高低, 而且定位过程在识别系统中的耗时占据较大份额, 所以一个实时的虹膜识别系统要求虹膜定位准确、鲁棒性好、速度快。

通常虹膜定位包括虹膜边缘检测和图像分割^[1]两部分, 也就是要从一幅人眼原始图像中检测

出虹膜的内外边界以及瞳孔和虹膜的圆心, 并将虹膜从图像中割离出来, 而可能对定位造成不利影响的两个重要因素则分别是: 上下眼睑和睫毛以及成像光源形成的光斑, 尤其是睫毛往往会严重干扰定位。它们不但会影响定位的准确性, 而且会消耗更多的系统时间。在现有的定位算法中, 国外比较通行的文献[2]算法^[2], 其定位是以圆探测器的迭代求取最大边缘梯度的积分来完成, 不仅算法的鲁棒性较好, 定位也比较准确; Wildes 定位算法^[3,4]的思路和文献[2]的方法相似, 只是在搜索空间上有所不同, 并且是利用 Hough 变换来完成最后的拟合。国内已经公开发表的定位算法主要包括: ①利用对候选边界点投票的方法来定位虹膜^[5]; ②先对虹膜

收稿日期: 2004-06-11; 改回日期: 2004-09-27

第一作者简介: 叶学义(1973 ~), 男, 1995 年于电子科学技术大学获得工学学士学位, 现为中国科学技术大学信号与信息处理专业博士研究生。研究领域为计算机视觉、模式识别、智能信息处理和信息安全。E-mail: xueyi_ye@ustc.edu

的内外圆周进行粗定位,再利用 Hough 变换完成精细拟合^[6];③利用圆相交弦的几何特征来计算虹膜参数^[7];④基于边缘点的 Hough 变换来拟合虹膜的边界^[8]。以上所有的方法都要先得到初始的虹膜边界点或者是初始的搜索空间,但是由于无论是初始的虹膜边界点还是初始的搜索空间,都存在各种干扰因素,因此,如何在这种条件下得到尽量干净的初始边界点和尽量小的搜索空间是非常重要的,但已有文献中都没有对这一问题进行过描述和细致的分析,然而实验已经表明,初始的边界点和搜索空间(以下简称初始域)对定位准确性以及定位时间的影响是非常显著的^[3,9]。

本文首先细致分析了原始虹膜图像在初始域中可能出现的种种干扰因素及其原因,并且以图示的形式列举了几种典型的干扰情况;然后,提出了通过建立 2 维投影直方图和投影矩阵以及采用交叉的方法来消除干扰,以最终完成虹膜定位的新算法。

2 2 维投影算法

在虹膜定位之前,大部分算法都要对原始虹膜图像进行预处理操作,其通常是采用各种滤波器来处理图像,目的是消除噪声和平滑图像。正如引言

中提到的,影响虹膜定位的主要因素是上下眼睑、睫毛以及成像光源形成的光斑,而滤波的作用却可以尽量缩小这些因素的影响。由于计算时间的限制,通常不会采用更加复杂的预处理算法,比如,先利用各种梯度算子和其他方法检测出眼睑、睫毛和光斑,然后再进行擦除和修补,比较复杂,而其他常用的膨胀或者腐蚀算法又往往由于只对某一类或某几类的干扰情况有效,因此鲁棒性较差,而本文利用 2 维投影矩阵的直方图,通过搜索和交叉的方法来准确地标记出干扰区域的分布,并由此建立干扰区域的分布特征与各维投影矩阵的特征之间的联系,却可以较好地解决这一问题。现以定位瞳孔(也就是虹膜的内边界)为例来说明虹膜定位过程,首先,通过对原始图像 $I(x,y)$ 进行预处理来得到图像 $\hat{I}(x,y)$,其如图 1 中左下角的图 1(c)所示,该图中以高亮的方式显示的像素点是标记出来的初始边界点,这些点的集合也就是前文中提到的初始域,设为 $A(x,y)$,从图中明显可以看到, $A(x,y)$ 中包含了许多干扰点(非瞳孔边界上的点),这对所有依靠初始域的定位算法都是不利的;然后,将 $A(x,y)$ 分别对 x 维和 y 维方向进行投影,再由 x 和 y 维的坐标值和各自的点数分别形成投影矩阵 $P_x(X, M)$ 和 $P_y(Y, N)$,如式(1)和式(2)所示。这两个矩阵的直方图如图 1

