

一种基于圆几何特征的虹膜定位算法^①

魏 炜 (苏州卫生职业技术学院 江苏 苏州 215002)

摘要: 虹膜定位是虹膜识别中基础性环节, 其精度和速度决定了虹膜识别系统的性能, 为提高虹膜定位的速度, 提出一种基于圆几何特征的虹膜内边缘定位算法, 利用内外边缘中心的耦合特性缩小微积分方法搜索外边缘的范围。试验结果表明, 与经典虹膜定位算法相比, 本算法快速、精确、鲁棒。

关键词: 虹膜识别; 虹膜定位; 几何特征; 内边缘定位

An Algorithm Based on Circle Geometric Characteristic for Iris Boundaries Location

WEI Wei (Suzhou Health College, Suzhou 215002, China)

Abstract: Iris location is a basal procession in an iris recognition system. The speed and accuracy of the iris location decide the performance of the iris recognition system. In order to speedup the rate of iris location, this paper introduces a fast location algorithm for pupil detecting based on the geometrical characteristics of a circle. By using the coupling relationship between the inner and outer edges of the iris image, a calculus method is used to greatly reduce the search range to locate outer boundaries. Experiments show that the algorithm is fast, accurate and robust compared with other classical methods.

Keywords: iris recognition; iris location; geometrical characteristic; pupil location

1 引言

虹膜是指白色巩膜与黑色瞳孔之间的色素沉着区域, 如图 1 所示。虹膜识别具有普遍性、唯一性、稳定性、受保护性、非入侵检测性和防伪性等优点。非入侵检测性(或非接触式)的生物特征识别是身份鉴别研究与应用发展的必然趋势, 与人脸、声音和步态等非接触式的身份鉴别方法相比, 虹膜具有更高的准确性。据统计, 虹膜识别的错误率是各种生物特征识别中最低的^[1]。

虹膜识别技术主要由虹膜图像采集、虹膜定位、特征提取、匹配与识别等环节组成。虹膜定位就是虹膜内边缘(瞳孔)与虹膜外边缘的定位, 由于图像采集阶段获得的图像通常包含整个人眼区域, 所以需要将虹膜分割出来, 它是虹膜识别系统的重要组成部分, 准确的虹膜定位是实现虹膜身份验证和识别的前提。虹膜的定位通常分为以下三个步骤: 虹膜原始图像的预处理, 确定虹膜内边缘的圆心和半径, 确定虹膜外边缘的圆心和半径^[2]。

虹膜内外边界都具有较好的圆环特性, 因此传统的虹膜定位算法都是采用圆形检测算子提取虹膜内外边缘。定位虹膜定位方法主要有 John Daugman 提出的微积分方法^[3], Richard Wildes 提出的 Hough^[4]变换方法, WANG Yun-hong 的最小二乘法^[5], 以及近年来的粗定位和精定位相结合的方法^[6~9]。但由于采集的虹膜图像质量的不确定性, 上述算法都有一定的适用范围, 微积分方法定位精度高, 缺点是计算量大, 且容易受到局部光源的影响; Hough 变换与最小二乘法是基于二值化边界点的定位方法, 其前提是必须将边界点与非边界点区分开来, 否则不能精确定位, 该算法也存在计算量大的问题。针对以上算法的局限, 许多文献提出了粗定位与精定位相结合的方法, 既保证了定位精度, 也提高了定位速度。本文提出了一种利用圆几何特征快速定位虹膜内边缘, 结合内外边缘的耦合性缩小微积分方法搜索外边缘的范围, 减少运算量。该方法与已有经典方法相比, 精确度基本一致, 在定位速度上有较大改进。

