

文章编号: 1000-582X(2012)09-086-08

# 指纹与指静脉的特征层动态加权融合识别

杨永明<sup>1</sup>, 林坤明<sup>1</sup>, 韩凤玲<sup>2</sup>, 张祖洸<sup>1</sup>

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400030;

2. 澳大利亚皇家墨尔本理工大学 计算机科学与信息学院, 墨尔本 3001)

**摘要:** 结合指纹与指静脉两种生物特征的优点进行多模态特征识别, 提出一种特征层动态加权融合匹配算法。在图像预处理的基础上分别提取两模式源的有效特征矢量, 根据近邻消除和特殊区域保留原则对特征矢量进行降维; 从待识别特征角度对特征点集的相对质量进行评价, 根据对双模态特征优和差的分类引入动态加权策略, 提高质量较好特征所占权重, 削弱低质量及伪特征对识别结果的影响, 实现了特征层特征自适应优化融合。在 FVC2000 公开指纹库和指静脉自建数据库上的测试取得了 98.9% 的识别率, 较指纹、指静脉单模态识别分别提高了 6.6% 和 9.6%, 较匹配层加权平均融合识别提高了 5.4%。

**关键词:** 自动指纹识别; 静脉识别; 特征抽取; 特征层融合; 动态加权

**中图分类号:** TP391.4

**文献标志码:** A

## Feature level fusion of fingerprint and finger vein biometrics based on dynamic weighting

YANG Yongming<sup>1</sup>, LIN Kunming<sup>1</sup>, HAN Fengling<sup>2</sup>, ZHANG Zulong<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. School of Computer Science and Information Technology, RMIT University, Melbourne 3001, Australia)

**Abstract:** To study the fusion at feature extraction level for fingerprint and finger vein biometrics, a dynamic weighting matching algorithm based on predictive quality evaluation of interest features is proposed. The proposed approach is based on the fusion of the two traits by extracting independent feature point-sets from the two modalities, and making the two point-sets compatible for concatenation. According to the results of features evaluation, dynamic weighting strategy is introduction for the fusion biometrics. The weight of excellent features in fusion is improved, aiming to weaken the influence of low quality and false features so that better effects of fusion can be achieved. Experimental results based on FVC2000 and self-constructed databases of finger vein show that our scheme achieves 98.9% recognition rate, compared with fingerprint recognition and finger vein recognition increased by 6.6% and 9.6% respectively, compared with fusion recognition at matching level increased by 5.4%.

**Key words:** automatic fingerprint verification; vein recognition; feature extraction; feature level fusion; dynamic weighting

**收稿日期:** 2012-04-28

**基金项目:** 中央高校基本科研业务费资助项目(CDJXS11150014); 国家重点实验室访问学者基金(2007DA10512709403)

**作者简介:** 杨永明(1958-), 女, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事电气设备状态的在线监测与智能信息处理方面的研究, (Tel)023-65106977; (E-mail) yangyym@cqu.edu.cn。

在现代生活中,无论是在护照、信用卡还是在笔记本电脑、移动电话,基于人们的生理或行为特征进行的自动身份识别已经变得越来越普遍<sup>[1-3]</sup>。单生物特征识别往往由于传感器的噪声以及特征提取和匹配的缺陷而使得误识率过高,或由于特征易丢失、易被伪造而存在安全性方面的问题,每一种生物特征不可能具有真正意义上的普遍性<sup>[2-3]</sup>。多模态生物识别系统<sup>[3]</sup>通过多个模式源信息的融合,能有效克服单特征识别系统的上述缺点。近10年出现了大量的多模态生物识别相关研究<sup>[4-9]</sup>,大多是基于匹配分数层和决策层的融合识别。但是匹配分数或决策输出与信息源融合的特征集合相比,前者包含信息较少,存在很大局限性,特征层融合能最大限度地保留原始信息,是一个非常值得研究的问题。

文献[7]实现了手形和人脸的特征层融合识别,但是无法确定不同情景下的最佳融合方案,且无法解决特征不兼容的问题;文献[8]通过提取人脸SIFT特征和对指纹细节点矢量扩展后进行特征层融合识别,取得了优于匹配层融合的效果;文献[9]研究了人脸和步态在特征层的多模态融合识别。以上文献大多是基于指纹、人脸、手形、步态、掌纹等的融合策略。笔者选择指纹与指静脉两种模态进行特征级融合,指纹是生活中应用最广泛的生物特征,但易被复制、伪造、欺骗,且存在特征有效区域偏小、中心偏移较大、伪细节点较多等问题,严重影响了识别的效果;静脉作为具有高防伪性的第二代生物认证技术备受瞩目,但存在特征难以有效提取、随季节变化、细节点较少而使误识率较高的问题<sup>[10-13]</sup>。