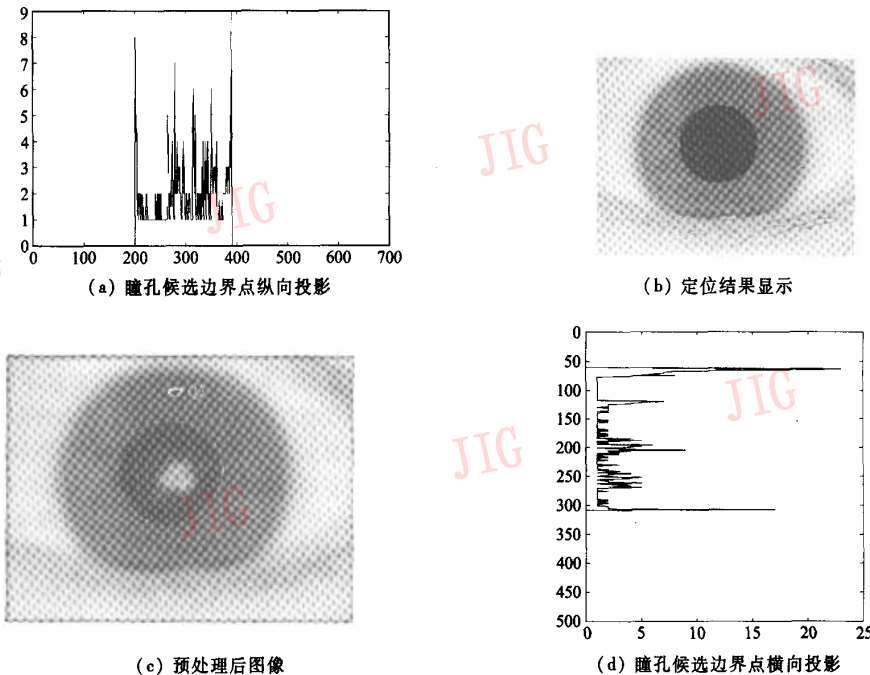


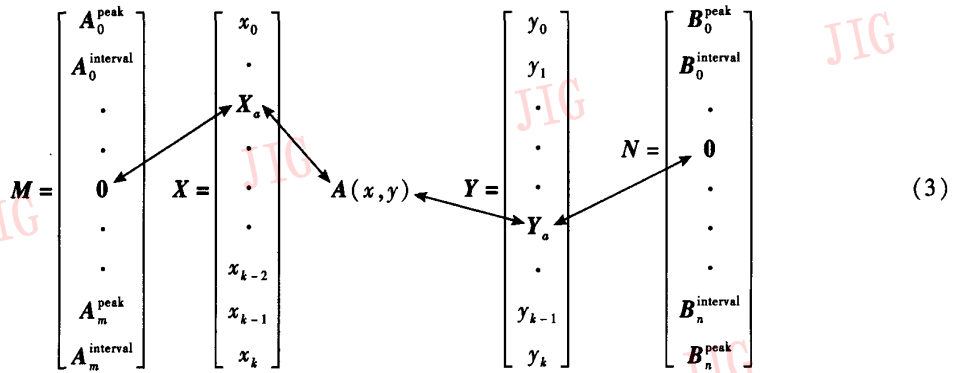
图 1 虹膜定位示意图

Fig. 1 Iris localization processing

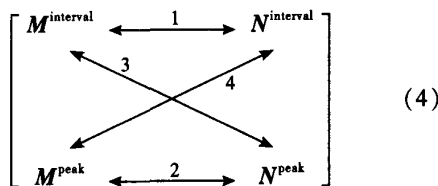
所示:图 1(a)表示 $P_x(X, M)$ 的直方图;图 1(d)表示 $P_y(Y, N)$ 的直方图。从该两图可以看出,投影直方图是由峰值(peak)和间隔(interval)组成的分布, X 和 Y 分别表示初始域中由各个点的 x 维和 y 维坐标值组成的矩阵, M 是由 $P_x(X, M)$ 直方图中的峰值和间隔组成的矩阵, N 是由 $P_y(Y, N)$ 直方图中的峰值和间隔组成的矩阵; A_0^{peak} 和 $A_0^{interval}$ 是 M 中的子矩阵, A_0^{peak} 表示 M 起始是从峰值开始的、且未出现由间隔的连续几个峰值构成的矩阵,此后将遇到的第 1 个间隔记入 $A_0^{interval}$ 中、直到出现下一个峰值,从 $A_0^{interval}$ 中就可以得到此间隔的长度,依此类推; B_0^{peak} 和 $B_0^{interval}$ 同理表示 N 中的子矩阵,其分别用来记录 $P_y(Y, N)$ 中的峰值和间隔,如果 M 起始从间隔开始,则将 B_0^{peak} 和 $B_0^{interval}$ 的次序对调。

