

# 一种基于虹膜和人脸的多生物特征融合方法

王风华, 韩九强, 姚向华

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

**摘要:** 针对单一生物特征识别方法易受干扰、应用受限制等问题, 提出了一种基于虹膜和人脸的多生物特征融合方法以提高身份识别的精度及可靠性. 该融合方法利用 Log-Gabor 相位编码算法和 Laplacianfaces 算法对虹膜和人脸进行特征提取及匹配, 然后在匹配层对两种生物特征的匹配得分使用最小最大概率机策略进行融合, 最后利用融合后得分值进行决策. 该方法与单生物特征识别方法相比, 识别性能明显提高. 在 UBIRIS 虹膜库和 ORL 人脸库构成的多模生物特征库中进行了测试, 实验结果表明: 该方法的等错误率可降低到 0.28%, 比单一虹膜和单一人脸方法分别降低了 0.69% 和 1.62%, 与采用传统融合策略的方法相比, 等错误率也降低了 0.2% 以上.

**关键词:** 虹膜; 人脸; 融合; 最小最大概率机

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)02-0133-05

## Multimodal Biometric Fusion Approach Based on Iris and Face

WANG Fenghua, HAN Jiuqiang, YAO Xianghua

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** The recognition performance of the single biometric system is easily affected by the surrounding environment. In order to improve the recognition reliability, a multimodal biometric fusion approach based on iris and face was proposed. In the proposed approach, the iris is processed using the phase information algorithm based on Log-Gabor filtering and the face is processed using Laplacianfaces algorithm. The two matching scores obtained from iris and face are fused using the minimax probability machine fusion strategy, and the fused matching score is used to make the final decision. The performance of the proposed approach is obviously improved. The experimental results in a multimodal database, which consists of UBIRIS iris database and ORL face database, show that the equal error rate of the proposed approach is 0.28%, which decreases 0.69% and 1.62%, respectively compared with both the single biometric approaches and decreases over 0.2% compared to the tradition fusion strategies.

**Keywords:** iris; face; fusion; minimax probability machine

由于传统身份认证方法存在安全隐患, 人们开始把目光转向生物特征识别技术. 生物特征识别是指通过人体所固有的生理特征或行为特征(包括指纹、人脸、虹膜、笔迹等)对身份进行验证和识别. 单一生物特征识别技术由于易受外部环境干扰或本身具有难以克服的缺点, 在应用中会受到许多限制, 而多生物特征融合技术则为解决这些问题提供了帮

助. 如何融合多种生物特征来实现高精度和高可靠性的身份识别已成为当前研究的一个热点<sup>[1-2]</sup>.

虹膜识别和人脸识别是广受关注的两种生物特征识别技术, 二者都具备非侵犯性、易于接受等特点. 此外, 采集设备的相似性及本身的生理特性(眼睛是人脸的重要组成部分)也使基于虹膜和人脸的多生物特征融合具有良好的可操作性和广阔的应用

前景,本文提出了一种基于虹膜和人脸的多生物特征融合方法,该融合方法首先利用相位编码算法和 Laplacianfaces 算法分别对虹膜和人脸进行特征提取及匹配,然后在匹配层对两种生物特征的匹配得分值进行融合,融合时采用了一种新颖的基于最小最大概率机(MPM)的融合策略,融合后的匹配得分值可具备更好的区分性.本文提出的融合方法在由 UBIRIS 虹膜库和 ORL 人脸库构成的多模生物特征库上进行了测试,实验结果证明了其有效性.

## 1 多生物特征融合结构

虹膜识别和人脸识别主要包括图像采集、图像预处理、特征提取、匹配和决策等几个过程.当多生物特征融合时,可以分别从特征层、匹配层或决策层进行融合.由于不同生物特征的特征表达差异较大,特征层的融合往往不能有效解决特征的规范化处理问题.对于决策层融合,有时由于缺少足够的置信度信息,也很难取得满意的融合效果.相比其他两层,匹配层的融合具有简单、灵活、有效等优点.因此,本文主要从匹配层进行研究,提出了一种融合虹膜和人脸的多生物特征融合方法,具体结构如图1所示.