针对上述问题,笔者结合指纹与指静脉准确性与安全性优势互补的特点,在对图像预处理的基础上提取细节点特征矢量,从待识别特征角度出发对特征的相对质量进行评价,进而引入动态加权策略,对双模态特征矢量的不同融合权值进行优化组合,削弱低质量和伪特征对识别结果的影响,实现特征层的动态加权融合识别。最后通过实验验证该算法的有效性与优越性。

## 1 图像的预处理及特征提取

由于低质量图像不易提取特征点,或存在较多的伪特征点,有必要对指纹和指静脉图像进行滤波、增强、灰度和尺度归一化等预处理。实验中指纹采用FVC2000公开指纹库,经过预处理后最终得到像素 $128 \times 128$ 的指纹图像;静脉采用自建的手指静脉数据库,预处理后得到像素 $80 \times 120$ (扩展边缘为 $128 \times 128$ )的指静脉图像,如图1所示。



图1 预处理后的指纹与指静脉图像

指纹识别采用基于细节节点的匹配方法<sup>[10-12]</sup>,采用文献[2,10]中方法提取细节点,提取的细节点特征集合表示为 $Set\_fingerprint = \{M^k = (x_m^k, y_m^k, \theta_m^k) \mid 1 \leq k \leq K\}$ ,其中 $K$ 为指纹细节点数目, $(x_m^k, y_m^k)$ 和 $\theta_m^k$ 分别表示第 $k$ 个细节点的空间坐标和局部方向。对于端点,细节点方向为与之相连的脊线方向;对于分叉点,细节点方向为它的夹角最小的两个分支方向的平均值。

静脉特征的提取效果直接决定了静脉识别的准确性与稳定性。目前有许多图像分割算法,经典算法有阈值分割法、区域增长算法、边缘检测算法和多种分割方法相结合的算法等。笔者采用基于方向谷形检测的分割算法<sup>[13]</sup>对静脉特征进行提取,经阈值分割提取的静脉图像再进行滤波、细化、去毛刺等操作,如图2所示,即可提取得到指静脉细节点特征集合 $Set\_vein = \{V^k = (x_v^k, y_v^k, \theta_v^k) \mid 1 \leq k \leq K\}$ ,其中 $K$ 为静脉细节点数目, $(x_v^k, y_v^k)$ 和 $\theta_v^k$ 分别表示第 $k$ 个细节点 $V^k$ 的空间坐标和局部方向。



图2 静脉特征的提取

## 2 特征的降维

### 2.1 近邻消除技术

在指纹与指静脉的特征点集( $Set\_fingerprint$ 和 $Set\_vein$ )上应用近邻消除技术。针对指纹和指静脉特征集合中的每一个特征点,找出那些处于近邻的一定半径 $r$ (实验中指纹、指静脉分别选取10和8像素)范围内的点,加以消除,即对给定特征点 $(x_i, y_i)$ 满足式(1)的点 $(x_j, y_j)$ 进行消除。近邻消除进行降维处理的效果,如图3所示。

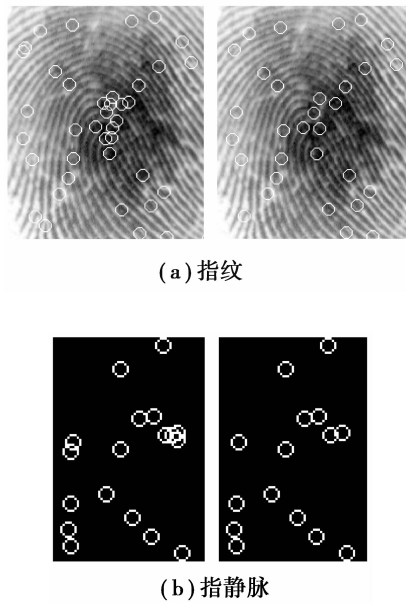


图 3 近邻消除的效果

$$Sd = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq r. \quad (1)$$

## 2.2 特殊区域保留

由于指纹中心点区域在图像采集时受挤压引起的非线性形变、干扰等较小,所含信息量相对更丰富,故选择特征时只保留中心区域(实验采用  $r_{\text{Fingerprint}} = 40$  像素)特征,能有效消除图像采集效果差、弹性形变和非线性失真的影响,增加系统的鲁棒性。由于指静脉特征仅采集手指两骨节之间的部分,只保留直线  $l_1 (y = a_1)$  和  $l_2 (y = a_2)$  之间区域的特征,去除上下边缘的伪特征点;针对手指左右两侧光线干扰可能引起的伪特征问题,去除左右边缘一定像素内的点,只保留宽度  $d_{\text{vein}}$  (实验采用 70 像素)范围内的特征。特征保留区域的选择,如图 4 所示。

