

# 基于投影和小波分析的手指指节折痕识别算法

罗荣芳<sup>1,2</sup>, 林土胜<sup>2</sup>

(1. 广东工业大学物理与光电工程学院, 广州 510643; 2. 华南理工大学电子与信息学院, 广州 510640)

**摘要:** 鉴于人体的手指指节折痕具有稳定性且因人而异的特点, 该文提出一种基于投影和小波分析的手指指节折痕识别的新算法。对手指图像进行定位, 经分割、归一化后得到了用于身份鉴别的手指子图。将手指子图向水平轴投影, 得到含有折痕信息的一维信号, 利用小波的多分辨率特点提取折痕信息进而形成代表折痕的特征矢量。在手指图像数据库中, 利用最近邻分类器进行了算法验证, 等错误率约为 1.5%, 实验结果表明了算法的有效性。

**关键词:** 手指指节折痕; 生物特征识别; 小波分析; 特征提取

## Algorithm for Finger Crease Pattern Recognition Based on Projection and Wavelet Analysis

LUO Rong-fang<sup>1,2</sup>, LIN Tu-sheng<sup>2</sup>

(1. College of Physics and Photoelectric Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643;  
2. School of Electronics and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

**【Abstract】** Because the finger creases are thought to be stable and different for each individual, this paper proposes a new finger crease recognition method based on projection and wavelet. After image localization and normalization, the subimage for each finger image is obtained. The subimage is a rectangular window on inner side of the finger, which includes the first and the second joint line in the finger image. The subimage is projected onto horizontal axis to construct one-dimensional signal. Wavelet analysis is applied to extract finger crease features from one-dimensional signal to form the feature vector. The proposed method has been tested on a finger database by using the nearest neighbor classifier. The experimental results show the effectiveness of the proposed method in terms of the Equal Error Rate (EER) ( 1.5 percent).

**【Key words】** finger crease pattern; biometrics; wavelet analysis; feature extraction

### 1 概述

当前用于身份鉴别的生理特征有指纹、掌纹、掌形、人脸、视网膜、虹膜和人耳等。近年来, 掌纹作为一种较新的生物特征成为了研究的热点<sup>[1-4]</sup>。但任何一种生物个体用作生物识别时, 都有其优点和不足之处<sup>[5]</sup>, 其选择依赖于实际的应用场合。所以探索新的个体生物识别技术仍然是该领域的重要任务之一<sup>[6]</sup>。本文提出了一种新的基于人体手指指节折痕的生物识别技术。人体手指折痕像指纹和掌纹一样具有稳定性且可区分性的特点<sup>[7]</sup>, 可作为一种人体身份识别的生物特征, 但基于指节折痕的身份识别较少受到国内外有关研究与应用部门的关注, 只有极少量文献开展了尝试性的研究, 取得了阶段性的实验结果<sup>[7-8]</sup>。例如, 文献[7]利用手指折痕进行了身份鉴别, 并在人数为 508 的人群中进行测试, 取得了比较满意的结果。文献[8]提出了一种基于计算机视觉的手指折痕识别方法, 比较详细叙述了实验过程和实验结果。所有这些实验证明了利用指节折痕进行人体身份鉴别的有效性。本文提出了利用投影和小波分析理论来提取指节折痕的特征矢量, 进而利用该特征矢量来进行身份识别, 取得了良好的实验结果。

### 2 手指图像预处理和指节折痕感兴趣区域的确定

手指指节折痕图像是直接通过 CCD 摄像机获取的(图 1(a)所示), 由于采集时, 试验者的手可以自由地放置在摄像机镜头下面的平板上, 不像文献[8]那样需要对手掌进行严格限制, 造成试验者的不便; 同时, 不同的人手指的大小也不尽

相同。因此, 在进行手指折痕特征提取和匹配之前, 需要对采集到手指图像进行定位和尺寸归一化处理, 目的是为了保证识别的准确性和有效性, 减少算法的复杂度, 使识别过程与图像旋转、移位、缩放等方向定位因素无关。具体的预处理过程如下:

(1) 利用均值滤波器  $h(x,y)$  对原始灰度图像(图 1(a)所示)进行滤波处理, 选择一个阈值  $T_0$  (本文取  $T_0=68$ ) 将手指从背景中分割出来得到二值图像, 如图 1(b)所示。即

$$\begin{cases} B(x,y)=1 & \text{if } O(x,y)h(x,y) > T_0 \\ B(x,y)=0 & \text{if } O(x,y)h(x,y) < T_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $B(x,y)$  表示二值图像;  $O(x,y)$  表示原始图像。

