

文章编号: 0253-2239(2007)11-2047-7

一种基于局部信息统计的虹膜分块编码方法^{*}

苑玮琦 徐 露 林忠华

(沈阳工业大学视觉检测技术研究所, 沈阳 110023)

摘要: 由于虹膜自身的稳定性、非侵犯性、不可更改性等优点, 虹膜识别已经成为生物特征身份鉴别领域中的研究热点。但虹膜丰富的纹理和复杂的结构给特征提取和编码带来了很大困难。为尽可能地简化特征提取和编码方法, 提高虹膜识别效率, 提出了一种基于局部信息统计的虹膜分块编码方法。对原始人眼图像进行虹膜定位等预处理操作, 得到归一化的虹膜纹理图像; 分别根据虹膜局部信息与全局信息、局部信息与局部信息之间的比较关系进行分块编码; 计算了不同虹膜代码之间的汉明(Hamming)距离。根据汉明距离给出识别结果。实验证明该方法有效、可行, 具有较高的识别率和识别速度。

关键词: 医用光学与生物技术; 生物特征; 虹膜识别; 特征提取; 编码

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

An Iris Block-Encoding Method Based on Statistic of Local Information

Yuan Weiqi Xu Lu Lin Zhonghua

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023)

Abstract: Thanks to many advantages of the iris, such as stable, nonintrusive, and unchangeable, iris recognition has been a research hot-subject in the biometrics identification field. However, the abundant textures and complex structures of irises lead to a great number of troubles for feature extraction and encoding. In order to simplify the feature extraction and encoding method and improve the efficiency of iris recognition, an iris block-encoding method based on statistic of local information is proposed. Firstly, it achieves preprocessing of the original eye image, such as iris localization, and gets the normalized iris features image. Secondly, according to the comparative relationships between local information and global information, local information and local information, it accomplishes the iris block-encoding. Thirdly, it calculates the Hamming distance between different iris codes and obtains the recognition result according to Hamming distance. Experimental results demonstrated that the proposed method is effective and feasible. It also has high recognition accuracy and speed.

Key words: medical optics and biotechnology; biometrics; iris recognition; features extraction; encoding

1 引 言

生物特征身份鉴别技术是指计算机利用人体所固有的生理特征或行为特征进行个人身份鉴别^[1]。生理特征身份鉴别技术主要有指纹识别、掌纹识别、人脸识别和虹膜识别等, 行为特征身份鉴别技术主要有签名识别、步态识别等^[1]。虹膜识别技术^[2~14]是近年来兴起的一种生物特征身份鉴别技术。复杂的结构使虹膜具有丰富的可区分性纹理特征, 并具有稳定性、非侵犯性、不可更改性等优点, 成为目前

准确率最高的生物特征身份鉴别技术之一。

Daugman^[2,3]利用多尺度伽博(Gabor)滤波器对虹膜纹理进行局部相位量化和编码, 用汉明(Hamming)距离来测量一对虹膜代码之间的差异; Wildes^[4]采用高斯-拉普拉斯(Gauss-Laplacian)滤波器在不同分辨力下分解虹膜图像, 将对应的图像进行相关性比较; Boles等^[5]通过计算一维小波变换在不同分辨力级上的过零点来描述虹膜特征, 用两个不同的函数进行匹配; 王蕴红等^[6]采用伽博滤波

^{*} 国家自然科学基金(60672078)和辽宁省自然科学基金(20042028)资助课题。

作者简介: 苑玮琦(1960—), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事机器视觉检测、图像处理与模式识别、生物特征识别、基于 DSP 的图像采集与处理系统等方面的研究。E-mail: yuan60@126.com

收稿日期: 2007-03-15; 收到修改稿日期: 2007-05-08

和 Daubechies-4 小波变换等纹理分析方法进行特征提取,用方差倒数加权欧氏距离进行匹配;马力等^[7]构造一系列的一维强度信号来有效地表示原始二维虹膜图像中最重要的局部信息,利用一组特殊小波获取局部峰值变化点的位置序列,将该序列作为特征,采用异或操作的快速匹配方法计算两个位置序列之间的相似性;苑玮琦等^[8]直接将不同的纹理图像进行匹配得到识别结果。