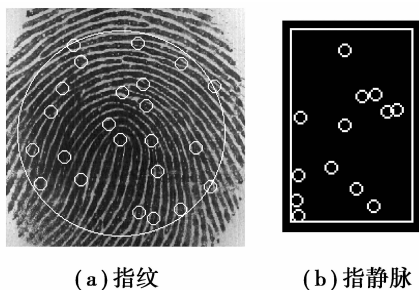


图 4 特征保留区域的选择

近邻消除技术主要是通过计算细节点之间的欧式距离,在保留绝大部分特征信息的同时消除冗余信息。而特殊区域保留通过中心区域的选择可以保留最理想的特征,这些区域的特征具有较强的辨别

和抗干扰能力。

## 3 特征层动态加权融合策略

降维后的特征矢量  $Set\_fingerprint'$  和  $Set\_vein'$  特征串联得到新的特征矢量  $Set\_fusion = \{M^1, M^2, \dots, M^m, \dots, V^1, V^2, \dots, V^n, \dots\}$ ,在高维的特征空间进行识别,在充分利用各个生物特征有效信息的同时,利用特征间的互补信息来提高系统的准确性。

待识别特征的质量直接决定了识别的性能,根据不同个体指部特征优势程度的不同,安全要求以及应用环境的不同,在对提取的指纹和指静脉特征点集质量评价的基础上引入动态加权,提高质量较好特征所占权重,削弱质量较差特征所占权重,从而自适应地实现特征的优化融合,提高系统的识别性能。

### 3.1 兴趣特征质量评价

系统识别中所采用的某种具体特征,如细节点特征、脊线结构特征、纹理特征<sup>[11]</sup>等,是系统识别性能最直接的决定因素,笔者提出对该兴趣特征进行质量评价,有效克服了现有文献<sup>[14-15]</sup>对图像的总体质量进行评价中评价指标难以标准化、难以给出准确有效量化方案的问题。评价方法如下:

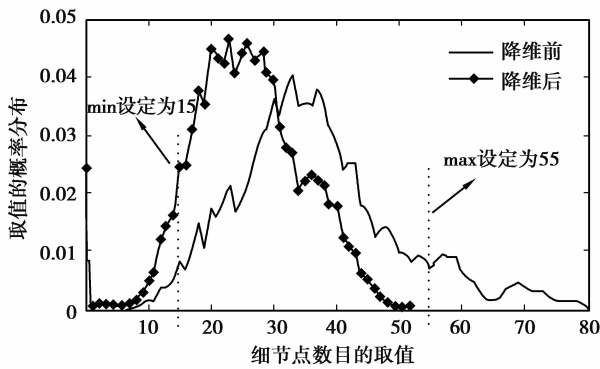
1) 特征质量的 5 个评价因子。

a) 计算有效特征区域面积的比重:  $P_{\text{area}} = S_D / S$ ,其中  $S_D$  为指纹图像前景有效区域的面积,  $S$  为一幅完整指纹图像面积。

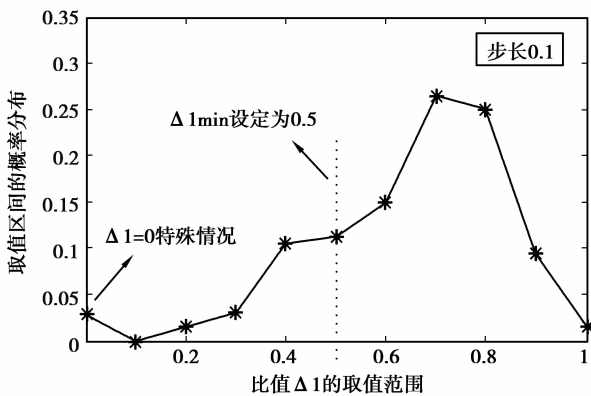
b) 输入样本提取到的细节点数目  $K$  是否在一定范围  $[\min, \max]$  内,  $\min$  和  $\max$  的设定如下:

针对一个样本,设降维前、后细节点数目分别为  $K_1, K_2$ , 必  $K_1 \geq K_2$ ,  $K_1$  只需与  $\max$  比较,  $K_2$  只需与  $\min$  比较,即是否满足  $K_1 \leq \max; K_2 \geq \min$ ,此处  $\max$  和  $\min$  是根据降维处理前、后得出的统计设定,如图 5(a) 所示。

c) 输入样本在降维处理前后细节点数目的变化因子:  $\Delta 1 = K_{M/V}' / K_{M/V}$ ,其中  $K_{M/V}, K_{M/V}'$  分别为降维处理前、后的特征点集内的点数;由于特征质量较差样本(大面积模糊、伤疤、中心严重偏移等)提取的细节点中含有较多伪特征点,表现为细节点聚集、局部分布较多,边缘较多等,而降维处理后细节点大量减少(图 5(b) 所示低于阈值  $\Delta 1_{\min}$  区段),但无法保证降维后细节特征真实性,故引入该评价因子,从降维前后的细节点特征变化去判断其质量情况;实验中设定了 0.4、0.5、0.6 的阈值,均取得了低于 0.5 的识别性能,故选择  $\Delta 1_{\min} = 0.5$ 。