$$P_x(X, M) = [X \ M] \quad (1)$$

$$P_y(Y, N) = [Y \ N] \quad (2)$$



式(3)对式(4)中的双箭头 1 表示的交叉过程进行了描述,即从 x 维开始,搜索 M 中的 0 矩阵,再映射到 X 矩阵中的对应子矩阵 X_0 ,其映射关系是:先用构成 0 矩阵的对应点的 x 坐标集合来生成 X_0 ;然后从 X_0 映射到初始域 $A(x, y)$ 中的点,再从 $A(x, y)$ 中这些点的 y 坐标来形成 Y 矩阵中的 Y_0 ;最后映射到矩阵 N 中的 0 矩阵,并依靠这种映射的关系来完成交叉,另外,式(3)中以双向箭头表示的这种映射方式也是可以逆推的。对于式(4)中 M^{peak} 和 N^{peak} (双箭头 2)、 $M^{interval}$ 和 N^{peak} (双箭头 3)以及 M^{peak} 和 $N^{interval}$ (双箭头 4),交叉的过程是相同的。



完成了如式(4)所示的 4 种交叉处理之后,再

式中, $X = [x_0, \dots, x_k]^T, 0 < k \leq \max(x), Y = [y_0, \dots, y_l]^T, 0 < l \leq \max(y), M = [A_0^{peak}, A_0^{interval}, \dots, A_m^{peak}, A_m^{interval}]^T, m < k, N = [B_0^{peak}, B_0^{interval}, \dots, B_n^{peak}, B_n^{interval}]^T, n < l$ 。

搜索从间隔开始,并将最大间隔标记为零,首先得到 $M^{interval}$ 和 $N^{interval}$;然后将最大峰值标记为零,即得到 M^{peak} 和 N^{peak} ,并按式(4)完成交叉(注: $M^{interval}$ 、 $N^{interval}$ 和 M^{peak} 、 N^{peak} 分别表示对矩阵 M 、 N 是由间隔还是由峰值形成的矩阵,而且在迭代过程中是不断变化的。式(3)对式(4)中的 4 种交叉关系进行了示例说明,对于每次的交叉, M 、 N 分别对应双箭头所指的左、右矩阵);然后将次大的峰值或间隔进行标记后再次进行同样的过程,并以迭代的方式遍历每一个子矩阵 A_m 和 B_n ;式中的双箭头表示交叉的方向是可逆的。

通过对映射关系的判定,就可以消除初始域中可能出现的干扰,例如,当交叉 2 和交叉 4 都成立时,就可以确定图 1(c)中初始域的①区为干扰域,据此就可以将式(3)中 X_0 或者 Y_0 所对应的初始域 $A(x, y)$ 中的点剔除。若交叉 2 成立,则意味着初始域中①区(以下①区均指图 1(c)中的①区)的这些点的 x 维和 y 维投影同时出现了峰值,也就是①区出现了点的聚集;而交叉 4 同时成立,则意味着在①区出现点聚集的同时,①区在某一维的方向上产生了间隔,这样①区就成为孤立区,可见该判定是充分的。或者,当交叉 1 极优成立时(指的是间隔超过了一定的阈值),则意味着初始域中的这些点的 x 维和 y 维的投影同时出现了间隔,也可以判定该 X_0 或者 Y_0 所对应的初始域 $A(x, y)$ 中的区域是干扰域。

经过以上的 2 维投影和交叉计算之后,就可以得到较好的初始域,然后不论利用投票算法^[5],或者通过求取初始域中点的 x 方向和 y 方向坐标的最大和

最小值都可以来快速计算出瞳孔的边界参数,同理,也可以计算出虹膜的边界参数。图 1 表示的是以上定位过程的简单示意图。图 1(b)显示了利用以上方法对原始图像的最终定位结果,在该图中,为了突出瞳孔,可将定位出的瞳孔涂黑;同时为了突出虹膜,又将瞳孔和虹膜的边界以高亮的方式显示出来。

3 实验和分析

根据上文阐述的方法,对在非实验室条件下获得的 112 幅虹膜图像(本实验室开发的识别系统在

参加某展览会时现场采集的样本)进行了定位处理。图 2(a)~图 2(d)分别表示采集的虹膜原始图像经过滤波处理之后的几种典型的例图。这些图中是以高亮的方式显示定位瞳孔时,初始域的分布情况。从中可以看出,初始域中存在的干扰因素的分布是多样的,这里仅仅显示了几种比较典型的分布,而图 2(e)~图 2(h)则分别是利用该方法对以上 4 幅例图的原始图像进行定位的结果,图中以高亮的方式显示了虹膜的内外边界,并将瞳孔区涂黑。从中可以看出,该方法不仅可以处理初始域中的各种干扰,并具有较好的鲁棒性。