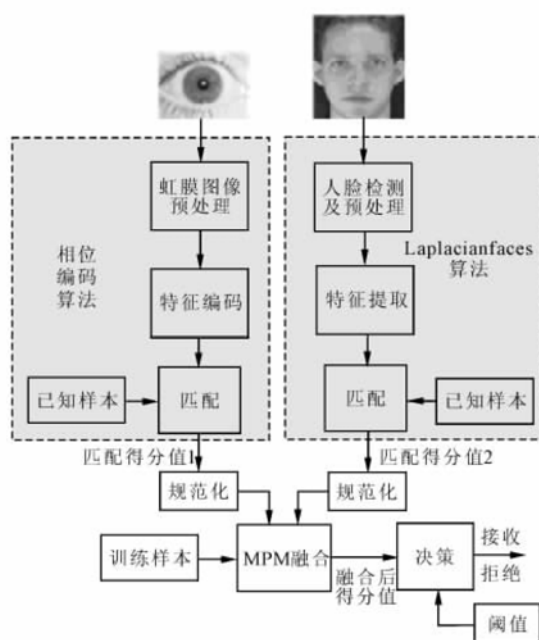


图1 基于虹膜和人脸的融合结构

从图1所示的融合结构可见,利用多生物特征融合进行身份识别时,首先从待识别人采集虹膜和人脸图像,然后利用相位编码算法和 Laplacianface 算法分别对虹膜和人脸进行特征提取,并利用提取的特征和已知类样本匹配.匹配后的两匹配得分值

由于存在较大差异,需进行规范化处理,使其处于相同数值分布范围,然后对规范化后的匹配得分值利用最小最大概率机融合,得到融合后的得分值,最后利用判决阈值决策(判为同类匹配则接收,判为异类匹配则拒绝).

## 2 识别算法介绍

在本文的多生物特征融合方法中,虹膜识别采用的是基于相位编码的算法,人脸识别采用的是 Laplacianfaces 算法.

### 2.1 虹膜识别算法

目前已提出了许多有效的识别算法,其中 Daugman 的相位编码算法<sup>[3]</sup>采用 2D Gabor 滤波器提取虹膜纹理的相位信息,具有很好的识别性能,是虹膜识别商用系统的基础.近来的研究发现,Log-Gabor 滤波器在提取虹膜纹理相位特征时表现出了更好的性能<sup>[4]</sup>,因此本文采用的是基于 2D Log-Gabor 滤波的相位编码算法.

虹膜识别首先需要对虹膜图像进行预处理,包括内外边缘及眼睑的定位、归一化、对比度增强及噪声屏蔽模板生成等,具体过程如图2所示.

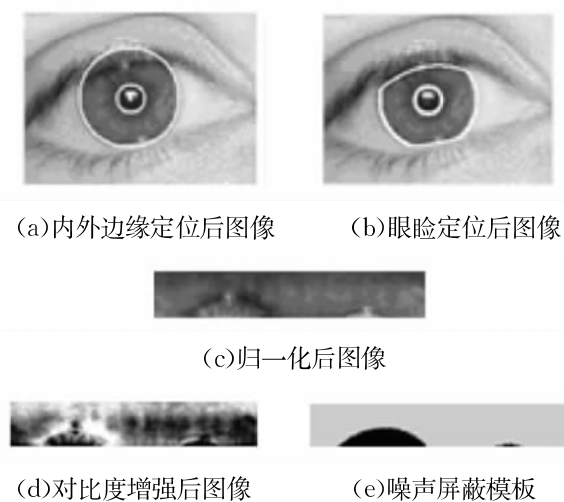


图2 虹膜图像预处理过程

当利用 2D Log-Gabor 滤波器提取相位信息时,采用的是分块计算并编码的方法.预处理后虹膜图像被分成  $m$  个大小相同的子块,利用滤波器模板提取子块的相位信息,每个子块的相位信息用两位的二进制编码表示,最终产生大小为  $2m$  的虹膜特征码.

匹配时,采用海明距离对虹膜特征码进行匹配

$$d_H = \frac{\sum [(A \otimes B) \cap (A_M \cap B_M)]}{\sum (A_M \cap B_M)} \quad (1)$$

式中:  $A$  和  $B$  表示进行匹配的两个虹膜特征码;  $A_M$  和  $B_M$  表示两匹配虹膜的噪声屏蔽码;  $\otimes$  表示异或运算;  $\cap$  表示与运算. 海明距离的计算结果即作为虹膜的匹配得分值.

## 2.2 人脸识别算法

Laplacianfaces 方法是一种基于拉普拉斯特征映射的线性形式(LPP)降维的人脸识别算法,该算法能够得到比 eigenface 和 fisherface 更好的识别性能<sup>[5]</sup>.