(a) 降维前后细节点数目统计概率分布



(b) 降维处理前后细节点数目变化

图 5 FVC2000 指纹样本细节点数目统计分布

d) 注册模板细节点数目  $K_z$  与输入样本的细节点数目  $K_x$  的比值:  $\Delta 2 = K_z / K_x$ ; 实验中选择质量较好的样本作为注册模板, 即选择符合约束条件:  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, 5)$  最优的样本。

e) 中心点相对前景图像质心的偏移程度:

$d_{core\_z} = \sqrt{(x_{core} - x_z)^2 + (y_{core} - y_z)^2}$ , 其中  $(x_{core}, y_{core})$ ,  $(x_z, y_z)$  分别为指纹图像中心点和质心坐标。设前景  $M$  个边缘轮廓点  $P_i(x_i, y_i)$ ,  $i=0, \dots, M-1$  包围的前景区域为  $D$ , 则前景图像的质心为

$$x_z = \sum_{i \in D} x[i] / M, y_z = \sum_{j \in D} y[j] / M.$$

上述 5 个评价方面对应评价因子  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, 5)$ , 由式(2)~(6)分别给出约束条件,  $\lambda_i$  满足对应约束条件则取值 1, 不满足则取值 0。指纹的细节点特征评价采用  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, 5)$  5 个质量评价因子, 静脉采用  $\lambda_i (i=2, 3, 4)$ 。

$$P_{min} \leq P_{area} = S_D / S \leq 1, \quad (2)$$

$$\min \leq K \leq \max, \quad (3)$$

$$\Delta 1_{min} \leq \Delta 1 = K'_{M/V} / K_{M/V} \leq 1, \quad (4)$$

$$\Delta 2_{min} \leq \Delta 2 = K_z / K_x \leq \Delta 2_{max}, \quad (5)$$

$$\sqrt{(x_{core} - x_z)^2 + (y_{core} - y_z)^2} \leq Td_{core\_z}. \quad (6)$$

参数选取原则如下: 采用 VeriFinger 5.0 Standard SDK 辅助提取特征, 并人工选出质量较差和质量较好的样本进行观察, 在特征提取信息(伪特征点等)相符度最大的情况下选定阈值, 在实验中设定了多个阈值, 最终从中选取一个最优值, 参数阈值选定见表 1。本评定方法的阈值选取, 适合现有主要公开数据库<sup>[2]</sup>及商用传感器采集的真实样本, 针对高分辨率如 800dpi 获得的主要针对汗腺孔信息的指纹样本数据库、部分人工合成指纹样本数据库等, 可根据图 5 所示得出统计信息, 适当修正, 取得参数的最优值。

表 1 5 个约束条件的参数选取

评价因子	阈值选取	指纹评测	指静脉评测
$\lambda_1$	$P_{min}$	0.5	—
$\lambda_2$	min	15	7
	max	55	28
$\lambda_3$	$\Delta 1_{min}$	0.5	0.5
	$\Delta 2_{min}$	0.5	0.5
$\lambda_4$	$\Delta 2_{max}$	2.0	2.0
	$Td_{core\_z}$	32	—

2) 特征质量综合评定。

指纹评价因子  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, 5)$  和指静脉评价因子  $\lambda_i (i=2, 3, 4)$  分别满足约束条件式(7)、(8), 则特征质量为优, 不满足则为差。即是指纹细节点满足 3 个以上(共 5 个)的评价因素, 静脉满足 2 个以上(共 3 个)的评价因素, 特征质量为优, 否则为差。

$$\sum \lambda_i \geq 3, (i=1, 2, \dots, 5); \quad (7)$$

$$\sum \lambda_i \geq 2, (i=2, 3, 4). \quad (8)$$

利用该基于待识别特征的综合评定方法对图 6 样本图像的评定结果见表 2。

表 2 质量综合评定结果

样本图像	评价因子	结果	判定理由
图 6(a)	$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_5 = 0$	差	无有效区域, 无法提取细节点
图 6(b)	$\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 0$	差	存在伤疤, 伪细节点较多
图 6(c)	$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_5 = 0$	差	中心偏移严重, 有效区域较小
图 6(d)	$\lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = 0$	差	中心点偏移严重
图 6(e)	$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5 = 1$	优	高质量特征图像
图 6(f)	$\lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 = 1$	优	高质量特征图像