虹膜复杂的结构给特征提取和编码带来了很大的困难。为尽可能地简化特征提取和编码方法,提高虹膜识别效率,提出一种基于局部信息统计的虹

膜分块编码方法。首先,对原始人眼图像进行虹膜定位等预处理操作,得到归一化的虹膜纹理图像;分别根据虹膜局部信息与全局信息、局部信息与局部信息之间的比较关系进行分块编码;计算不同虹膜代码之间的汉明距离,根据汉明距离给出识别结果。

2 图像预处理

实验使用的图像来自中科院自动化所提供的 CASIA 1.0 虹膜数据库^[15],图像样本如图 1 所示,图像下方是其在数据库中的编号。

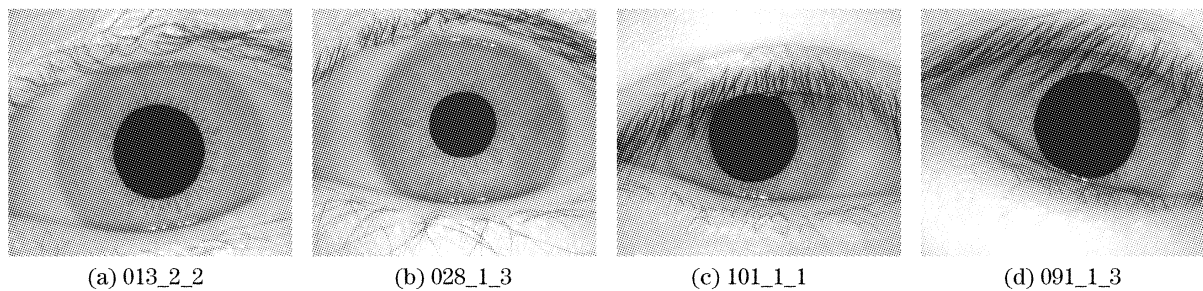


图 1 CASIA 1.0 数据库中的 4 个样本

Fig. 1 Four samples in CASIA 1.0 database

图像预处理包括虹膜定位和归一化。图像采集设备捕获的是人眼图像,不仅包含虹膜,往往还有眼睑、瞳孔、巩膜等无关区域。采用文献[13]中给出的方法进行虹膜定位,可以准确地确定虹膜的位置和大小,将虹膜从图像中分离出来。以最接近真实边界的程度找到虹膜的内外边界,既没有其他多余的区域也不会丢失任何纹理信息。在经过虹膜定位得到的内外边界之间包含了全部的有效虹膜纹理。在获取人眼图像时,由于光照变化引起的瞳孔缩放以

及镜头与人眼距离的不同,会造成虹膜在人眼图像中的大小不同。虹膜纹理的这种弹性变形将会影响到特征提取和匹配的结果。为了得到更加准确的识别结果,在预处理时必须对这种变形进行一定的补偿,并将虹膜的大小和比例调整到统一的标准,即归一化。图 2 给出了对编号为 075_1_1 的图像进行预处理的结果。其中,图 2(a)为原始人眼图像,图 2(b)为虹膜定位结果图像,图 2(c)为归一化的虹膜纹理图像。

