

文章编号: 1000-2022(2003) 03-0402-06

## 基于虹膜的身份识别技术

沈 怡, 傅德胜

(南京气象学院 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 虹膜识别是近年来新兴的生物识别方法, 它以其简单的算法、快速的识别和极低的错误识别率逐渐应用到一些重要领域。对虹膜识别的 Daugman 算法进行了以下改进: 积分微分算子结合梯度分解哈夫变换来定位虹膜, 利用多通 Gabor 滤波提取虹膜特征。有效地克服了 Daugman 算法中非散射人工光源引起的亮点效应, 增强了虹膜识别的实用性和适应性。

**关键词:** 身份识别; 虹膜技术; Gabor 滤波; 梯度分解变换

**中图分类号:** TP391. 41; O235 **文献标识码:** A

现在, 银行、互联网交易等需要验明身份的领域大多采用密码识别和智能卡的方法。但是记忆众多的密码令人头痛, 而且很容易遗忘或被人窃取; 智能卡也存在着安全隐患。显然传统的识别手段已经不适应越来越繁复的现代生活的需要。生物识别根据人体自身的特征, 如指纹、声音、虹膜等来识别个人的身份, 识别率高, 因此在重要部门的合法进入、计算机网络登录安全控制、信用卡持卡人的身份确认等领域有着广泛的应用。虹膜, 作为重要的身份鉴别特征, 具有唯一性、稳定性、可采集性、非侵犯性(非接触式)等优点。与脸像、声音等身份鉴别方法相比, 虹膜具有更高的准确性。到目前为止, 虹膜识别的错误率是各种生物特征识别中最低的, 虹膜识别技术与相应的算法结合后, 可以达到很高的准确度, 即使全人类的虹膜信息都录入到一个数据库中, 出现认假和拒真的可能性也相当小。

目前, 虹膜识别技术已应用到商业领域, 如 Siemens Nixdorf 公司将 Sensar 公司的虹膜身份识别技术集成到自动取款机上, Oki 电气工业公司和日本赛马协会联合研制了赛马虹膜身份鉴别系统等。虹膜识别算法中具代表性的有 Daugman 和 Wildes 算法以及 Boles 等人提出的一种基于小波变换过零检测(Wavelet Transform Zero Crossing)的虹膜识别算法。本文对较有代表性的 Daugman 算法进行了改进, 有效地克服了非散射人工光源引起的亮点效应, 增强了虹膜识别的实用性和适应性。

### 1 虹膜生理特征

虹膜是瞳孔与巩膜间的环形可视部分, 其表面包含了丰富的信息, 如腺窝、皱褶、色素斑

收稿日期: 2002-09-03; 改回日期: 2002-10-28

基金项目: 江苏省高校自然科学基金项目(02KSD520005)

作者简介: 沈 怡(1978-), 女, 江苏兴化人, 硕士生, 研究方向: 图像集成处理与模式识别。

等,它在两到三岁之后就不再发生变化。另外,由于发育完全的虹膜不易受到外界的伤害而产生变化,因此没有任何虹膜的形状是完全相同的,即使同一个人的左眼和右眼的虹膜,形状也不相同。虹膜的高度独特性、稳定性及不可更改的特点,是虹膜可用作身份鉴别的物质基础。

## 2 虹膜识别系统

一个完整的虹膜身份识别系统主要由在线模块和离线模块两部分构成(图1)。

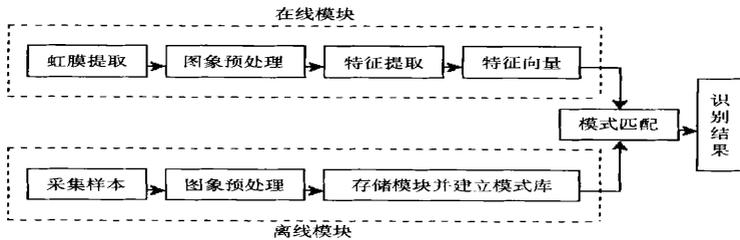


图1 虹膜识别系统

Fig. 1 Iris recognition system

### 2.1 离线模块

离线模块的主要作用是采集目标人的虹膜样本,建立虹膜特征向量数据库,以备和新样本参考比较。虹膜样本的获取采用红外成像技术,即利用红外线对人眼虹膜进行录像,然后把录下的虹膜纤维图案转换成数字信息并输入计算机。最后虹膜的可视特征被转换成一个512字节的Iris Code(虹膜代码),这个代码模板被存储下来以便后期识别使用。虹膜获取系统由红外光源、摄像头、计算机组成。