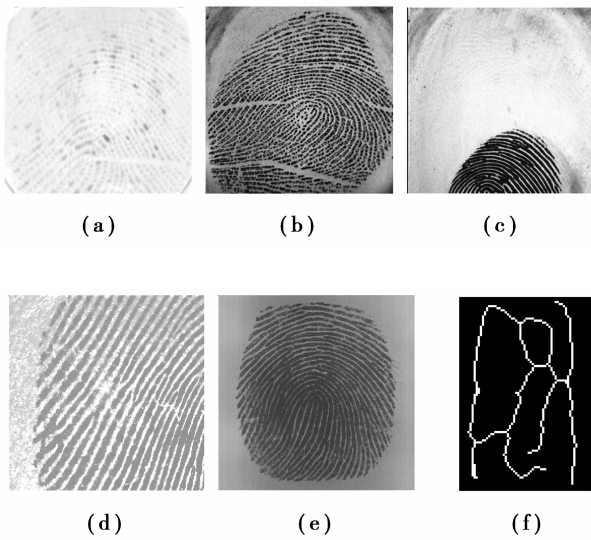


图 6 待评价样本特征图像

### 3.2 融合算法的实现

基于指纹与指静脉双模态的特征层动态加权融合识别模型如图 7 所示。

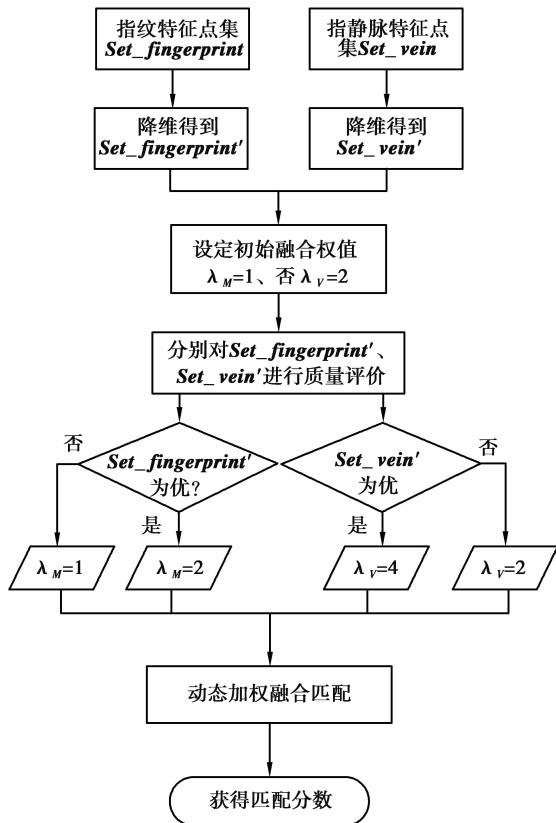


图 7 动态加权融合算法基本流程

指纹与指静脉特征矢量经降维处理后特征串形成新的特征矢量,消除了由于主客观因素带来的冗余信息,而且避免了由于不同模态间特征量纲相

差较大而导致直接串联出现的特征空间不相容、不平衡问题,对识别性能的提高具有较大优势。

判断指纹和指静脉细节点特征的相对质量,给出不同的融合权值;在单个特征提取的细节点集中加入权值因子  $\lambda$ ,即在融合特征中所占的影响匹配分数的权重;引入动态加权基础上实现特征层的有效融合识别。特征层加权融合函数如下:

$$y = f(N_1, N_2, \dots, N_n) = c \times \frac{\sum_i^n \lambda_i \cdot N_i}{\sum_i^n \lambda_i \cdot \max(N_{set\_i}, N_{set\_i'})}$$

其中:  $n \geq 2$ , 为融合的特征数目;  $\lambda_i > 0$ , 为不同特征融合时的权值;  $N_{set\_i}, N_{set\_i'}$  分别为特征模板与待识别样本特征点数;  $N_i$  为匹配点对中第  $i$  个特征所占部分;  $c$  为修正匹配分数的常量。

算法具体描述如下:

1) 提取单模态的指纹和指静脉特征矢量。指纹特征矢量  $Set\_fingerprint = \{M^k = (x_m^k, y_m^k, \theta_m^k) | 1 \leq k \leq K\}$ , 指静脉  $Set\_vein = \{V^k = (x_v^k, y_v^k, \theta_v^k) | 1 \leq k \leq K\}$ 。记录细节点空间坐标  $(x^k, y^k)$ 、局部方向  $\theta^k \in [0, 2\pi)$ 、指纹中心点坐标  $(x_{core}, y_{core})$  以及用于指纹细节点集校准的附加脊线信息。

2) 对  $Set\_fingerprint$  和  $Set\_vein$  分别进行降维处理: 得到特征点集  $Set\_fingerprint'$  和  $Set\_vein'$ , 并记录降维处理前后指纹和指静脉的细节点数目  $K_M, K_V$  和  $K_M', K_V'$ 。

3) 对  $Set\_fingerprint'$  和  $Set\_vein'$  进行特征质量评价。根据约束条件(2)~(6)得出 5 个评价因子, 由公式(7)、(8)给出评价结果, 对指纹和指静脉特征点集的优和差进行分类。