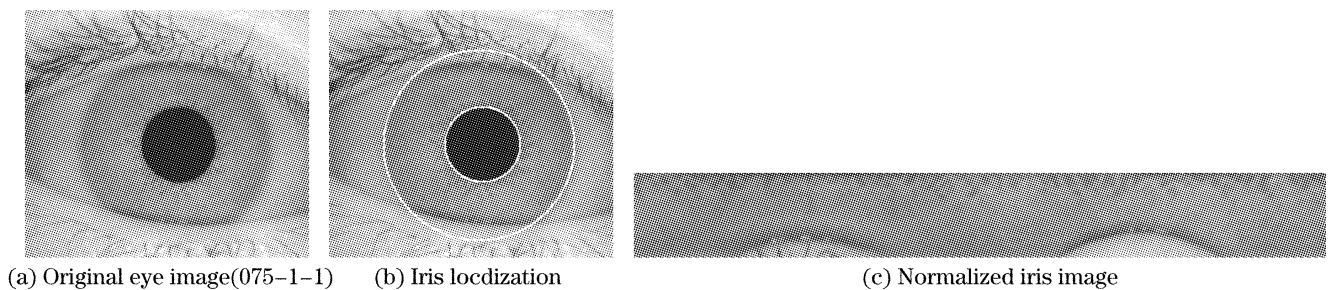


图 2 图像预处理的结果

Fig. 2 Results of image preprocessing

3 虹膜分块编码

本文提出的方法将纹理图像的局部信息作为依据,通过局部信息与全局信息、局部信息与局部信息之间的不同关系来表示纹理特征。

3.1 局部信息统计

描述整幅图像的各种参量包括图像的大小、颜

色(灰度)、亮度、衬比度等等。理论上,如果全局信息的数量和可区分性达到一定程度,就可以直接将两幅纹理图像的全局信息作为匹配的依据,实现虹膜识别。但实际上虹膜纹理图像的全局信息无法满足虹膜识别的要求。

通常,基于局部特征提取的虹膜识别方法主要

有两种：一种是利用信号处理方法提取纹理的频率和方向等局部信息作为特征，采用编码的方式表示特征；另一种是通过图像处理手段提取纹理的位置、大小、形状等局部信息作为特征，采用特征向量或特征图像的方式进行匹配。本文提取虹膜纹理图像内部的两种比较关系作为可区分特征，仍然采用编码的方式表示特征。无论是局部信息与全局信息比较，还是局部信息与局部信息比较，最终都是把局部信息作为区分特征，因此该方法是基于局部信息的。

3.2 编码的基本原理

考虑到特征表示的有效性和方法实现的计算代价，将灰度均值和标准差作为描述信息的参量。全局均值和标准差对整幅图像进行度量，是对整幅图像强度和衬比度的描述；局部均值和标准差是对某个区域内强度和衬比度的度量。通常虹膜识别技术使用的是 256 位的灰度图像，某一区域内的灰度均值可以反映出亮度信息，标准差则可以反映出该区域内的衬比度信息，而亮度和衬比度又是描述图像的关键信息。

由于均值和标准差属于数学统计量，因此将该方法称为基于局部信息统计的编码方法。

设输入图像 I 为 256 位的灰度图像，其大小为 $H(\text{行}) \times W(\text{列})$ ，则可以按(1)式来计算全局信息：

$$\begin{cases} \mu = \frac{1}{W \times H} \sum_{x=1}^W \sum_{y=1}^H f(x, y), \\ \sigma = \sqrt{\frac{1}{W \times H} \sum_{x=1}^W \sum_{y=1}^H [f(x, y) - \mu]^2}, \end{cases} \quad (1)$$

式中 μ 表示均值， σ 表示标准差， $f(x, y)$ 表示图像 I 中坐标为 (x, y) 处的灰度值。纹理图像的全局信息虽然不能作为不同虹膜的可区分特征直接用于虹膜分类，却可以作为衡量图像内部变化情况的参考。

相对于整幅图像而言，任何一条纹理都是一个局部区域，描述该纹理的信息就是局部信息。但是，不经过复杂的图像处理或者信号处理等手段，无法找到这些虹膜纹理。由于本文提出的编码方法不需要准确地提取出虹膜纹理，因此采用对图像分块的方式来覆盖纹理。将虹膜纹理图像划分成大小相等的矩形块，则每一块就是一个局部区域。在每一个块内，有三种不同情况：

1) 该块完全覆盖了一条纹理，即某一纹理的面积大于等于该块的面积，并与该块的位置相同；

2) 该块没有覆盖住任何纹理，即该块落在了没有纹理的背景区域内；

3) 该块内既包含了一定的纹理面积，又有一些

背景区域，即该块落在了纹理边缘处或纹理面积很小。

尽管块内的情况不同，但是灰度均值和标准差能够描述块内的信息。因此，计算纹理图像的局部信息也就是计算每块的均值 μ_i 和标准差 σ_i 。局部信息同样可以通过(1)式来计算。另外，将图像划分成块以后，还要将所有的块按从上至下、从左至右的顺序排列，设第 i 块为 Block_i ，其对应的 4 个编码位为 $\text{bit}_i^1, \text{bit}_i^2, \text{bit}_i^3, \text{bit}_i^4$ 。

