

# 一种利用分块统计的虹膜定位算法

李动恒 殷珊珊 庄镇泉 马庆军

(中国科技大学电子科学与技术系, 合肥 230026)

**摘要** 虹膜识别是一种新兴的生物特征识别技术,而虹膜定位是虹膜识别的重要步骤,因而精确而快速地进行虹膜定位是有效地进行虹膜识别的重要前提。为了能够快速地进行虹膜定位,在简要介绍现有的虹膜定位算法的基础上,提出了一种新的利用分块统计的虹膜定位算法。由于虹膜边缘可以简单地用圆周描述,因此,该算法第1步先阈值化分割图像,以分别建立虹膜和瞳孔的二进制位图;第2步用游长编码的方法来寻找最大色块的质心,并计算边界点到质心距离的均值。实验结果表明,对于虹膜定位而言,该算法是实用而且有效的。

**关键词** 虹膜识别 虹膜定位 生物特征识别

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)01-0035-05

## An Algorithm for Iris Localization Using Block Statistic

LI Dong-heng, YIN Shan-shan, ZHUANG Zhen-quan, MA Qing-jun

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

**Abstract** Iris recognition is an emerging biometric technology for personal identification, whereas iris localization is a crucial part in the process of iris recognition, thus obtaining the iris localization precisely and fleetly is the prelude of effective iris localization. For the purpose of localizing iris precisely, this paper puts forward a novel algorithm of iris localization using block statistic while based on introducing some prevailing algorithms for iris localization. The boundaries that delimit iris can be modeled in a simple way with circular contours. Therefore, the first step in the paper consists of thresholding the iris image intensity to build two binary bitmaps for the succeeding image procession, one for the whole iris and the other for the pupil. The second step is to search for the centroid of the largest block in the iris binary bitmaps by means of Run Length Encoding (RLE), and calculate the average distance from each point of the boundaries to the centroid obtained before. Experiments show that the algorithm is efficient and successful for the purpose of iris localizing.

**Keywords** Iris recognition, Iris localization, Biometrics

## 1 引言

随着计算机技术和信息科学的发展,世界各国越来越重视信息安全问题,通过传统的数字密码与加密算法来进行身份认证的技术,由于这种密码容易伪造或遗忘而受到了挑战,因此依靠生物特征的身份识别技术(Biometrics)蓬勃发展起来。生物特征识别就是利用计算机技术,对人体所固有的生理特征或习惯性的行为特征做出分析判断,用以进行个人身份鉴定。目前,可利用为生物特征识别的生理

特征有指纹、掌纹、虹膜、视网膜、人脸等;行为特征有语音、手迹等。生物特征识别相对于传统密码的优势在于不易伪造和不会遗忘。

虹膜识别是通过人眼的虹膜图像的纹理特征来对人进行身份识别,它是利用生物特征进行身份识别的主要手段之一。虹膜是眼睛内,介于巩膜与瞳孔间的部分,并有着非常丰富的纹理。自从 Daugman 提出用二维 Gabor 小波来提取虹膜特征,从而得到 244 个自由度特征后,虹膜识别技术得到了很大的发展<sup>[1,2]</sup>。目前,虹膜身份识别系统可应用于电子商务、授权支付、条件登录、权限信息和金融领域,具有

很大的意义和价值。虹膜相对于其他的生物特征有以下优点：(1)高度安全性，如前所述，虹膜可以得到 244 个自由度，而指纹只能有 30 到 40 个，另外，利用虹膜特有的对光的震颤现象可以判断是否为活体虹膜，从而可防止伪造；(2)高度稳定性和唯一性，因为虹膜纹理是随机形成的，而且出生一年后纹理固定不再变化，同时虹膜本身也极少受到损害。