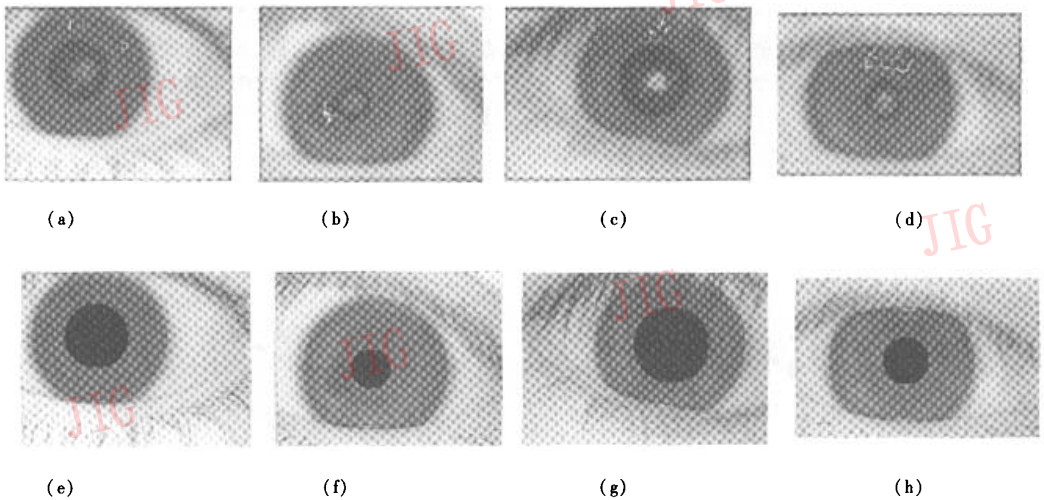


图 2 各种干扰情况下的定位结果图

Fig. 2 Images of localization results under various disturbances

为了全面衡量本文方法性能,同时还对该方法的其他性能进行了测试,主要包括定位时间和定位的准确性两个指标。一般认为定位时间是从对原始图像的降噪处理结束到计算出虹膜内外边界的参数值所耗费的时间;而定位的准确性目前还没有定量的公认标准,通常是以人的视觉效果来评价,或者通过对定位算法进行定性的分析来得到算法本身可能的最大计算误差。本文采用手动选取初始域中的候选点,并利用 3 点定位一个圆的原理,通过解方程来计算虹膜内外边界的参数,这应该是相当准确的定位,因此就用它作为参考的比对标准。

测试结果如图 3 所示:以 Daugman 的论文^[2]中提供的数据作为比较对象,实验数据是在 300MHz 的工作站上得到的,其平均定位时间是 80ms;本文是在 CPU 为 AMD2100⁺ 的 PC 机上,在 Matlab 的编

程环境下进行测试的。图 3(a)、图 3(b)、图 3(c)分别表示样本库的图像经过不同的滤波器处理后,再进行定位所需要的计算时间,其平均定位时间约为 40ms;同时从图 3 可以得出,从定位时间的角度来看,该算法对不同的滤波器并不敏感,并具有一定的鲁棒性。在图 3(d)中,每个实心的黑点表示以解方程的方法计算得到的各个样本的虹膜圆心的 x 和 y 坐标,而每个空心的圆圈则表示用本文的方法得到的虹膜圆心的坐标,从图 3(d)中可以看出,本文的方法所有的样本都可以完成定位,而且绝大部分的计算结果都是重合的,虽然有极少几个点发生了偏移,但黑点依然在圆圈的范围内,且误差很小,在本文的样本库中,最大的偏移不超过 3 个像素。因为文献^[2]以及后来公开发表的文献和资料都没有提及定量的定位准确性参数,所以本文没有进行该测试项目的比对实验。