局部信息与全局信息之间的比较关系可以将不同虹膜的可区分特征提取出来。与上述块内的三种情况相对应，局部信息与全局信息之间有三种比较关系：

1) 由于纹理区域在图像中的灰度较低，因此块内的均值应该小于整幅图像的均值，块内的标准差也应该小于整幅图像的标准差，这是因为纹理内部灰度比较一致，变化并不明显，即衬比度较低；

2) 由于背景是图像中灰度较高的区域，因此块内的均值应该大于整幅图像的均值，块内的标准差同样应该小于整幅图像的标准差，这是因为背景内部的衬比度也比较低；

3) 由于块内既有纹理又有背景，灰度范围比较大，因此块内的均值应该接近于整幅图像的均值，块内的标准差却应该大于整幅图像的标准差，这是因为块内的灰度变化比较大，即有明显的衬比度，这样才能看见纹理。

对于不同的纹理图像，相同位置的块与全局信息的关系不会完全不同，这就是纹理图像内部的一种可区分特征。可以利用二者的关系来表示不同的虹膜模式。若块内均值 μ_i 小于全局均值 μ_0 ，则用 0 表示这种关系，否则用 1 表示；相似地，若块内标准差 σ_i 小于全局标准差 σ_0 ，则用 0 表示，否则用 1 表示。分别用编码位 bit_i^1 和 bit_i^2 记录局部信息与全局信息之间的关系。

任意的相邻两块之间存在着一定的比较关系，这种比较关系间接地反映出了纹理之间的距离、面积比、灰度对比等信息。而不同虹膜的纹理图像内部的这种关系必然不同，因此局部信息之间的关系也可以作为图像内部的一种可区分特征。若当前块内均值 μ_i 小于其右侧相邻块内均值 μ_{i+1} ，则用 0 表示，否则用 1 表示；若当前块内标准差 σ_i 小于其右侧相邻块内标准差 σ_{i+1} ，则用 0 表示，否则用 1 表示。分别用编码位 bit_i^3 和 bit_i^4 记录局部信息与局部信息之间的关系。

用每块的四个编码位记录下来图像内部的两种关系以后,按照从上至下、从左至右的顺序,将 Block_1 至 Block_n 的编码位全部串接起来(设共分成 n 块),就得到了能够表示纹理图像可区分特征的二进制虹膜代码,记为 $\{\text{bit}_1^1, \text{bit}_1^2, \text{bit}_1^3, \text{bit}_1^4, \dots, \text{bit}_n^1, \text{bit}_n^2, \text{bit}_n^3, \text{bit}_n^4\}$ 。图 3 给出了生成虹膜代码的示意图。

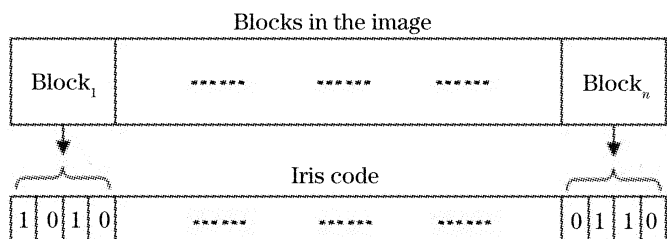


图 3 生成虹膜代码

Fig. 3 Generation of the iris code

3.3 分块的原则

考虑到虹膜自身的结构特征和算法的稳健性等问题,在对纹理图像进行分块时必须遵循如下原则:

1) 块既不能太大也不能太小。参考图 2(b)和图 2(c)可以看出,归一化图像中的纹理实际上面积都不大。如果将块设计的过大,会发生一块区域内包含多条纹理的情况,使得局部信息与全局信息之间的比较关系无法正确反映出图像内部的纹理特征,不能起到覆盖纹理的作用,失去了分块的意义。同时,如果将块设计的过小,虽然能够更加准确地覆盖纹理,却造成了编码长度过长,计算代价过大的问题,降低了方法的实时性。

2) 块的形状应该是水平方向窄、竖直方向宽的矩形。虹膜纹理由瞳孔向外呈放射状结构,反映在归一化图像中,就是沿竖直方向分布的。并且虹膜纹理大多呈细长的条状,因此矩形分块将更加适合于覆盖纹理。即使某些纹理不符合上述特点,也可以通过在适当的范围内调整块的大小来覆盖这样的纹理。