在现有图像采集的条件下，用 CCD 摄像头所得的虹膜图像不可能就只有虹膜，还包含了大面积的虹膜附近区域的信息，如瞳孔、巩膜、睫毛等，CCD 摄像机采集所得的虹膜原始图像如图 1 所示。这些信息均对虹膜识别有一定影响，如果眼睑遮掩了一部分虹膜，则只能用上眼睑以下和下眼睑以上的图像。另外，还有瞳孔内的光源反射也可能对虹膜图像造成影响。虹膜定位是指利用数字图像处理算法把虹膜部分与眼睛的其他部分，如瞳孔、巩膜及眼睑分离开来。简单地说，就是找虹膜与瞳孔、巩膜及眼睑的边缘。通常该边缘会因眼睛图像色素剧变，而会有很强的对比度。由于虹膜定位是虹膜识别的重要步骤，其定位准确与否直接影响最终识别结果，而且，一般来说，虹膜定位也是虹膜识别系统最为耗时的部分，因此，研究一种快速而准确的识别算法十分重要。

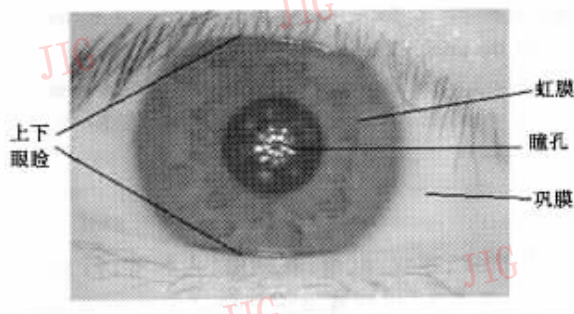


图 1 虹膜原始图像

## 2 现有的虹膜定位算法

目前国内外虹膜系统所用的定位算法有 Daugman 算法<sup>[3,4]</sup>和 Wildes 算法<sup>[5,6]</sup>。

### 2.1 Daugman 算法

Daugman 虹膜系统的定位算法<sup>[3,4]</sup>其核心在于利用一个有效的微积分算子来计算圆参数：

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

式中， $G_{\sigma}(r) = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \right) e^{-\frac{(r-r_0)^2}{2\sigma^2}}$ ， $x_c, y_c$  为圆心  $c$  坐标。

此算子是一种经典的机器视觉算子，其中  $I(x, y)$  是在坐标  $(x, y)$  处二维数字图像的灰度值， $*$  代表卷积；除以  $2\pi r$  是用于归一化； $G_{\sigma}(r)$  是标准差为  $\sigma$  的高斯函数，用于起平滑滤波作用。式(1)表示算子在以  $(x_c, y_c)$  为圆心，以  $r$  为半径的圆周  $ds$  上，对像素灰度值做积分，并把它归一化，再求差分，而与差分的极值所对应的坐标  $(x, y, r)$  就是所求圆的圆心和半径。整个算子的作用为一个以尺度  $\sigma$  模糊化的圆的边缘检测器，它可在参数空间  $(x_c, y_c, r)$  迭代求最优解。这种由粗到细的迭代搜索，使寻找的内边缘可达到单像素精度。在搜索外边缘时，由于眼睑的影响，积分路线  $ds$  仅限于左右两边，而在找内边缘时，积分路线  $ds$  则是闭合的圆周，因此为了进一步精确定位虹膜，Daugman 用相似的算法来检测上下眼睑的边界，这时算子的积分路径  $ds$ ，即从圆变为圆弧。

### 2.2 Wildes 算法

(1) Wildes 系统<sup>[5~7]</sup>其寻找边界的过程可分如下两步：①图像灰度信息被转化为一个二值化边界图；②通过边缘点投票来得到特别的边界参数值。其中边界图是通过基于成分的边缘检测来得到的，这个操作包括阈值化图像，也就是利用以下算子将图像阈值化

$$\left| \text{grad } G(x, y) * I(x, y) \right|$$

$$\left| \text{grad} \equiv \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right) \right|$$

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

$I(x, y)$  是在坐标  $(x, y)$  处图像的灰度值； $*$  为卷积； $G(x, y)$  是以  $(x_0, y_0)$  为圆心，标准差为  $\sigma$  的二维高斯函数，其作用是用于平滑图像，以确定边界； $\text{grad}$  是二维拉普拉斯微分算子。二维高斯函数和拉普拉斯微分算子组合后与图像进行卷积，便可得到图像边缘。