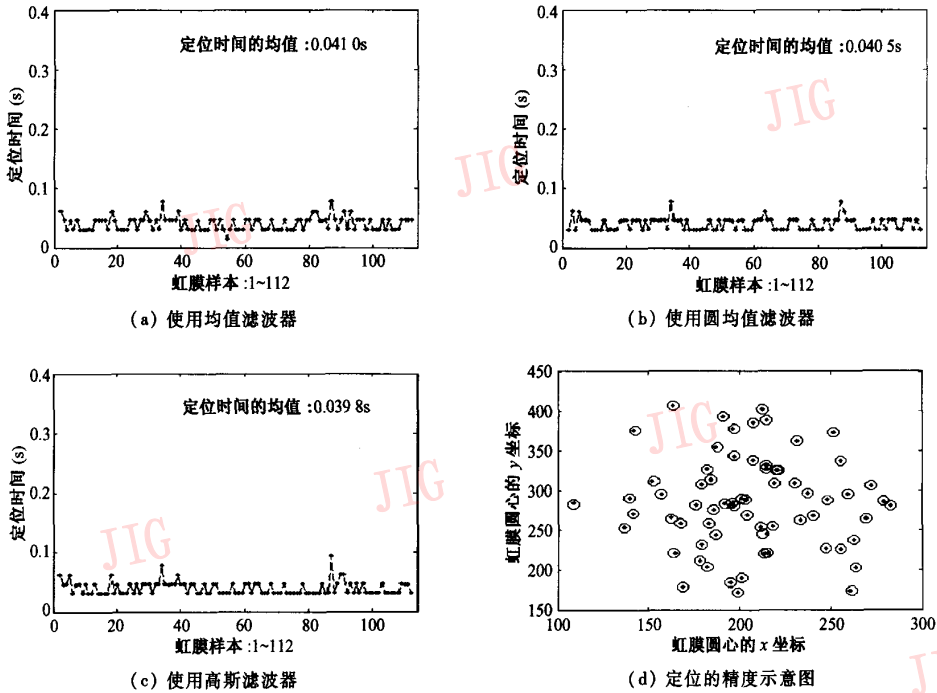


图3 定位时间和精度的实验数据

Fig.3 Experimental data of localization accuracy and occupied time

4 结论

虹膜定位的目的就是为了获得精确的虹膜内外边界参数,同时还要兼顾算法的实时性和鲁棒性。在虹膜定位处理时,可能会遇到各种影响定位的准确性以及计算时间等方面的细节问题。本文对此进行了详细的分析,并首先以图示的方式举例,提出了解决方法,然后根据作者以前的研究成果完成了定位的最后计算。实验结果表明,该方法可以实时、快速、准确地计算出虹膜内外边界的参数,同时不仅对各种可能的干扰具有较好的鲁棒性,而且对预处理时使用的滤波器类型不敏感。

参考文献 (References)

- 1 Zhang Yujing. Image Segmentation [M]. Beijing: Science Published, 2001. [章毓晋著. 图形图像分割 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- 2 Daugman J. High confidence visual recognition by a test at statistical independence [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(11): 1148 ~ 1162.
- 3 Wildes Richard P. Iris recognition: An emerging biometric technology

- [J]. Proceedings of The IEEE, 1997, 85(9): 1348 ~ 1363.
- 4 Camus Theodore A, Wildes Richard P. Reliable and fast eye finding in close-up images [A]. In: Proceedings of IEEE Conference on Pattern Recognition [C], Quebec, Canada, 2002, I: 389 ~ 394.
- 5 Ye Xueyi, Zhuang Zhenquan, Zhang Yun Chao, et al. A new and fast algorithm of iris localization [J]. Computer Engineering and Application, 2003, 39(30): 54 ~ 56. [叶学义, 庄镇泉, 张云超等. 一种新颖、快速的虹膜定位算法 [J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(30): 54 ~ 56.]
- 6 Ma Li, Tan Tieniu, Wang Yunhong, et al. Personal identification based on iris texture analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(12): 1519 ~ 1533.
- 7 Wang Chengru, Hu Zhengping. An iris location algorithm [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(6): 683 ~ 685. [王成儒, 胡正平. 基于几何特征的虹膜定位算法 [J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(6): 683 ~ 685.]
- 8 Ye Miaoyuan, Ye Hunian, He Jiafeng. An improved method of iris location [J]. Computer Engineering, 2002, 28(12): 129 ~ 130. [叶妙元, 叶虎年, 何家峰. 一种改进的虹膜定位方法 [J]. 计算机工程, 2002, 28(12): 129 ~ 130.]
- 9 Ye Xueyi, Zhuang Zhenquan, Li Jun, et al. A novel algorithm for iris recognition [J]. Journal of Circuits and System, 2003, 8(3): 75 ~ 80. [叶学义, 庄镇泉, 李军等. 一种新颖的虹膜识别算法 [J]. 电路与系统学报, 2003, 8(3): 75 ~ 80.]