3) 块与块之间不能重叠。如果相邻块之间有一定重叠的面积,就会发生两块同时覆盖住同一纹理的相同区域的问题。将导致局部信息与局部信息之间的比较关系无法正确反映出不同纹理之间的距离、面积比等信息,同样失去了分块的意义。

4) 在合适的范围内,可以按照不同的大小对图像进行多次分块。虹膜纹理的大小并不相同,只用一种大小的块去覆盖纹理显然是不够的。因此,在遵循了上述第一个原则的前提下,可以多次分块、多次编码,将这些不同大小的分块得到的编码串接在一起作为虹膜代码。多次分块组合编码可以照顾到

各种面积不同的纹理,以便尽可能多地提取出虹膜纹理图像中的可区分特征,提高方法的健壮性。

5) 在采集人眼图像时,头部的倾斜会造成虹膜在人眼图像中的旋转失真。尽管通常情况下旋转的角度不会太大,但同样会对识别结果造成不良的影响。旋转失真反映在归一化图像上是纹理的平移失真,可以通过将归一化图像分别向左右两边各平移一定的距离来进行调整。

3.4 编码的基本步骤

根据上述的编码原理和分块原则,可以将基于局部信息统计的虹膜分块编码方法的基本步骤总结如下:

1) 打开一幅虹膜图像,计算整幅图像的均值 μ_0 和标准差 σ_0 ;

2) 给块的大小赋初值,其中 w 为块的宽度, h 为块的高度,同时将计数器(counter)清零;

3) 按照大小为 $h \times w$ 对图像进行分块,并计算每块的均值 μ_i 和标准差 σ_i ;

4) 将每块的均值 μ_i 和标准差 σ_i 与整幅图像的均值 μ_0 和标准差 σ_0 进行比较,若满足“ \geq ”的关系,则将对应的编码位置为“1”,否则置为“0”;

5) 将每块的均值 μ_i 和标准差 σ_i 与其右侧相邻块的均值 μ_{i+1} 和标准差 σ_{i+1} 进行比较,若满足“ \geq ”的关系,则将对应的编码位置为“1”,否则置为“0”,并将得到的代码串接在步骤(4)中得到的代码之后,将计数器(counter)增 1;

6) 判断计数器(counter)是否满足结束条件 $\text{counter} < N$ (N 为分块次数),若不满足,则将块调整为另一种大小,重复步骤 3)~步骤 5)的操作;否则,退出循环,将前面得到的所有代码串接在一起。

4 虹膜代码匹配

经过虹膜分块编码的操作,得到能够有效地表示图像内部对应关系的二进制虹膜代码,可以采用汉明距离对不同的虹膜代码进行模式分类。之所以选择汉明距离,是因为这种分类方法简单实用、计算量小,且足以保证虹膜识别的模式匹配要求。设虹膜代码长度为 L 位,则虹膜代码 A 和 B 之间的归一化汉明距离 H 可以表示为

$$H = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L A_j \oplus B_j, \quad (2)$$

式中 A_j 和 B_j 分别表示虹膜代码 A 和 B 在第 j 位上的代码,“ \oplus ”表示异或运算。

5 实验结果与分析

实验使用的 CASIA 1.0 虹膜数据库共有 756 幅图像,包括 80 人 108 只不同眼睛的虹膜,每只眼睛有 7 幅 8 位灰度图像,分辨力为 280×320 。经过图像预处理操作,得到分辨力为 64×512 的归一化纹理图像。CASIA 1.0 数据库充分考虑了人眼自然张开时的各种情况,该数据库中图像的条件非常复杂。在大多数图像中,虹膜纹理都被眼睑和睫毛等干扰遮挡住一部分面积(如图 1 所示),只有少数图像中的全部虹膜纹理可用。为了测试提出的编码方法能否对不同的虹膜样本进行正确分类,必须在无任何干扰的情况下对该方法进行测试。为此从数据库中挑选出 30 类共 210 幅不同的人眼图像进行实验。这些图像在归一化图像中,由内边界向外不小于 50% 的面积中没有眼睑和睫毛等干扰[如图 2(c)所示]。