(2) 投票过程可用 Hough 变换实现。特别对圆形内外边界和一些边界点  $(x_j, y_j)$ ， $j = 1, \dots, n$ ，Hough 变换定义为

$$H(x_c, y_c, r) = \sum_{j=1}^n h(x_j, y_j, x_c, y_c, r) \quad (3)$$

$$h(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = 0 \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

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

对每个边界点  $(x_j, y_j)$ ， $g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = 0$ ，而每对三维参数  $(x_c, y_c, r)$  则表示过此边界点的圆。相

应的,如果那些具有最大  $H$  函数值的三维参数和最大边界点数等价,则它们就是表示边缘的参数。在实际执行中,搜索最大参数集的过程就是计算  $H$  数组,这个数组可用  $(x_c, y_c, r)$  的离散表示值做下标,然后扫描数组,即可得到数组元素最大值。上下眼睑的边界可用参数化的弧来代替圆参数。就像 Daugman 系统依靠标准算法来定位虹膜一样,用 Hough 变换进行边缘检测也是一种基本的定位简单边界的机器视觉算法。

### 3 利用分块统计的算法

#### 3.1 数学模型与预处理

由于虹膜内外边缘具有近似圆的几何特性,因此可以用圆的数学模型来描述虹膜,但严格地说,内外两圆的圆心并不重合。假设对人眼是直立拍照的,由于瞳孔(内圆)圆心会比虹膜(外圆)圆心更偏向鼻梁及偏下,因此描述虹膜的数学模型是由两个不同心的内外圆所组成的近似圆环。若要求有更高的定位精度,还可用圆弧来表述虹膜与眼睑的边缘。为了使虹膜图像有足够丰富的纹理,以便提取特征,虹膜半径至少要达到 70 个像素,在实际使用中,虹膜半径在 100 个像素以上。

由于采集的原始图像不可避免地存在噪声点,所以在精确定位前必须先对图像进行滤波降噪。通常用滤波器(如中值滤波器、高斯低通滤波器)就可达到去除噪声点的目的。其中,中值滤波器简单来说,就是用一个活动模板沿图像进行逐行逐个像素移动,每次移动把模板中心位置的像素灰度值置为窗口内所有像素灰度的中值;图 2、图 3 是原始图像经过高斯低通滤波后的虹膜图像及其灰度统计直方图。未归一化及已归一化高斯低通滤波器数学表达式为

$$G_f(x, y) = e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

$$G(x, y) = \frac{G_f(x, y)}{\sum_{n_1} \sum_{n_2} G_f} \quad (4)$$

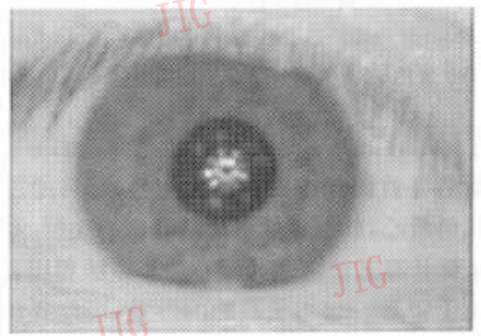


图 2 滤波后的虹膜图像

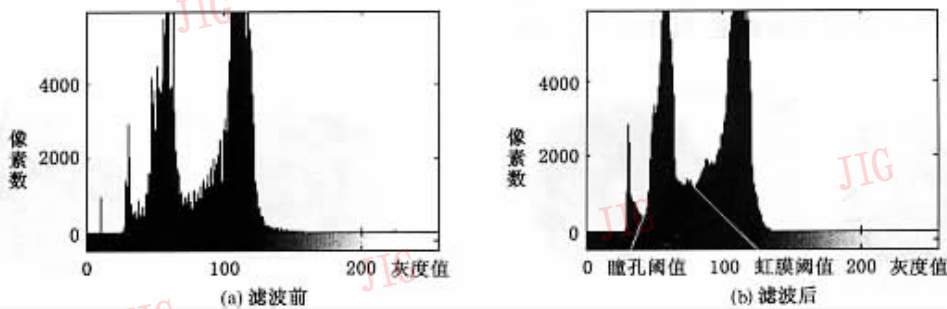


图 3 滤波前后的虹膜图像灰度统计直方图

一般来说,  $\sigma$  值越大,平滑尺度越大,即经过高斯低通滤波器作用后的图像变得越模糊。实验中取  $\sigma$  为 0.5。

#### 3.2 分块统计

本算法分如下两步:

(1) 阈值化虹膜图像,并分别建立虹膜和瞳孔的二进制位图。这与 Wildes 系统的想法是相同的,但与本文方法不同,其优点在于利用图像灰度统计直方图的信息,可降低算法的时间复杂度。从虹膜图像滤波后的灰度统计直方图(图 3)可看出,直方图曲线有两个谷值:前一个谷值灰度值小,对应着瞳孔

(内圆)的阈值  $T_{Pupil}$ ;后一个谷值灰度值对应着虹膜(外圆)的阈值  $T_{Iris}$ 。下面以计算瞳孔的参数来说明此算法的流程。按照如下公式建立二进制位图。

$$B(x, y) = \begin{cases} 1 & I(x, y) \leq T_{Pupil} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$I(x, y)$  是图像在坐标  $(x, y)$  处的灰度值,  $B$  是建立的二进制位图。对图像中灰度值大于  $T_{Pupil}$  的点置为 1,灰度值小于  $T_{Pupil}$  的点则置为 0。这样就得到关于瞳孔的二进制位图。

(2) 计算二进制位图中面积最大色块的几何质心和半径,其是否归入相同色块,可用 8-连通标准

判定。色块面积最大,表明色块包含的像素点最多。本文采用游长编码(Run Length Code)来寻找色块,这是一种简单且高效的算法。虽然游长编码一般用于压缩,是一种典型的压缩算法,但本文仅借用其算法思想,即利用图像中的重复像素值,同时使用一个起始像素代表具有相同值的一连续像素串,并用一整数代表这个串的长度来寻找色块。由于二进制位图可被分为色段,且色段间的连通性只存在两行之间,因此可通过查找当前行与上行的8-连通来进行色段的合并以组成色块。此段伪码描述如下:

```
for (rowi of Bitmap)
  for ( colj of Bitmap)
  {
    if (Bitmap(rowi,colj)=1)
      Merge into ColorLine or New ColorLine //
      ColorLine 是色段
  }
  Merge ColorLine into ColorBlock //ColorBlock 是色块
```

最后寻找图像中面积最大的色块,再通过计算它的几何质心,就得到所求的瞳孔圆心坐标。虹膜的圆心坐标计算方法与瞳孔圆心计算方法相同。

由于瞳孔一般均受眼睑的影响,因此要使用不同的方法来计算瞳孔与虹膜的半径。因为瞳孔并未被遮拦,所以其在图像中近似圆形。由于瞳孔圆心已在第2步中得到,而边界点也确定,因此瞳孔半径就

是所有内圆边界点到圆心距离的平均值。为了计算虹膜半径,必须先做截图处理,其目的在于去除眼睑的影响。这样虹膜半径就是截图处理后的所有外圆边界点到圆心距离的平均值。

## 4 实验结果

本文算法可用 Visual C++ 来实现。如前文所述,由于内外两圆并非同心圆,实际上程序需要计算的参数有瞳孔圆心纵坐标、瞳孔圆心横坐标、瞳孔半径、虹膜圆心纵坐标、虹膜圆心横坐标和虹膜半径6个。图4为根据以上计算得到的参数来在原图中定位虹膜的示意图。Daugman 算法和 Wildes 算法虽全都能得到很好的定位结果,而且它们都用圆弧或抛物线表述虹膜与眼睑的边缘,但笔者发现,由于用简单的分割处理(如直线分割)就能保证虹膜有足够的特征用于唯一辨别,而且进行身份识别过程中,也不可能保证眼睑在每次采集的图像中都在同一位置,因此,虹膜定位可采用简单分割处理。在算法的时间复杂度上,由于 Daugman 的迭代求最优解和 Wildes 的 Hough 变换都需进行三维参数空间搜索,因此比较耗时,虽然有些文献介绍了一些减少搜索范围的方法<sup>[8]</sup>,但总的来说还是非常耗时。