本文在利用 Laplacianfaces 进行人脸识别时,首先对检测到的人脸图像(如图 3a 所示)进行预处理,以达到位置校准、尺度不变性和灰度归一化的目的. 预处理后的人脸图像如图 3b. 然后,利用训练样本生成 Laplacianfaces,具体实现方法是:先用主成分分析(PCA)将归一化图像映射到 PCA 子空间中,再在子空间中采用 LPP 方法降维,最后得到的映射矩阵可表示为  $W=W_{PCA}W_{LPP}$ . 映射矩阵  $W$  中的每一列向量便构成了 Laplacianfaces,展成二维形式如图 3c 所示.



(a)人脸图像



(b)预处理后图像

(c)Laplacianfaces

图3 人脸识别图像

识别时,将待识别人脸图像向 Laplacianfaces 张成的子空间上做投影,得到的系数向量作为该人脸图像的特征向量. 本文通过计算待识别人脸与模板库中已知人脸的特征向量的欧式距离作为人脸识别的匹配得分值,计算公式如下

$$d_E(x, y) = \left[ \sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

式中:  $x$  和  $y$  分别表示被匹配人脸的特征向量;  $k$  为特征向量的维数.

## 3 匹配得分值规范化

分别利用虹膜和人脸进行识别及匹配后,得到

的两匹配得分值虽然在分布类型上近似,但在数值上存在较大的差异,如虹膜的匹配得分值分布在  $[0.1, 0.7]$ ,而人脸的匹配得分值分布在  $[100, 1000]$ . 在融合之前需要对匹配得分值进行规范化处理,使其分布于相同的数值范围. 本文采用最小-最大规范化对两类匹配得分值进行线性变换,变换公式如下

$$s_N = \frac{s - s_{\min}}{s_{\max} - s_{\min}}(b - a) + a \quad (3)$$

式中:  $s_N$  为规范后匹配得分值;  $s$  为规范前得分值;  $s_{\min}$  和  $s_{\max}$  分别表示同类生物特征得分值的最小值和最大值;  $a$  和  $b$  分别表示变换后区间的下限和上限,具体应用时  $a$  和  $b$  分别设为 0 和 1.

经过最小-最大规范化处理后,虹膜和人脸的匹配得分值既保持了原来的分布特点,又分布在相同的数值范围.

## 4 融合策略

匹配得分值被规范化处理后,可得到 1 个二维的得分值向量  $[s_1, s_2]$ ,  $s_1$  和  $s_2$  分别对应虹膜和人脸规范化后匹配得分值.

下一步就需要利用该向量对被识别人做出接收或拒绝的最终决策. 实现这一目的主要有 2 种方式: ①分类方式,即把得分值向量作为特征向量,然后利用分类器对特征进行分类,直接做出接收或拒绝的决策; ②融合方式,即利用一定的融合策略对得分值向量进行融合,输出融合后的得分值,融合后的得分值可以更好地区分同类匹配和异类匹配,然后通过设定阈值进行接收或拒绝的判决. 分类方式往往只注重正确分类率,忽略了错误接收率和错误拒绝的平衡. 实际应用时,由于不同场合对错误接收率和错误拒绝率有不同的要求,融合方式可通过改变阈值达到这一要求,因此与分类方式相比,融合方式具有更好的灵活性和适用性.

### 4.1 传统融合策略

将二维得分值向量通过融合输出一维数值时,常采用下面的融合策略.

$$\text{和策略 } s_F = f(s) = s_1 + s_2$$

$$\text{积策略 } s_F = f(s) = s_1 s_2$$

式中:  $s_F$  表示融合后匹配得分值;  $s = [s_1, s_2]^T$ .

Fisher 线性判决策略是把二维的特征向量投影到一条最优分类线上,在一维空间上对二维空间上的样本进行分类判决.  $s_F = f(s) = v^T s$ , 其中  $v$  为利用训练样本根据 Fisher 准则求得的线性变换矩阵.

## 4.2 最小最大概率机融合策略

传统的融合策略主要适用于线性可分的情况,而本文需要解决的问题并不是完全线性可分的.因此,我们采用了一种基于MPM的融合策略,取得了较好的融合效果.

MPM是Lanckriet提出的一种基于最小错分概率的新型分类学习算法<sup>[6]</sup>,其优势是能够最小化最坏情况下未分类数据错分的概率,为分类的准确率提供一个下边界.本文利用MPM的学习原理生成一个融合函数,对于输入的匹配得分值向量,该融合函数的输出可以最大化地区分两类问题(同类匹配和异类匹配).