5.1 实验结果

实验中利用归一化图像中由内边界向外 50%

的面积进行编码,共进行 $C_{210}^2 = 21945$ 次匹配实验,其中类内(Intra Class)匹配 $30 \times C_7^2 = 630$ 次,类间(Inter Class)匹配 $21945 - 630 = 21315$ 次。图 4 给出了相关的实验结果。其中,图 4(a)左侧的曲线是类内匹配的汉明距离分布,其均值为 0.126833,标准差为 0.040758;图 4(a)右侧的曲线是类间匹配的汉明距离分布,其均值为 0.324165,标准差为 0.021867;两条分布曲线交叉处的汉明距离为 0.27,若令判别阈值 $T = 0.27$,则正确识别率(Correct recognition rate, CRR)为 99.95%,错误拒绝率(False reject rate, FRR)为 0.16%,错误接受率(False accept rate, FAR)为 0.04%。图 4(b)给出了该方法的接收者操作特征(Receiver operating characteristic, ROC)曲线,从接收者操作特征曲线上可以得到该方法的等错率(Equal error rate, EER)为 0.11%。

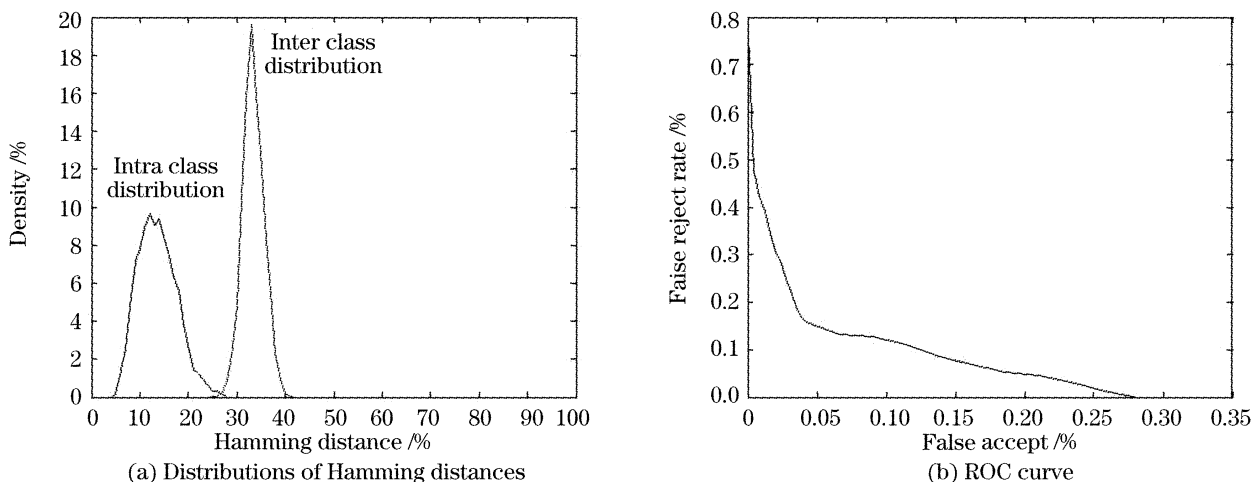


图 4 实验结果

Fig. 4 Experimental results

5.2 实验结果分析

从实验结果可以看出,尽管该方法的错误拒绝率、错误接受率、等错率都很低,但类内匹配和类间匹配的汉明距离分布仍然存在着一定的交叉现象。通过对发生错误的匹配实验进行二次实验和分析发现,实验中虽然尽可能地去掉了眼睑和睫毛等干扰,但为了保证测试样本的数量足够多,使得在有些样本的归一化图像中,由内边界向外 50% 的面积中仍

然有少量眼睑和睫毛等干扰,这些干扰导致了错误匹配的发生。图 5 中给出了 2 幅发生错误匹配的归一化图像。其中,图 5(a)由于眼睑干扰造成错误匹配,图 5(b)是由于睫毛干扰造成错误匹配。

如果图像在不同照明条件下获得,其亮暗程度将存在差别,但这不会对识别结果造成影响。其原因在于,该方法以灰度均值和标准差作为描述信息的参量,图像亮度的变化必然牵动全局信息和局部