(2) 跟踪手指边界, 如图 1(c)。

(3) 采用文献[5]提出的方法, 找到中指指尖点  $T_m$  和中指两侧的指根点  $V_1, V_2$ 。利用式(2)计算出它们的中点  $V_m$ , 然后用直线连接点  $T_m$  和  $V_m$ 。以  $V_m$  为原点, 直线  $V_m T_m$  为坐标轴建立参照坐标系, 如图 1(d)。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(604720067); 广东省自然科学基金资助团队研究项目(04205783); 广东省自然科学基金资助项目(04205783); 校博士基金资助项目(073049)

**作者简介:** 罗荣芳(1965 - ), 男, 博士研究生, 主研方向: 数字信号与图像信息处理, 生物特征识别, 小波分析及应用; 林土胜, 教授、博士生导师

**收稿日期:** 2007-03-10 **E-mail:** Luorfang04@163.com

$$\begin{aligned} x_m &= x_1 + (x_2 - x_1)/2 \\ y_m &= y_1 + (y_2 - y_1)/2 \end{aligned} \quad (2)$$

(4)在中指图像的中心区截取一个长方形窗口形状的区域(见图 1(e)),得到手指子图,即 ROI(Region of Interest);在截取 ROI 时,至少要包含手指的第 1 节指节和第 2 节指节的折痕线;然后进行图像尺寸归一化,最后结果见图 1(f)。

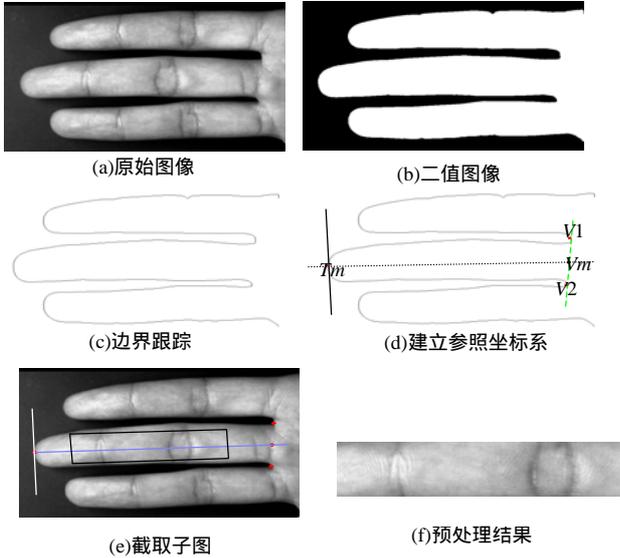


图 1 图像的预处理过程

经过图像定位、分割和归一化等预处理后,每个 ROI 块都具有相同大小,且手指的偏移和旋转已基本被消除。手指图像经预处理后,ROI 区域的大小均为  $80 \times 320$  个像素,使后续的图像特征提取和识别在同一尺度下进行。

### 3 指节折痕特征的提取

手指折痕线与手指的边缘垂直或接近于垂直排列,这样可利用式(3)将手指子图向水平轴作投影并求平均值,得到的是图像在垂直方向平滑了的一维信号,它基本上包含了折痕线的空间和线分布信息,又使分布在图像行方向的噪声得到有效的抑制。

$$Pf(n) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M f(m,n) \quad (3)$$

其中  $f(m,n)$  代表手指子图图像,  $m=1,2, \dots, 80, n=1,2, \dots, 320$ ;  $M$  是 ROI 垂直方向的像素点总数,文中  $M=80$ ,  $Pf(n)$  为投影后的一维信号。对于通过上述变换后得到的代表折痕信息的一维信号,还不能直接用它作为特征矢量,一方面,它的数据量仍然偏大,对识别来说,还存在太多的冗余;另一方面,虽然经过投影平均后使分布在图像行方向的噪声得到一定程度的减少,但分布在图像列方向的噪声仍然存在,所以信号中仍混杂着噪声。因此,需要寻找一种分析工具或方法,既可消除噪声,又可提取信号中的有用信息,同时数据量能被大幅度减少,以利于特征模板数据库的建立;近年来,蓬勃发展的多分辨率分析技术刚好满足这一要求。

#### 3.1 小波变换

小波变换是一种时频分析方法,具有多分辨率分析的特点和表征信号局部特征的能力,被誉为分析信号的显微镜。近年来,在模式识别中的特征提取方面,小波分析已显示了良好的效果<sup>[3,9]</sup>。

设  $\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$  ( $L^2(\mathbb{R})$  表示平方可积的实数空间,即能量有限的信号空间),其傅里叶变换为  $\hat{\psi}(\omega)$ ,当其满足允许条件

$$C_\psi = \int_{\mathbb{R}} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (4)$$

