

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0322-04

基于手背静脉和虹膜的融合识别算法

李秀艳 刘铁根 谷春梅 王云新 邓仕超

(天津大学精仪学院光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要 针对单生物特征识别的不足,提出了利用手背静脉和虹膜融合来实现身份识别。在身份识别过程中,对手背静脉图像和虹膜图像进行预处理,然后对图像进行小波变换提取手背静脉纹理特征和虹膜特征。将手背静脉和虹膜的小波特征融合,形成联合特征向量,最后采用最小距离分类器实现身份认证。利用 CASIA 虹膜数据库和 TJU 手背静脉数据库对该算法进行了性能测试,实验结果表明该融合算法的识别性能比单个生物特征识别算法的性能有明显提高,为生物特征识别研究提供了新思路。

关键词 图像处理;生物特征识别;特征融合;手背静脉;虹膜

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s2.0322

Recognition Algorithm for Multimodal Biometric Fusion Based on Hand Vein and Iris

Li Xiuyan Liu Tiegen Gu Chunmei Wang Yunxin Deng Shichao

(Key Laboratory of Opto-Electronics Information and Technical Science, Ministry of Education, College of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract Aiming at the limitations of unimodal biometric identification, a recognition algorithm for multibiometric fusion based on hand vein and iris is proposed. To verify personal individual, the hand vein image and iris image are preprocessed, and then the feature codes of hand veins and iris are extracted from the detail images obtained using wavelet transform. The wavelet features of hand vein and iris are connected as a joint feature vector (JFV) at feature level fusion, and the minimum distance classifier is employed for feature matching in identity verification finally. The performance of the proposed method is tested using the TJU hand vein image database and the CASIA iris database. The result demonstrates that the recognition performance of the proposed method is obviously higher than that of single-biometric recognition algorithm, which provides new scientific thought for the further research on biometrics.

Key words image processing; biometrics; feature fusion; hand vein; iris

1 引言

随着信息技术的高速发展,基于生物特征识别的身份识别技术成为备受关注的研究课题。生物特征识别最大的特点就是对用户自身的特征进行认证,具有防伪性好、便于携带、不易丢失或遗忘的优点,与传统的身份识别方法如证件和密码等相比具有更高的安全性和稳定性^[1~3],可广泛应用于公安、军事和金融交易等信息安全领域。

常用的生物特征识别技术包括虹膜识别、指纹识别、人脸识别以及静脉识别等。手背静脉识别作

为一种新兴的生物特征识别技术具有自己独特的优势,它是一种便捷的非接触式检测方法,用户接受度高;此外手背静脉为皮下组织,难以伪造,不易受到污染和损伤^[4,5],上述诸多优势使手背静脉识别成为近年来生物特征识别领域中的研究热点之一。但静脉识别通常采用近红外成像,受环境影响比较大,影响识别准确性。虹膜识别具有唯一性、稳定性和非侵犯性等优点,与其他生物特征相比更为稳定可靠^[6~8],但虹膜识别无法避免眼疾患者不能进行虹膜识别的问题,而且虹膜受睫毛、眼皮的遮挡等因

基金项目: 国家 973 计划(2010CB327802)、国家自然科学基金(60627002, 60577013)、天津市应用基础研究计划(06YFJZJC00400)、教育部博士点新教师基金(200800561020)和天津大学青年教师培养基金(TJU-YFF-08B47)资助课题。

作者简介: 李秀艳(1981—),女,博士研究生,主要从事生物特征识别技术研究。E-mail: kellylx@163.com

导师简介: 刘铁根(1955—),男,教授,博士,博士生导师,主要从事嵌入式图像处理、生物特征识别、光纤传感和光电检测等方面的研究。E-mail: tgliu@tju.edu.cn

素,成像失败率高,使得识别错误拒绝率高。为此,单生物特征识别系统有待进一步的改进,而多生物特征融合识别为单生物特征识别带来的一些实际问题提供了有效的解决方案^[9,10]。

本文融合手背静脉和虹膜两种生物特征实现身份识别,提出了一种手背静脉和虹膜特征融合识别算法。针对手背静脉和虹膜不同生物特征分别采用了不同的预处理方法,利用小波变换的方法分别提取手背静脉和虹膜的特征信息,将两种小波特征进

行融合,形成联合特征向量,最后利用最小距离分类器实现身份识别。

2 融合识别基本原理

基于手背静脉和虹膜特征融合的身份识别基本原理如图 1 所示。首先分别对手背静脉图像和虹膜图像进行预处理,经小波变换提取图像特征,然后将手背静脉和虹膜的小波特征组合形成联合特征向量,最后利用最小距离分类器完成识别。