### 2.2 在线模块

在线模块现场提取虹膜图像,经预处理后建立虹膜特征向量,然后与样本库模板进行匹配识别。

## 3 识别处理过程

### 3.1 虹膜边缘的定位

采集到的眼部图像,虹膜灰度大于瞳孔灰度而小于巩膜灰度(图2)

Daugman 算法<sup>[1]</sup>使用积分—微分算子(Integro-Differential Operators)来检测中心和虹膜的直径以及瞳孔。这时虹膜的内外边缘可看成一组近似的同心圆(两个圆心并不完全重叠)。

$$\max(r, x_0, y_0) = \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \int_0^{2\pi} I(r \cos \theta + x_0, r \sin \theta + y_0) d\theta \right\}. \quad (1)$$

其中 $(x_0, y_0)$ 是检测边界的中心, $r$ 是半径, $I$ 是灰度分布函数。实践中发现,当非散射的人工光源直接照射人眼时会产生反射的亮点,此时用积分—微分算子来检测内边缘时就会失败。

为克服这一缺陷,本文先利用一种边缘计算技术找出瞳孔中心球形区域在眼睛的近似位置,然后再使用积分—微分算子精确地找出瞳孔、虹膜和巩膜的边缘,效果良好,具体算法为

(1) 粗定位找出虹膜中心和半径( $x$ 和 $y$ 为灰度坐标, $G_x$ 和 $G_y$ 为灰度投影量)

$$x_0 = x \pm \frac{r}{1 + \frac{G_y^2}{G_x^2}}, \quad (2)$$

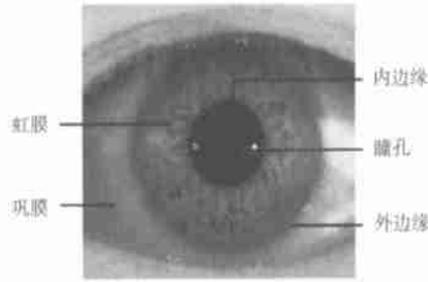


图 2 虹膜的内外边缘

Fig. 2 The inner and outer boundaries of iris

$$y_0 = y \pm \frac{r}{1 + \frac{G_x^2}{G_y^2}} \quad (3)$$

(2) 检测边界的中心坐标为

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad (4)$$

(3) 虹膜边缘的精定位

$$\max(r, x_0, y_0) \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \int_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (5)$$

其中,  $G_\sigma(r)$  为高斯函数, 由于高斯函数的傅氏变换仍是高斯函数, 所以  $G_\sigma(r)$  在空间域和频域都可以起到平滑滤波的作用。\* 定义卷积, 式(5)实质上是一个以尺度  $\sigma$  模糊化的圆形边缘探测器。它对瞳孔边缘或虹膜外边缘的定位过程是在  $(r, x_0, y_0)$  3 参数空间不断迭代以求得最优解的过程(即求最大值)。

由于瞳孔边缘有时可能比较模糊, 它的定位要对式(5)进行改进

$$\max(r, x_0, y_0) \left| \frac{G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \int_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds}{\lambda + \left| \frac{\partial}{\partial r} \int_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds - E \right|} \right| \quad (6)$$

式中,  $E$  为估计的瞳孔中心邻域内像素灰度值的均值, 为避免分母中的绝对值表达式为零时会引起奇异, 引入很小常数  $\lambda$ 。由于瞳孔的灰度分布总是均匀的, 因此, 当某个搜索的圆弧与瞳孔边缘很好地匹配时, 式(6)的分母非常小, 因而有一个突跃值<sup>[2]</sup>。由于虹膜外边缘和巩膜的灰度差异大, 所以定位虹膜外边缘直接用式(5), 但为去除眼皮对虹膜的干扰, 要将积分区域限制在  $-\frac{\pi}{4} \sim \frac{\pi}{4}$ 、 $\frac{3\pi}{4} \sim \frac{5\pi}{4}$  两个区间内。

### 3.2 坐标变换

以虹膜的中心为两坐标系的共同原点, 将原直角坐标系转化为极坐标系以利于特征提取和去除其他无用信息, 即  $I(x(\rho, \theta), y(\rho, \theta)) = I(\rho, \theta)$

$$\begin{cases} x(\rho, \theta) = (1 - \rho)x_p(\theta) + \rho x_i(\theta), \\ y(\rho, \theta) = (1 - \rho)y_p(\theta) + \rho y_i(\theta), \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} x_p(\theta) = x_{p0}(\theta) + r_p \cos \theta, \\ y_p(\theta) = y_{p0}(\theta) + r_p \sin \theta, \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} x_i(\theta) = x_{p0}(\theta) + r_i \cos\theta \\ y_i(\theta) = y_{p0}(\theta) + r_i \sin\theta. \end{cases} \quad (9)$$