^① 收稿时间:2010-01-25;收到修改稿时间:2010-03-10

2 虹膜定位

2.1 图像预处理

虹膜图像采集过程中不可避免受到各种干扰,使得虹膜图像中存在一定的图像噪声,为保证本算法的定位精度,必须去除虹膜边界带上的噪声,以及与瞳孔外灰度等于灰度波峰对应灰度值的噪声点,本文在定位前使用小尺度高通滤波器 $h(n_1, n_2)$ (式(1)、(2))对图像进行滤波。

$$h_g(n_1, n_2) = e^{-(n_1^2+n_2^2)/(2s^2)} \quad (1)$$

$$h(n_1, n_2) = \sum_{n_1} \sum_{n_2} \frac{h_g(n_1, n_2)}{s^2} \quad (2)$$

滤波过程主要是将滤波器中心滑过虹膜图像,与滤波器中心对应的虹膜图像点的灰度等于滤波器系数与对应像素的灰度值相乘之和。

本文滤波器大小为 $n_1 = n_2 = 3$, s 的大小根据图像特点而定,本文中 $s = 5$ 。

2.2 虹膜内边缘定位

采集到的虹膜图像灰度分布有一定特点,一般而言,瞳孔灰度要小于虹膜灰度,虹膜灰度要小于巩膜灰度,且瞳孔灰度集中在同一值附近,在直方图中显现为尖锐的峰值。图1为一幅典型虹膜图像的直方图。

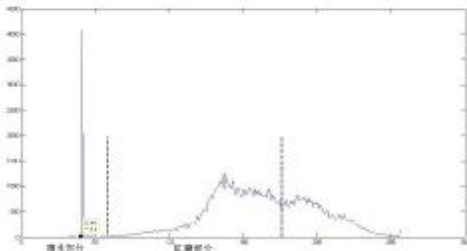


图1 虹膜图像直方图

瞳孔形状近似为圆,从图2可以看出,瞳孔的四个切点为 $M(x_1, y_1)$ 、 $N(x_2, y_2)$ 、 $P(x_3, y_3)$ 、 $Q(x_4, y_4)$

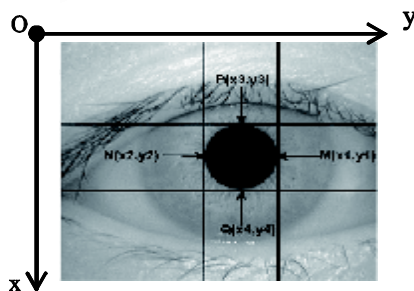


图2 瞳孔定位

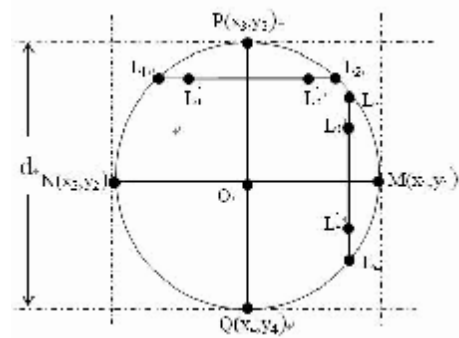


图3 切点定位

利用圆切线的性质有:瞳孔中心 $x = \frac{x_3+x_4}{2}$, $y = \frac{y_1+y_2}{2}$ 。瞳孔半径 $r = \frac{r_1+r_2}{2}$, 其中 $r_1 = \frac{x_4-x_3}{2}$, $r_2 = \frac{y_1-y_2}{2}$ 。确定瞳孔切点原理如图3,以间隔 Δx 沿图像行扫描,当某行中等于瞳孔灰度波峰对应灰度值 g_{pupil} 的像素量达到 N 值时,粗略定位 $L_1 L_1'$,由于虹膜内边缘存在灰度过渡带,所以 $L_1 L_1'$ 往往不是边界点,且 $L_1 L_1'$ 中可能存在间断点。为精确定位边界点 $L_1 L_2$,由 $L_1 L_1'$ 中点沿当前行向外端逐点搜索,当某点像素灰度值和该点与外端相邻四点灰度的均值大于边界阈值 g_{thresh} 时,找到真实边界点 $L_1 L_2$ 。 $L_1 L_2$ 的中垂线与瞳孔交于 P, Q 点,找到一对瞳孔切点。由上至下、由下至上、由左至右、由右至左分别对虹膜图像进行行扫描,最后得到两对 $P, Q(M, N)$ 点,取切点距离均值一半作为内边缘半径, $P, Q(M, N)$ 坐标均值为瞳孔坐标。