MPM分类学习的思路是确定最优超平面 $\mathbf{a}^T \mathbf{z} = b$  ( $\mathbf{a}, \mathbf{z} \in \mathbf{R}^2, \mathbf{a} \neq 0, b \in \mathbf{R}$ ),将2类样本在已知均值和方差的前提下,按照最大概率分离.在本文中,同类匹配和异类匹配的匹配得分值近似于正态分布,其均值和方差可通过训练样本进行估计.对给定的训练样本,采用文献<sup>[6]</sup>描述的学习方法,最终确定的最优分类超平面表示为 $\mathbf{a}_1^T \mathbf{z} = b_1$ ,其中 $\mathbf{a}_1$ 和 $b_1$ 为 $\mathbf{a}$ 和 $b$ 的优化值.

确定最优分类面后,选取函数 $f(\mathbf{z}) = \mathbf{a}_1^T \mathbf{z} - b_1$ 作为融合函数,即该融合函数的输出表示特征点到最优分类面的间隔.利用该融合函数,待识别的匹配得分值向量 $\mathbf{s}$  ( $\mathbf{s} = [s_1, s_2]^T$ )的融合后匹配得分值表示为

$$s_F = f(\mathbf{s}) = \mathbf{a}_1^T \mathbf{a} - b_1 \quad (4)$$

对于线性不可分问题,MPM通过一个映射函数 $\Phi: \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{Q}^n$ ,将二维问题映射到高维空间,使低维空间的线性不可分问题转化为高维空间的线性可分问题, $\Phi$ 也称为核函数,本文采用高斯核函数,则公式(4)可变换为

$$s_F = f(\mathbf{s}) = \mathbf{a}_1^T \Phi(\mathbf{s}) - b_1; \quad \mathbf{s} = [s_1, s_2]^T \quad (5)$$

利用融合后得分值 $s_F$ 进行判决,可更好的区分同类匹配和异类匹配.

## 5 实验结果与分析

为了对提出的方法进行分析和评价,本文选取UBIRIS虹膜库<sup>[7]</sup>和ORL人脸库<sup>[8]</sup>构成多模生物特征库用于测试.尽管本文的多模生物特征库并非严格意义上的多模生物特征库(即人脸和虹膜非取自同一人),但由于同一个体的人脸特征和虹膜特征并无必然联系,因此本文的测试方法并不影响实验的有效性.

UBIRIS虹膜库包括246类虹膜的1877幅图像,它是一个噪声图像库,可更真实的模拟实际应用环境. ORL人脸库由剑桥大学AT&T实验室创建,包含40人共400张面部图像(每人10张).

本文从ORL库选取40人共200张人脸图像(每人5张)作为训练样本生成Laplacianfaces,其余的200张人脸图像(40人,每人5张)和UBIRIS库中选取的200张虹膜图像(40类,每类5张)构成多模生物特征库.多模库中一张人脸图像和一张虹膜图像搭配作为一个记录,因此该库包括40人共200个记录(每人5个记录,每个记录包含一张人脸和一个虹膜).

实验时,40人的多模生物特征库分成2组:选取8人共40个记录用于训练,通过训练得到MPM融合函数,其余32人共160个记录用于测试.训练或测试时,同组中的所有记录两两进行匹配,因此训练数据共包含80次同类匹配和700次异类匹配用于MPM的训练,测试数据共包含320次同类匹配和12400次异类匹配.本文方法的核心为同类匹配和异类匹配的判决问题,因此具体测试时,对于每两个记录间的匹配,首先分别利用海明距离和欧式距离对虹膜特征和人脸特征进行匹配,然后利用最大最小概率机对两匹配得分值融合,并对融合后匹配值利用阈值法进行判决(判断同类匹配或异类匹配),测试所有数据并对实验结果进行统计.调整阈值,并重复上面的过程,最终可得到不同阈值下的多次实验统计结果.

评估识别性能时,本文提出的融合方法首先与单生物特征方法(仅利用虹膜或人脸)进行比较,实验结果如图4所示.

图4为本文多生物特征融合方法和单生物特征方法分别测试后得到的基于错误接收率( $R_{FA}$ )和错误拒绝率( $R_{FR}$ )的接收特性曲线(Receiver Operating Characteristic, ROC)比较图,接收特性曲线为判决阈值的函数.表1为3种方法的等错误率( $R_{FE}$ )比较.通过比较可见,本文的融合方法比单一生物特征方法在识别性能上有了明显提高,等错误率降低到0.28%,这表明利用多生物特征融合提高身份识别的精度及可靠性是有效的.