其中  $r_p$  和  $r_i$  分别是瞳孔和虹膜的半径;  $(x_p(\theta), y_p(\theta))$  和  $(x_i(\theta), y_i(\theta))$  分别是瞳孔和虹膜边缘在  $\theta$  方向上的坐标。

### 3.3 局部特征提取

#### 3.3.1 瞬时位相—发生频率

对一幅  $N \times M$  (像素值) 大小的实值图像  $f(n_1, n_2)$  构造解析信号

$$z(n_1, n_2) = f(n_1, n_2) + j g(n_1, n_2) = f(n_1, n_2) + j H[f(n_1, n_2)]. \quad (10)$$

其中,  $g(n_1, n_2)$  是  $f(n_1, n_2)$  的希尔伯特变换, 在傅立叶域中  $g(n_1, n_2)$  表示为

$$G(u, v) = \text{TF}[g(n_1, n_2)] = H(u, v) * F(u, v). \quad (11)$$

式中

$$H(u, v) = \begin{cases} -j, & u = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1; \\ +j, & u = \frac{N}{2} + 1, \frac{N}{2} + 2, \dots, N - 1; \\ -j, & u = 0, v = 1, 2, \dots, \frac{M}{2} - 1; \\ -j, & u = \frac{N}{2}, v = 1, 2, \dots, \frac{M}{2} - 1; \\ +j, & u = 0, v = \frac{M}{2} + 1, \frac{M}{2} + 2, \dots, M - 1; \\ +j, & u = \frac{N}{2}, v = \frac{M}{2} + 1, \frac{M}{2} + 2, \dots, M - 1; \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$$

然后, 将  $Z(u, v) = F(u, v) + j G(u, v)$  进行傅立叶逆变换得到  $z(n_1, n_2)$ 。实值图像  $f(\rho, \theta)$  用此种复扩张方法构成的图像  $z(\rho, \theta)$  称为解析图像。为使图像重建后与原图一致, 必须选用合适的滤波器。在采样前先作一次滤波, 把  $j_1, j_2 = 0$  的其他各个频谱像素单元滤掉, 将噪声限制在信号的有限带宽内, 达到采样后噪声功谱不再重叠的目的。对  $f(\rho, \theta)$  建立  $Q$  多分量调制模型<sup>[3]</sup>。首先, 将图像  $f(\rho, \theta)$  通过一个带通滤波器组分离  $Q$  主分量, 通道响应使用 3 个具有一倍频程带宽的带通滤波器进行分量分解, 在频域中, 通过海明窗 (Hamming Windows)  $X_1(u), X_2(u)$  的乘积构造二维滤波器

$$X(u, v) = X_1(u) X_2(v), \quad (12)$$

$$X_i(f) = a_i + (1 - a_i) \cos \pi \frac{f - f_{oi}}{f_{oi}}, \quad (13)$$

$$f_{oi} = \frac{\prod_{i=1}^Q f_{oi}}{\frac{1}{2} - a_i} \quad (14)$$

$$3 \arccos \frac{2 - a_i}{1 - a_i}$$

其中,  $f_{oi}$  是一维滤波器  $X_i$  在频率轴 ( $u$  或  $v$ ) 方向上的中心频率,  $a_i$  是滤波器的系数, 可将 -3 dB 带宽调整为一倍频程带宽。然后, 在通道响应中对  $z(\rho, \theta)$  应用一个单分量 FM 解调算法来识别 FM 分量调制函数

$$\Delta \mathcal{P}_i(\rho, \theta) = \arccos\left[\frac{Z(\rho, \theta+1) + Z(\rho, \theta-1)}{2z(\rho, \theta)}\right]. \quad (15)$$

在计算反余弦函数前要舍弃非零虚分量,此时,只关心 $\theta$ 角水平信息频率解调。 $\Delta \mathcal{P}_i(\rho, \theta)$ 的三个主频值构成一个发生频率矢量。而瞬时相位的代数表示为

$$\mathcal{Q}(\rho, \theta) = \arctan \frac{\text{Im}(z_i(\rho, \theta))}{\text{Re}(z_i(\rho, \theta))}. \quad (16)$$