设 $\Delta x = 1$, 由上至下扫描,定位一对点的伪代码如下,以 320×280 的图像为例:

```

for{x=1;x<280;x++}
for{y=1;y<320;y++}
{if numel(I(x, y)=g_pupil)>=N
// I(x,y)表示高通滤波后点(x, y)灰度值,
numel为求和函数
m=x;
yl=search(I(m,y));
yr=search(I(m,y));
// search为求点L1 L2纵坐标函数
break;}
for {y= y_min;y> 1;y--}
{ if I(m, y)>g_thresh and mean(I(m, y)+ I(m, y-1)
+ I(m, y-2) >g_thresh

```

```

//mean 为求均值函数
n1=y;
break;}
for {y= y_max;y<320;y-- }
{if l(m,y_max)>g_thresh and mean(l(m, y)+ l(m,
y+1) + l(m, y+2) )>g_thresh
n2=y;
break;}
n_mid=(n1+ n2)/2; //弦中点列坐标
for{x=m;x>1;x--} //由弦中点沿第 n_mid 列向上
搜索
{if l(x, n_mid)>g_thresh and mean(l(x, n_mid)+
l(x-1, n_mid) + l(x-2, n_mid) )>g_thresh
m1=x;
break;}
for{x=m;x<280;x++}
{l(x, n_mid)>g_thresh and mean(l(x, n_mid)+ l(x+1,
n_mid) + l(x+2, n_mid) )>g_thresh
m2=x;
break;}

```

N 值不能过小,防止落入内边缘过渡带和受瞳孔外噪声影响定位精度。本算法中 N 取 30,取 80。

2.3 虹膜外边缘定位

虹膜外边缘与巩膜对比不明显,所以要精确定位外边缘,需采用精确的检测算子,本文采用文献 3 提出的如(3)式的微积分算子。

$$\max_{(r, x_0, y_0)} |G_s(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{(r_0, x_0, y_0)} \frac{I(x, y)}{2pr} ds \quad (3)$$

其中 $I(x, y)$ 代表虹膜图像在 x, y 处的灰度值。该算子以图像上每点为圆心 (x_0, y_0) , 随着 r 的变化, 计算相邻两个圆周之间像素平均值之差, 当输出值达到最大时, 所对应的参数 (x_0, y_0, r) 就是要寻找的边界。

(3) 式中 $*$ 是卷积运算, $G_s(r) = (1/\sqrt{2ps})e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2s^2}}$, 是标准差为 s 的高斯算子, 起平滑滤波的作用。

由于虹膜内外边缘虽然不能认为是同心圆, 但存在耦合关系^[10], 其距离之差小于 d 。

$$\sqrt{(x_r - x_p)^2 + (y_r - y_p)^2} < d_o \quad (4)$$

本文取 $d=5$, 以搜索得到的内边缘圆心为中心定位外边缘。虹膜典型半径为 80-130 像素, 为提高定位精度本算法 r 搜索范围为 70-140 像素。

3 实验结果与分析

图 4(a)、(b) 显示高斯低通滤波的效果。图中白色区域为等于瞳孔波峰对应灰度值区域, (a) 中白色方框区域为噪声, 左上方为人为加入噪声, (b) 显示滤波后方框内白色区域消失了。实验选用中科院自动化所 CASIA^[11](version 1.0) 虹膜数据库, 包括 108×7 幅虹膜图像, 图像为 8 位灰度图, 分辨率为 280×320 。每只眼随机选取一幅图像, 共 108 幅虹膜图像, 利用 Matlab 7 在 Intel Core 2.0G CPU 上定位, 平均耗费时间为 0.92 秒。利用 Daugman 的微积分方法、Wildes 的 Hough 变换、及本文算法分别对清晰、受睫毛干扰、受上下眼皮覆盖的 3 幅图像(图 5(a)、(b)、(c))进行处理, 从表 1 的统计结果可以看出, 此算法定位速度快, 精度高, 而且对于不同质量的虹膜图像定位鲁棒性强。