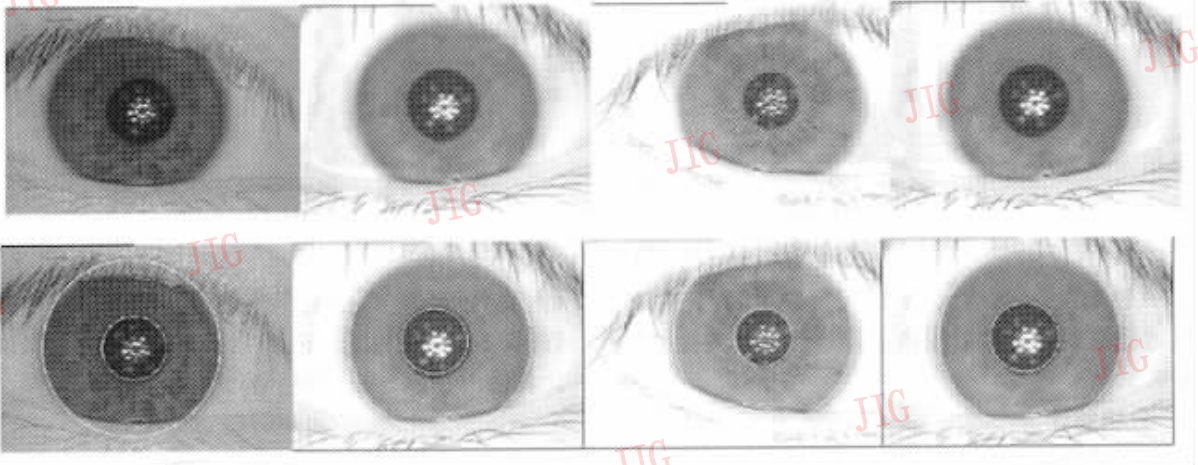


图4 虹膜定位示意图

## 5 结论

本文主要介绍了一种新的虹膜定位算法。与现

有的算法比较,Daugman 虹膜系统的定位算法是利用一个微积分算子来计算虹膜参数,Wildes 系统则先用二维高斯函数结合拉普拉斯算子来寻找虹膜边缘点,再用 Hough 变换来得到虹膜参数,而本文提

出的算法则是在阈值化分割图像后,再通过寻找面积最大色块的质心和计算边界点到质心距离的均值来得到虹膜参数。虽然 3 种算法都是有效的,但本文的算法较为简便,且时间复杂度较低,速度较快。

### 参 考 文 献

- 1 Daugman J G. Complete discrete 2-D Gabor transform by neural networks for image analysis and compression [J]. IEEE Transactions on Acoustic, Speech and Signal Processing, 1988, 36(7): 1169~1179.
- 2 严民军,汪云九. 虹膜的计算机识别原理[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(4): 348~350.
- 3 Daugman J G. High confidence personal identification by rapid video analysis of iris texture [A]. In: Proceedings IEEE International Canrnahan Conference Security Technology [C], Tannan, Tanwan, China, 1992:1~11.
- 4 Daugman J G. Biometric personal identification system based on iris analysis[P]. U. S. Patent 5 291560, 1994.
- 5 Wildes R P. Automated iris recognition: An emerging biometric technology[J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(9): 1348~1363.
- 6 Wildes R P, Asmuth J C, Green G L, *et al.* A system for automated iris recognition [A]. In Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision [C], Sarasota, FL, USA, 1994: 121~128.

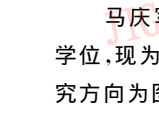
- 7 Wildes R P, Asmuth J C, Green G L, *et al.* A machine vision system for iris recognition[J]. Machine Vision and Applications, 1996, 9(9): 1~8.
- 8 何家峰,廖曙铮. 虹膜定位[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(3): 252~255.



李动恒 1982 年生, 2003 年获中国科技大学学士学位。主要研究方向为图像处理、生物特征识别、计算机视觉等。



殷珊珊 1981 年生, 现为中国科技大学研究生。主要研究方向为图像处理、生物特征识别。



庄镇泉 1938 年生, 中国科技大学教授, 博士生导师。主要研究方向为智能信息处理、图像处理等。

马庆军 1979 年生, 2003 年获中国科技大学学士学位, 现为中国科学院技术物理所硕士研究生。主要研究方向为图像处理、信号处理。