时,称  $\psi(t)$  为母小波。将母小波  $\psi(t)$  经伸缩和平移后,就可以得到一个小波序列。

对于连续的情况,小波序列为

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in \mathbb{R}; \quad a \neq 0 \quad (5)$$

对于离散的情况,小波序列为

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (6)$$

对于能量有限的信号(即  $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$ )小波变换的定义为

$$W_f(a,b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = |a|^{-1/2} \int_{\mathbb{R}} f(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (7)$$

### 3.2 特征提取

上述经投影所获得的信号是一种混有多种频率的信号;既有频率较高的噪声,也有频率不相同的有用信息,这部分反映了手指上不同大小和位置不同的折痕线信息。本文选用小波分析的目的就是利用其多分辨率的特征和具有表征信号局部特征的能力,对信号进行多层的分解,将信号分解到不同的频率上,得到分辨率不同的子信号,然后提取代表折痕信息的有用信号。

对信号进行  $J$  阶的一维小波分解,每级的小波分解如图 2 所示。在图 2 中,  $Lo-D$  表示所用小波的分解低通滤波器;  $Hi-D$  表示所用小波的分解高通滤波器;  $\downarrow 2$  表示抽取向量中标号为偶数的元素;  $cA_{j+1}$  为低频系数向量;  $cD_{j+1}$  为高频系数向量。下一步分解中,用同样的方法把低频系数  $cA_{j+1}$  分成高频和低频两部分。因此,经过  $J$  阶分解后,得到  $J+1$  个子信号:  $\{[cA_j, cD_{j+1}, \dots, cD_J]\}$ 。

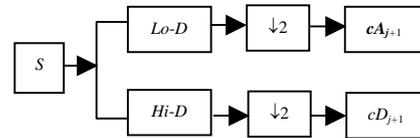


图 2 第  $J$  阶小波分解过程

本文选用具有正交性、紧支性和近似对称性的  $\text{sym6}$  小波函数来进行分析,而具体分解到哪一级则可以根据信号的性质和问题的需要来确定。在文中将信号分解到第 3 级时得到了较好的实验结果,第 3 级的近似部分  $cA_3$  在类间表现出了较好的可分性,代表了原信号中的折痕信息部分,可用作表征手指折痕的特征矢量,这样经过小波的分解,既消除了噪声,又滤除了对识别贡献不大的冗余信息,使特征维数得到进一步压缩。最后提取的特征称为小波系数特征矢量 ( $WCFV$ ),特征矢量的维数为 49。

### 4 指节折痕特征的匹配识别

设  $WCFV_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$  和  $WCFV_j = (a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jm})$  为 2 个不同手指折痕的小波系数特征矢量,利用欧氏距离来衡量其相似性:两特征矢量间的欧氏距离定义为

$$D(WCFV_i, WCFV_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (a_{ik} - a_{jk})^2}$$

为了测试算法提取特征的有效性,对采集的 51 个人的手指图像(每人 8 张),共 408 张手指灰度图,分别进行了类内两两匹配和类间两两匹配的实验,共进行的匹配次数为 83 028 次;其中,类内匹配(又称合法匹配)了 1 428 次,类间匹配(又称非法匹配)了 81 600 次匹配实验;两者的距离分布曲线如图 3 所示。

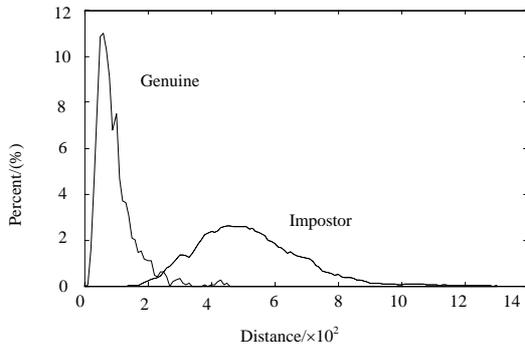


图3 小波系数特征的类内和类间匹配的距离分布

从图3中可以看出,类内匹配的距离主要集中在96左右,类间匹配的距离则集中在510左右,这2条距离分布线分得比较开,且相交较少。这表明折痕的特征向量间存在着明显的差异性(不同指节折痕间相距较大)和稳定性(相同指节折痕的不同样本之间距离较小),即选择的特征具有在特征向量空间中类间距离大而类内方差小的特点。因此,本文提出的特征提取算法完全可用于人体身份识别。在完成了ROI的折痕特征提取后,可以由基于欧氏距离的最近邻分离器完成决策分类任务。