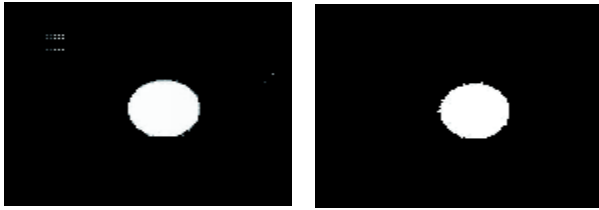
表 1 三种算法定位参数比较

图像	算法	与边界误差			外边缘误差			耗时
		X_p	Y_p	R_p	X_e	Y_e	R_e	
(a)	Wildes	135	183	39	133	181	103	5.2s
	Daugman	135	183	38	132	182	103	4.1s
	本文	136	183	38	136	178	101	0.97s
(b)	Wildes	150	178	44	154	174	104	5.6
	Daugman	150	177	44	145	174	105	4.3s
	本文	150	177	43	147	173	105	0.96s
(c)	Wildes	149	192	56	145	197	105	6.4s
	Daugman	149	192	57	140	189	112	5.1s
	本文	149	193	56	136	193	107	0.89s

4 结论

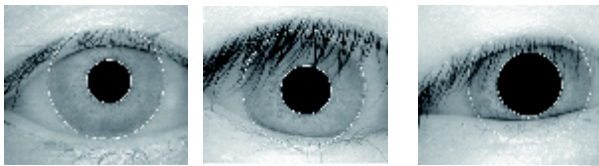
实验结果表明, 此算法先利用圆几何特征快速确定瞳孔参数, 利用虹膜内外边缘的耦合性大大缩小了微积分方法搜索虹膜外边缘的范围, 提高了定位速度, 与经典定位方法相比, 精度基本一致。通过对 CASIA (version 1.0) 100 多幅虹膜图像的定位结果表明, 此

定位算法快速、准确、鲁棒。



(a)有噪声的二值化瞳孔区域 (b)高斯噪声滤波后效果

图4 高斯低通滤波效果



(a) 质量较好 (b) 睫毛遮挡 (c) 眼睑覆盖

图5 本算法对不同质量虹膜图像定位结果

参考文献

- Jain AK, et al, Biometrics Personal Identification in Networked Society, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- 张超,袁晓燕,施鹏飞.虹膜内外边缘的快速定位算法.计算机工程应用, 2005;27:60-61.
- Daugman J. How iris recognition works. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004,14:21-30.
- Wildes R. Iris recognition: an emerging biometric technology. Proc. of the IEEE. 1997,85:1348-1363.
- Wang YH, Zhu Y, Tan TN. Biometrics personal identification based on iris pattern. Acta Automatica Sinica, 2002,28(1):1-10.
- 王成儒,胡正平,练秋生.一种虹膜定位算法.计算机辅助设计与图形学学报, 2002,14(10):950-952.
- 李庆嵘,马争.虹膜定位算法研究.电子科技大学学报, 2002,31(1):7-9.
- 何家峰,廖曙铮,叶虎年等.虹膜定位.中国图象图形学报, 2000,5(3):253-255.
- 韩方,陈颖,陆亨利.虹膜定位算法.上海大学学报:自然科学版, 2001,38(17):217-219.
- 郑小梅,侯媛彬.一种新的虹膜定位方法.传感技术学报, 2007,20(1):82-84.
- Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. CASIA iris image database (ver 1.0). <http://www.sinobiometrics.com>. 2004.