解析技术的主要优点是计算效率高,因为虹膜图像的频谱能量主要集中在低频区域,这样经过傅立叶域滤波器、实滤波器滤去无用信息后,对虹膜每个点 $(\rho, \theta)$ 提取瞬时相位和发生频率的计算量将大大减少。

### 3.3.2 虹膜代码的生成

将模拟量表达的虹膜幅度图像变换成用二进制整数方式表达的离散分层图像。数字化仪把虹膜图像的每一个像素灰度信号样本与一组判定电平作比较,假如样本像素灰度落在某两个判定电平之间,则被量化到这个区内的一个固定的重建电平上去,同时给出一组相对应的编码。具体编码过程见参考文献[3]。

### 3.4 图像匹配

当虹膜图像转变成虹膜代码后,进行最后的识别工作,海明距(HD, Hamming Distance)<sup>[3]</sup>将待识虹膜代码和标准样本代码一位一位的对比找出差异。HD 的值设为 0.5,当匹配结果值  $[0, 0.5]$  时,拒绝通过,为假冒者;匹配值大于阈值则为真。

### 3.5 实验结果

实验 1: 从 5 名试验者提取 50 张虹膜图像(每只眼 5 张)分别用梯度分解哈夫变换(THGD, Gradient Decomposed Hough Transform)积分—微分算法和只用积分—微分算法进行虹膜定位。试验结果表明:当出现反射点时,前者检测中心的成功率为 100%,而后者由于没有预处理只有 86%,可见本文提出的算法大大提高了识别率。

实验 2: 测试受伪率(FAR, False Acceptance Rate)和拒真率(FRR, False Reject Rate)的大小。这次提取 300 张虹膜图像(每只眼获取 10 张),通过发生频率函数来比较 768 位长的代码。实验结果如图 3,该图波形为发生频率函数,横坐标是对应的概率分布( $X/100$ ),左右纵坐标分别对应假真两个函数,设定 0.41 为标准值。通过左右坐标对比计算,可以看出 FRR 低于 3%。

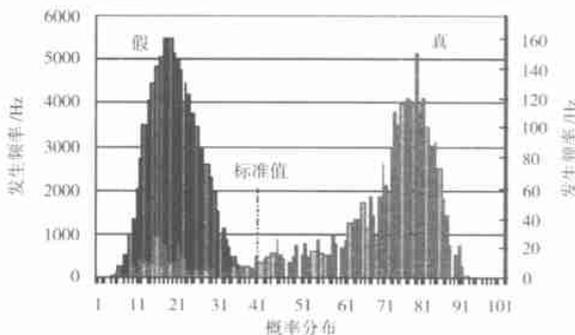


图 3 分布值

Fig. 3 Distribution scores

由于虹膜代码是通过复杂的运算获得的,并能提供数量较多的特征点,所以虹膜识别技术

是精确度最高的生物识别技术。

## 4 结 论

由于 Daugman 算法<sup>[1]</sup>存在着一些缺点, 本文对原有的算法进行了调整: 用 THGD 结合 Integro-Differential Operators 来定位虹膜的中心和半径; 提取特征前把直角坐标转换为极坐标; 采用多通 Gabor 滤波方法提取定位好的虹膜的局部特征; 最后用 HD 匹配虹膜代码。通过实验, 证实了该算法的正确性和可靠性。

## 参考文献:

- [1] Daugman J. High confidence visual recognition of persons by a text of statistical independence[J]. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intelligence, 1993, 15(11): 1 148-1 161.
- [2] 何家峰, 廖曙铮, 叶虎年, 等. 虹膜定位[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(3): 253-255.
- [3] 康 浩, 徐国治. 虹膜识别系统[J]. 电路与系统学报, 2000, 5(1): 11-15.

# Identification Recognition Technique Based on Iris

SHEN Yi, FU De-sheng

(Department of Computer Science and Technology, NIM, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** The biometric authentication technique based on the pattern of a personal iris is to be applied to any access control system requiring a high level of security due to its simple algorithms, fast recognition and low rate of false recognition. The Daugman algorithms used to recognize iris are improved in the following two aspects: 1) The iris is located by the combination of Gradient-Decomposed Hough Transform with Integro-Differential Operators; and 2) Characteristics of iris images can be collected by means of a multi-channel gabor filter, which have effectively solved the problem of a bright point effect aroused from non-scattered man-made light in the Daugman algorithms and thus enhanced the usefulness and adaptability of iris recognition.

**Key words:** identity recognition; iris technology; gabor filter; gradient-decomposed Hough transform