表1 融合方法和单生物特征方法等错误率比较

|             | 虹膜   | 人脸  | MPM融合<br>(虹膜+人脸) |
|-------------|------|-----|------------------|
| $R_{FE}/\%$ | 0.97 | 1.9 | 0.28             |

融合策略的选择对多生物特征融合方法至关重要

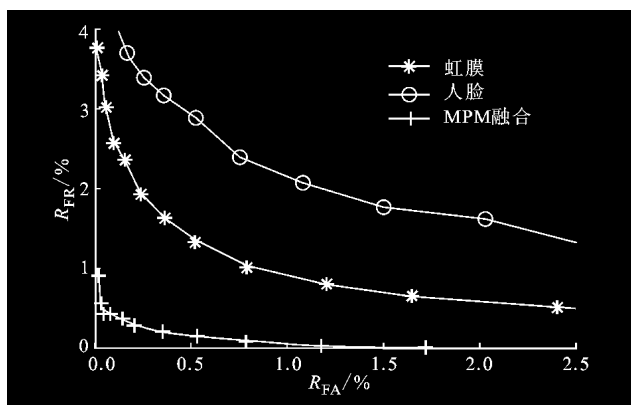


图4 融合方法和单生物特征方法 ROC 特性比较

要. 为评估不同融合策略的性能, 本文在实验中除了采用 MPM 融合策略外, 还采用了传统融合策略 (和、积、Fisher) 进行了测试. 不同融合策略的实验结果如图 5 和表 2 所示.

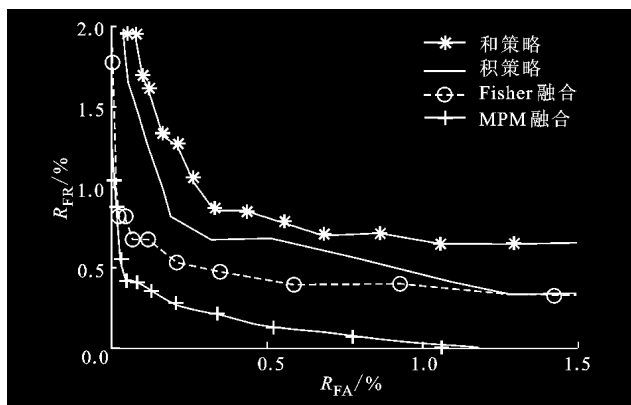


图5 不同融合策略 ROC 特性比较

表2 不同融合策略等错误率比较

|             | 和策略  | 积策略  | Fisher 融合 | MPM 融合 |
|-------------|------|------|-----------|--------|
| $R_{FE}/\%$ | 0.73 | 0.67 | 0.49      | 0.28   |

通过比较, 4 种融合策略虽然在性能上比单生物特征方法都有不同程度的提高, 但采用 MPM 融合策略的方法提高最大, 表明本文采用的 MPM 融合策略比传统融合策略更有优势, 效果更好.

## 6 结 论

本文对多生物特征融合进行了研究, 提出了一

种基于虹膜和人脸的多生物特征融合方法. 该方法在匹配层对两种生物特征的匹配得分值使用最小最大概率机进行融合, 并利用融合得分值进行决策. 实验结果表明, 本文的多生物特征融合识别方法比单生物特征方法在识别性能上有了明显改善, 进一步证明了多生物特征融合与识别是提高身份识别精度及可靠性的有效途径. 此外, 不同融合策略的测试结果也表明, 最小最大概率机融合是一种非常有效的融合策略.

## 参考文献:

- [1] ROSS A, JAIN A K. Information fusion in biometrics [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(13): 2115-2125.
- [2] LIU Zongyi, SARKAR S. Outdoor recognition at a distance by fusing gait and face [J]. Image Vision Computing, 2007, 25(6): 817-832.
- [3] DAUGMAN J G. How iris recognition works [J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 21-30.
- [4] DU Yingzi. Using 2D Log-Gabor spatial filters for iris recognition[C/CD] // Biometric Technology for Human Identification; III. Bellingham, USA: International Society for Optical Engineering, 2006: 6202F.
- [5] HE Xiaofei, YAN Shuicheng, HU Yuxiao, et al. Face recognition using Laplacianfaces [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(3): 328-340.
- [6] LANCKRIET G R G, EI G L, BHATTACHARYYA C, et al. Minimax probability machine [C] // Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems. Berkeley, USA: Department of EECS University of California, 2002: 1-7.
- [7] PROENCA H, ALEXANDRE L A. UBIRIS iris image database [DB/OL]. (2005-05-01)[2006-03-12]. <http://iris.di.ubi.pt>.
- [8] AT&T Laboratories Cambridge. The ORL database of faces [DB/OL]. (1999-03-02)[2006-11-08]. <http://www.cam-orl.co.uk/facedatabase.html>.

(编辑 刘杨)