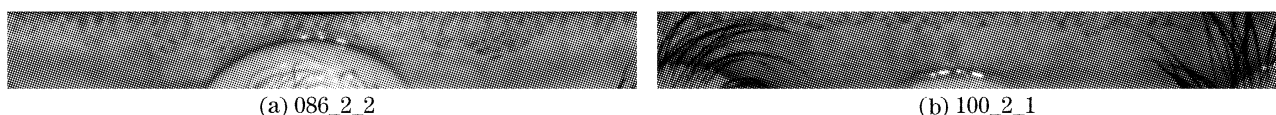


图 5 错误匹配图像示例

Fig. 5 Example images of error matching

信息以同样的趋势同时变化,而其相互之间的比较关系却保持不变;瞳孔受光照刺激的缩放引起的虹膜纹理变化也不会影响识别结果,这是因为预处理中的归一化操作可以对纹理的这种缩放失真进行一致性调整。

5.3 与其他方法的比较

文献[7]对几种经典的虹膜识别方法进行了重复性实验和详细的分析,实验使用的图像同样来自CASIA数据库。虽然数据库的版本不同,但样本图像的质量相同。文献[7]在实验中去掉了归一化图像中被眼睑和睫毛等干扰所遮挡的一部分面积,只

利用由虹膜内边界向外78%的面积,也是为了避免干扰对识别结果的影响,这与本文的实验方法具有相同的目的。文献[7]中的归一化图像与本文中的归一化图像具有相同的分辨力(64×512)。鉴于以上原因,认为5.1节中的实验结果与文献[7]具有可比性。为方便比较,将文献[7]中给出的实验数据和本文的实验数据共同列在表1中。另外,为使本文中有关识别时间的数据与文献[7]具有可比性,特地利用与文献[7]相同的实验条件对提出的编码方法所消耗的时间进行了测试,实验结果在表1的后3列中给出。

表1 与其他虹膜识别方法的比较

Table 1 Comparisons with other iris recognition methods

Methods	Correct recognition rate /%	Equal error rate /%	Feature extraction and encoding /ms	Matching /ms	Total /ms
Daugman	100	0.08	682.5	4.3	686.8
Wildes	—	1.76	210.0	401.0	611.0
Boles	92.64	8.13	170.3	11.0	181.3
Tan	99.19	0.57	426.8	13.1	439.9
Reference[7]	100	0.07	244.2	6.5	250.7
Proposed	99.95	0.11	109.6	43.8	153.4

6 结 论

提出一种基于局部信息统计的虹膜分块编码方法。充分利用虹膜纹理图像中局部信息与全局信息、局部信息与局部信息之间的比较关系,可以对虹膜特征进行有效而正确地表示;省去特征提取等复杂操作,直接对虹膜纹理图像进行二进制编码,大大降低了算法的复杂性;经过编码操作得到的虹膜代码简单且长度适中,通过简单的模式分类方法即可实现虹膜识别。实验结果证明,该方法有效可行、具有较高的识别率和识别速度。该方法还处于实验研究阶段,未来的工作可以在以下几个方面展开:1)对分块的尺度、次数、形状等做进一步研究,通过实验和分析找到最佳的分块方法;2)对去除眼睑和睫毛等干扰的方法进行研究,通过去除干扰的操作尽可能地提高正确识别率。

致谢 感谢中科院自动化所(北京)提供的CASIA虹膜数据库(版本1.0),使本课题得以顺利进行。

参 考 文 献

- 1 Anil K. Jain, Arun Ross, Salil Prabhakar. An introduction to biometric recognition [J]. *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, 2004, **14**(1): 4~20
- 2 John G. Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence [J]. *IEEE Transactions on*

- Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, **15**(1): 1148~1161
- 3 John Daugman. How iris recognition works [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004, **14**(1): 21~30
- 4 Richard P. Wildes. Iris recognition: an emerging biometric technology [J]. *Proc. IEEE*, 1997, **85**(9): 1348~1363
- 5 W. W. Boles, B. Boashash. A human identification technique using images of the iris and wavelet transform [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1998, **46**(4): 1185~1188
- 6 Wang Yunhong, Zhu Yong, Tan Tieniu. Biometrics personal identification based on iris pattern [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2002, **28**(1): 1~10 (in Chinese)
王蕴红,朱勇,谭铁牛. 基于虹膜识别的身份鉴别 [J]. *自动化学报*, 2002, **28**(1): 1~10
- 7 Li Ma, Tieniu Tan, Yunhong Wang *et al.*. Efficient iris recognition by characterizing key local variations [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, **13**(6): 739~750
- 8 Yuan Weiqi, Xu Lu, Lin Zhonghua. Iris identification method based on gray surface matching [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(10): 1537~1542 (in Chinese)
苑玮琦,徐露,林忠华. 基于灰度曲面匹配的虹膜识别方法 [J]. *光学学报*, 2006, **26**(10): 1537~1542
- 9 C. Sanchez-Avila, R. Sanchez-Reillo, D. de Martin-Roche. Iris-based biometric recognition using dyadic wavelet transforms [J]. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2002, **17**(10): 3~6
- 10 Kwanghyuk Bae, Scungin Noh, Jaihic Kim. Iris feature extraction using independent component analysis [J]. In Proc. 4th Int. Conf. Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, 2003. 838~844
- 11 Wang Xiangjun, Zhang Min, Zhou Xinling *et al.*. Research on non-contact method of capturing iris image and extracting feature [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(3): 319~323 (in Chinese)
王向军,张敏,周鑫玲等. 非接触式虹膜图像获取及特征提取

方法的研究[J]. 光学学报, 2005, 25(3): 319~323

12 Huang Yaping, Luo Siwei, Chen Enyi. An iris recognition algorithm based on independent component analysis [J]. *J. Computer Research and Development*, 2003, 40(10): 1451~1457 (in Chinese)

黄雅平, 罗四维, 陈恩义. 基于独立分量分析的虹膜识别方法[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(10): 1451~1457

13 Yuan Weiqi, Xu Lu, Lin Zhonghua. Iris localization algorithm based on gray distribution features of eye images [J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2006, 17(2): 226~230 (in Chinese)

苑玮琦, 徐露, 林忠华. 一种基于人眼图像灰度分布特征的虹膜定位算法[J]. 光电子·激光, 2006, 17(2): 226~230

14 Yu Yang, Huang Weiyi. High similarity gray scale image recognition with modified morphological correlation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, 22(11): 1362~1367 (in Chinese)

余杨, 黄惟一. 改进形态学相关算法以识别高相似度灰度图像[J]. 光学学报, 2002, 22(11): 1362~1367

15 Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. CASIA Iris Image Database (ver 1.0). <http://www.sinobiometrics.com>. 2004

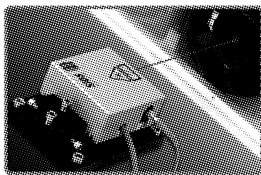
· 广 告 ·



天津微纳制造技术有限公司

Tianjin MicroNano Manufacturing Tech Co., Ltd.

天津微纳制造技术有限公司, 2005年11月成立于天津经济技术开发区, 公司将先进制造技术中前沿的光学非球面与自由曲面、脆性材料复杂曲面、超精密及微纳元器件的制造技术的研究与开发作为发展方向, 以生产光学仪器、生物医疗仪器、日用及计算机外围设备中微小精密关键器件为发展目标。同时公司将引进微纳领域的海外先进仪器设备作为主要业务之一, 目前是德国SIOS Messtechnik GmbH (SIOS) 和Piezosystem Jena GmbH (PSJ) 公司的中国总代理, 为国内引进了SIOS公司的纳米级精度激光干涉仪和PSJ公司的纳米级压电致动与定位系统。这两类产品为微纳技术领域提供了纳米级测量与驱动的手段。



- 应用: 1. 超高精度长度、角度测量;
- 特点: 1. 纳米级精度激光干涉仪; 2. 分辨率优于0.01 nm;
3. 干涉头与电器箱分离;
4. 采用氦-氖稳频激光光源。

2. 构建多维工作台, 应用于显微、定位、坐标测量系统及精密机床装备;
3. 振动模态分析。



- 特点: 1. 压电陶瓷多维微纳致动系统;
2. 行程高达1500 um;
3. 分辨率优于0.01 nm;
4. 具有高谐振频率、高稳定性、高负载能力。

- 应用: 1. 微电子、分子生物领域显微定位系统;
2. 超精密加工领域微纳定位系统;
3. 激光加工领域光束方向精密调节系统。

地址: 天津经济技术开发区第四大街 80号A2座三层 (300457)

电话: 022-59813868

传真: 022-59813870

E-mail: chenjinping@tju.edu.cn