4) 设定指纹与指静脉特征融合权值  $\lambda_M = 1, \lambda_V = 2$ , 引入动态加权。由于指静脉细节点相对较少, 在大量统计信息及实验验证后, 选取初始融合权值  $\lambda_M = 1, \lambda_V = 2$ , 其中  $\lambda_M, \lambda_V$  分别表示指纹和指静脉在特征融合中所占权重。根据特征质量评价的结果, 即优和差的分类, 对融合权值动态修正、优化组合, 如图 8 所示。

在对指纹和指静脉细节特征进行质量评价的基础上, 提高优势特征所占权重, 削弱劣势特征所占权重, 从而降低伪特征等对识别性能的影响。初始权值根据两特征优势程度、应用环境、安全要求的不同人为干预设定, 实现优化组合, 如矿场等指纹污染较严重的情况减小指纹初始权重; 静脉特征不明显的人群减小静脉特征初始权重, 可有效降低系统的 EER。

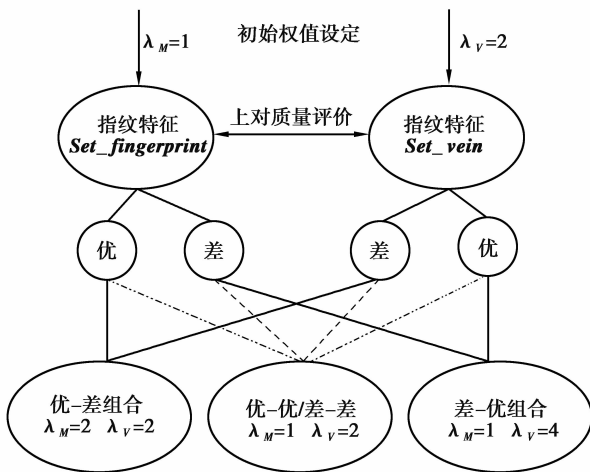


图8 动态权值的优化组合

5) 计算指纹图像与模板指静脉图像的融合特征向量集合  $Set\_fusion$ 。设降维后的指纹特征矢量  $Set\_fingerprint' = \{M^1, M^2, \dots, M^m\}$ , 降维后的指静脉特征矢量  $Set\_vein' = \{V^1, V^2, \dots, V^n\}$ , 则特征串联后的融合特征向量集合  $Set\_fusion = \{M^1, M^2, \dots, M^m, V^1, V^2, \dots, V^n\}$ 。特征点集的校准, 指静脉采用图像采集阶段传感器对手指的固定进行校准; 而指纹特征点集  $Set\_fingerprint$  的校准<sup>[10,16]</sup>, 采用基于脊线信息的基准点对齐方法<sup>[10]</sup>。

6) 利用基于细节点匹配的方法进行模板融合特征点集  $Set\_fusion$  和待匹配样本的融合特征点集  $Set\_fusion'$  的匹配。首先, 根据式(9)计算的两点之间空间距离和式(10)计算的方向距离是否均在预先设定的阈值范围内, 寻找匹配点对。实验选择的  $r_0$  和  $\theta_0$  分别为 4 像素和  $5^\circ$ 。

$$sd = \sqrt{(x'_j - x_i)^2 + (y'_j - y_i)^2} \leq r_0, \quad (9)$$

$$dd = \min(|\theta'_j - \theta_i|, 360^\circ - |\theta'_j - \theta_i|) \leq \theta_0. \quad (10)$$

根据空间距离  $sd$  和方向距离  $dd$  选出点  $(x_i, y_i, \theta_i)$  对应的候选点集合, 即处于阈值  $r_0, \theta_0$  范围内的多个匹配候选点, 然后选择  $dd$  最小的候选点作为该点对应的匹配点。

采用式(11)、(12)计算匹配分数  $score$ , 根据设定的阈值  $T_{score}$  得到匹配结果, 即验证成功或失败。

$$score = c \times \frac{\lambda_M \cdot N_M + \lambda_V \cdot N_V}{\lambda_M \cdot N_{\max\_finger} + \lambda_V \cdot N_{\max\_vein}}, \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} N_{\max\_finger} &= \max(N_{Set\_fingerprint}, N_{Set\_fingerprint'}) \\ N_{\max\_vein} &= \max(N_{Set\_vein}, N_{Set\_vein'}) \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

其中,  $N_M, N_V$  分别为指纹和指静脉特征点集中匹配的点对数目;  $N_{Set\_fusion_\lambda}, N_{Set\_fusion'_\lambda}$  分别表示融合模

板和待匹配样本融合特征点集的点数。

## 4 实验结果及分析

选取 FVC2000\_DB1\_B-DB4\_B 指纹库(包含  $40 \times 8$  样本)和静脉自建数据库(包含  $40 \times 8$  样本)进行测试, 选择质量较好的样本作为模板样本。指静脉数据库有 40 个不同人的手指组成, 每个手指在不同时间和光照条件下采集了 8 幅不同的图像; 采集区域选择为中指两骨节之间部分, 手指竖直向上, 都是具有 256 的灰度像素图像且为  $135 \times 235$ 。其中 DB1\_B-DB4\_B 指纹图像分别与静脉样本组合, 即得到  $40 \times 8$  复合图像数据库, 进行融合匹配测试。