### 5 实验结果

为了检验算法的性能和准确度,采用错误接受率(False Acceptance Rate, FAR)和错误拒绝率(False Rejection Rate, FRR)作为标准,FRR和FAR之间总是存在矛盾的,通过合适地选择阈值,可以得到最大的识别率。一般将FRR和FAR相等时的错误率作为评价识别系统的测度,称之为等错误率(Equal Error Rate, EER)。本文的FRR和FAR计算方法如下:

$$FRR = \frac{\text{合法匹配时欧氏距离大于阈值}r\text{的匹配次数}}{\text{合法匹配次数}}$$

$$FAR = \frac{\text{非法匹配时欧氏距离值小于阈值}r\text{的匹配次数}}{\text{非法匹配次数}}$$

FRR和FAR随阈值变化的曲线如图4所示。

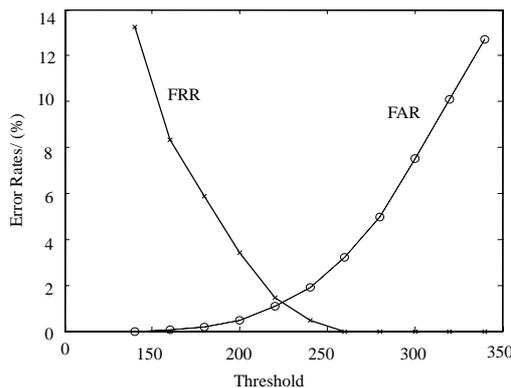


图4 FAR和FRR随阈值变化曲线

实验时首先从每个人的中指图像中任取4个样本用来训练,其余4个用来测试。将每一类训练样本的小波系数特征的均值作为该类的手指折痕模板存入数据库,然后把每个测试样本和每个模板进行匹配,这样每个测试样本会产生50个非法匹配和一个合法匹配。共进行了 $51 \times 4 \times 51 = 10404$ 次匹配,其中, $51 \times 4 = 204$ 次合法匹配,其余的为非法匹配。从

图4可以看出,阈值 $T = 227$ 时,FRR和FAR取值基本相等,等错误率约为1.5%,此时算法的识别率为98.5%。

### 6 结束语

本文提出了一种利用手指指节折痕作为生物特征来进行身份识别的新算法。算法首先利用手指的尖点和手指根两侧的基点来建立手指坐标系,围绕中指的指中心部位割取一个大小固定的矩形区域(区域包含手指的第1和第2指节的折痕线),即ROI区域;然后利用投影和小波分析相结合的方法来提取ROI图像的折痕信息。该算法的优点是直接原始的灰度图像上进行处理,不需要对图像进行滤波、增强等预处理,主要是由于算法运用了投影平均和小波分析相结合的方法来达到对图像平滑、增强的目的,有效地提取了折痕的特征矢量。匹配实验结果表明,提取的特征矢量在以欧氏距离作为相似性的度量时具有较强的区分不同指节折痕的能力,阈值 $t = 227$ 时,算法的识别率为98.5%。

指节折痕作为一种新的生物特征,是现有生物特征识别技术的重要补充。一方面,由于折痕的特征比指纹的特征明显得多,提取这些特征时不易被噪声干扰;还可以克服指纹由于劳动等因素的磨损而难以提取细节特征点的难题;另一方面,目前开发的人体生物识别系统一般只利用了人体参数的一种特征,识别率和准确率受到了一定的限制。因此,综合利用多种特征,研究多分类器的集成方法也是身份认证领域的一个新方向。本文为多分类器的集成方法研究提供了一种新的生物参数。

### 参考文献

- [1] Jain A K, Ross A, Prabhakar S. An Introduction to Biometric Recognition[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 4-19.
- [2] Zhang David, Kong Wai-kin, Jane You, et al. On-line Palmprint Identification[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(9): 1041-1051.
- [3] Wu Xiangqian, Wu Kuanquan. Wavelet-based Palmprint Recognition [C]//Proc. of the 1st International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Beijing: [s. n.], 2002-11.
- [4] Tee C, Teoh B J, Goh K O, et al. An Automated Palmprint Recognition System[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(5): 501-515.
- [5] Lin Chin-lung, Thomas C Chuang, Fan Kuochin. Palmprint Verification Using Hierarchical Decomposition[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(1): 2639-2652.
- [6] 袁立, 穆志纯, 徐正光, 等. 基于人耳生物特征的身份识别[J]. 模式识别和人工智能, 2005, 18(3): 310-315.
- [7] Takeda M, Uatoshi S, Hiramatsu K, et al. Finger Image Identification Method for Personal Verification[C]//Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1990: 761-766.
- [8] Joshi D G, Rao Y V. Computer-vision-based Approach to Personal Identification Using Finger Crease Pattern[J]. Pattern Recognition, 1998, 31(1): 15-22.
- [9] 苏晓生, 林喜荣. 基于小波变换的掌纹特征提取[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(8): 1049-1051.