### 4.1 单特征测试

指纹识别与指静脉识别单独进行测试, 采用基于细节点匹配的方法, 识别性能采用 FRR、FAR 和该阈值下的识别率 3 个参数进行比较, 测试结果如表 3 所示。从降维处理前后的性能比较可以看出, 降维处理对指纹识别性能改善较大, 在 FRR、FAR 均有所下降的情况下, 识别率提高了 1.48%; 降维处理对静脉识别性能改善较小, 这是由于静脉细节点相对较少, 较稀疏, 且选取的特殊区域保留范围较大的缘故。

表3 单特征的点模式匹配性能

算法	FRR/%	FAR/%	识别率/%
未降维	指纹	6.07	90.83
	指静脉	5.36	88.93
降维后	指纹	4.29	92.31
	指静脉	5.38	89.29

### 4.2 融合匹配测试

经过降维处理后特征串联进行融合匹配性能测试, 测试结果如表 4 所示。为便于比较分析, 在单模态测试的基础上, 采用加权平均算法进行匹配层融合识别, 性能见表 4。在指纹和指静脉两模态特征未引入动态加权情况下, 特征串联得到融合特征矢量, 即式(11)中融合权值设定为  $\lambda_M = 1, \lambda_V = 1$ , 得到 95.81% 的识别率, 较匹配层融合高 2.31%。

笔者提出的基于指纹与指静脉双模态特征层动态加权融合识别算法, 误识率和拒识率均达到了令人满意的水平, 识别率较未引入加权的特征层融合的基础上再有 3.12% 的提高, 较匹配层融合提高了 5.43%。由表 4 与表 3 的对比可见, 笔者提出的特征层动态加权融合算法识别率较指纹识别和指静脉

识别分别提高了 6.6% 和 9.6%，极大地提高了系统的识别性能。可见该算法的有效性与优越性。

表 4 融合匹配性能

算法	FRR/%	FAR/%	识别率/%
匹配层融合	6.92	5.33	93.50
特征层未加权	6.78	2.52	95.81
动态加权融合	1.85	0.97	98.93

由于很多人的静脉不易提取，而指纹存在易被复制、伪造、欺骗等安全性问题以及存在破皮、损伤等图像质量较低的情况，采取指纹与指静脉结合的融合识别有效克服了这方面的问题，在融合之前对图像质量以及提取的细节点的质量进行评价，在某种特征质量较低时采取降低其识别中所占权重，削弱低质量和伪特征的影响，提高系统的识别性能。指纹应用最广泛，而静脉是一种具有极高安全性的特征，可在手指同一部位同时采集两种特征，进行多模态融合识别在提高系统准确性的同时极大地提高了系统的安全性。

## 5 结 语

结合指纹识别与指静脉识别准确性与安全性优势互补的特点，实现了指纹与指静脉的特征层动态加权融合识别。给出了兴趣特征的质量评价方案，实验证明能对细节点特征进行有效的质量评价；在上述基础上提出了动态加权融合策略，通过双模态特征矢量融合中权值的改变，削弱低质量和伪特征的影响，提高系统的识别性能。实验结果表明：提出的融合算法取得了 98.9% 的识别率，较指纹和指静脉单模态识别分别提高了 6.6% 和 9.6%，较匹配层融合识别提高了 5.4%，极大地提高了系统的识别性能。进一步的工作是推导建立特征层多模态融合的最佳权值模型。

### 参考文献：

- [1] Jain A K. Biometric recognition: Q&A [J]. Nature, 2007, 449(6): 38-40.
- [2] Maltoni M, Maio D, Jain A K, et al. Handbook of Fingerprint Recognition[M]. 2nd ed. London: Springer Press, 2009.
- [3] Jain A K, Ross A. Multibiometric systems [J]. Communications of the ACM, 2004, 47 (1): 34-40.
- [4] Darwish A A, Zaki W M, Saad O M, et al. Human authentication using face and fingerprint biometrics [C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, July 28-30, 2010, Liverpool, United Kingdom. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2010: 274-278.
- [5] Hong L, Jain A. Integrating faces and fingerprints for personal identification [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(12): 1295-1307.
- [6] 孙傲冰, 张德贤, 张苗. 基于多元特征的智能型生物识别模型[J]. 计算机科学, 2010, 37(2): 221-224.  
SUN Aobing, ZHANG Dexian, ZHANG Miao. Multiple features based intelligent biometrics verification model [J]. Computer Science, 2010, 37(2): 221-224.
- [7] Ross A, Govindarajan R. Feature level fusion using hand and face biometrics [C]// Proceedings of SPIE Conference on Biometric Technology for Human Identification II, March 28-29, 2005, Orlando, United States. [S. l.]: Citeseer, 2005, 5779: 196-204.
- [8] Rattani A, Kisku D R, Bicego M, et al. Feature level fusion of face and fingerprint biometrics [C]// Proceedings of the First IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems, September 27-29, 2007, Crystal City, VA, United States. Piscataway, N. J., USA: IEEE Press, 2007: 1-6.
- [9] Zhou X L, Bhanu B. Feature fusion of face and gait for human recognition at a distance in video [C]// Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition, August 20-24, 2006, Hong Kong, China. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2006: 529-532.
- [10] 罗西平, 田捷. 自动指纹识别中的图像增强和细节匹配算法[J]. 软件学报, 2002, 13(5): 946-956.  
LUO Xiping, TIAN Jie. Image enhancement and minutia matching algorithms in automated fingerprint identification system [J]. Journal of Software, 2002, 13(5): 946-956.
- [11] Jain A K, Prabhakar S, Hong L, et al. Filterbank-based fingerprint matching[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5): 846-859.
- [12] 王崇文, 李见为, 郑治伟, 等. 一种基于点模式匹配的指纹识别方法[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2002, 25(6): 27-31.  
WANG Chongwen, LI Jianwei, ZHENG Zhiwei, et al. Fingerprint identification using point pattern matching[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2002, 25(6): 27-31.

- [13] 余成波,秦华锋. 手指静脉图像特征提取算法的研究[J]. 计算机工程与应用,2008,44(24):175-177.  
YU Chengbo, QIN Huafeng. Research on extracting human finger vein pattern characteristics[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(24): 175-177.
- [14] Alonso F F, Fierrez J, Qrtega G J, et al. A comparative study of fingerprint image-quality estimation methods [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2007, 2(4): 734-743.
- [15] 赵衍运,蔡安妮. 指纹图像质量分析[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(5):644-650.  
ZHAO Yanyun, CAI Anni. Fingerprint image quality analysis [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(5): 644-650.
- [16] 洪明坚,吕建斌,杨丹,等. 一种新的基于互信息的图像配准方法[J]. 重庆大学学报,2009,32(6):697-700.  
HONG Mingjian, Lü Jianbin, YANG Dan, et al. A new method for image registration based on mutual information [J]. Journal of Chongqing University, 2009, 32(6): 697-700.

(编辑 王维朗)

---

(上接第 60 页)

- [7] 马渝华,乐勇. 外国专家管理信息系统在高校中的运用[J]. 高等建筑教育,2001,41(4):69-71.  
MA Yuhua, YUE Yong. Application of management information system of foreign experts in colleges and universities[J]. Journal of Architectural Education in Institutions of Higher Learning,2001,41(4):69-71.
- [8] 高占亮,孟令权,李纯光. 关于国际科技合作专家管理系统的构想[J]. 信息技术,2008,32(1):124-126.  
GAO Zhanliang, MENG Lingquan, LI Chunguang. Conception about international science and technology cooperative expert management system[J]. Information Technology,2008,32(1):124-126.
- [9] 杨德友,朱博,陈诗伟,等. 高校学生综合管理信息系统研究与实现[J]. 四川大学学报:自然科学版,2009,46(4):947-952.  
YANG Deyou, ZHU Bo, CHEN Shiwei, et al. The research and implementation of student comprehensive management information system in university [J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2009,46(4):947-952.
- [10] 任泰明. 基于 B/S 结构的软件开发技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2006.  
REN Taiming. Based on B/S structure of software development technology [M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 2006.
- [11] 范振钧. 基于 ASP.net 的三层结构实现方法研究[J]. 计算机科学,2007,34(4):289-291.  
FAN Zhenjun. Implementation method of ASP.net-based the three layers [J]. Computer Science, 2007, 34(4):289-291.
- [12] 马高峰. 浅析 SQL Server2005 数据库[J]. 价值工程,2011,30(12):176-176.  
MA Gaofeng. Brief analysis on SQL server2005 data bank[J]. Value Engineering,2011,30(12):176-176.
- [13] Shepherd G. ASP.NET 4 从入门到精通[M]. 张大威,译. 北京:清华大学出版社,2011.
- [14] 百度百科. IIS[EB/OL]. [2012-06-21]. <http://baike.baidu.com/view/850.htm>.
- [15] 朱泉,何月顺. 数字签名技术及其在 OA 中的应用[J]. 计算机与数字工程,2005,33(4):127-129.  
ZHUA Quan, HE Yueshun. Application of digital signature in OA system [J]. Computer and Digital Engineering,2005,33(4):127-129.
- [16] 百度百科. MD5[EB/OL]. [2012-06-21]. <http://baike.baidu.com/view/7636.htm>.

(编辑 王维朗)