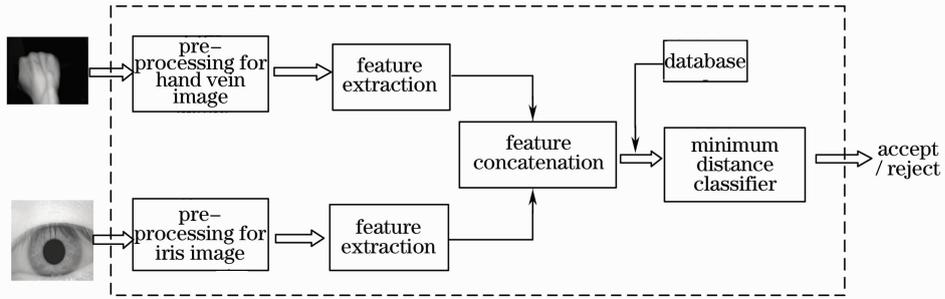


图 1 手背静脉与虹膜特征融合识别原理框图

Fig. 1 Block-diagram of recognition system based on fusion of hand vein and iris

3 图像预处理

3.1 手背静脉图像预处理

手背静脉原始图像存在大量背景信息和噪声,首先要对手背静脉图像进行必要的预处理。为了减少图像处理的数据量,利用阈值法去除大部分背景,并从原图像中获取手背图像 $H(x,y)$,再利用阈值 T 得到手背模板为

$$H_T(x,y) = \begin{cases} 0, & H(x,y) < T \\ 1, & H(x,y) \geq T \end{cases} \quad (1)$$

手背的边缘部分虽然不属于识别的有效区域,但是该区域易于检测到无效的特征点,为此对 $H_T(x,y)$ 模板进行形态腐蚀得到 $H_V(x,y)$,并与手背图像结合得到感兴趣区域(ROI)

$$H_{ROI}(x,y) = H_V(x,y)H(x,y) \quad (2)$$

此后对手背静脉 ROI 图像进行中值滤波和高斯滤波,用于降低图像白噪声和椒盐噪声。

3.2 虹膜图像预处理

虹膜是位于瞳孔和巩膜之间的环状区域。由于虹膜图像数据库中的图像为人眼图像,为了实现虹膜识别,首先应从人眼图像中提取出虹膜区域图像。虹膜图像预处理包括虹膜定位、眼皮定位、图像归一化和图像增强。

3.2.1 虹膜定位

虹膜定位包括虹膜内边缘定位和虹膜外边缘定

位。内边缘指瞳孔的边界,外边缘即虹膜与巩膜的边界。一般情况下虹膜与瞳孔的中心并不重合,所以内外边缘需要分别定位。采用基于图像抽样的快速虹膜定位算法^[11]对虹膜的内外边缘进行定位。首先利用灰度投影法在抽样图像中确定瞳孔内一点 P 。采用 Canny 算子对抽样图像进行边缘提取,并对边缘提取后的图像进行膨胀运算。以 P 点为基点,搜索距 P 点最近的边缘点,求出搜索到的边缘点在原分辨率图像中对应的精确边缘点,最后将精确边缘点进行最小二乘拟合,得到虹膜内边缘的圆心 O_p 和半径 R_p 。在进行外边缘定位时将瞳孔区域中的全部像素置为“0”以去除虹膜内边缘的干扰,再以 O_p 为圆心,弧度为 $[-\pi/4, \pi/4] \cup [3\pi/4, 5\pi/4]$ 范围内的区域提取虹膜外边缘点,检测得到粗略的外边缘点,根据各粗略边缘点在原分辨率图像中确定精确的外边缘点。将内边缘圆心 $O_p(x_p, y_p)$ 的邻域 $[x_p \pm 10, y_p \pm 10]$ 作为外边缘圆心的候选点,在此小空间进行霍夫(Hough)变换,即可精确定位虹膜外边缘的圆心 O_l 和半径 R_l 。虹膜定位结果如图 2(a) 所示。

3.2.2 眼皮定位

在 CASIA 数据库中,90% 的人眼图像中的虹膜有效区域被上眼皮或下眼皮遮挡,因此需要检测出眼皮的边缘,以去除其对虹膜特征编码的影响。

首先采用高斯滤波器对图像进行滤波,然后利用水平平滑滤波器对图像滤波,以增强图像的水平边缘。再利用水平分割算子对图像滤波得到梯度图像,并利用阈值法对梯度图像进行二值化。最后采用基于最大连通路径的方法^[12]对眼皮进行抛物线拟合,以完成眼皮定位。眼皮定位的结果如图 2(b)所示。

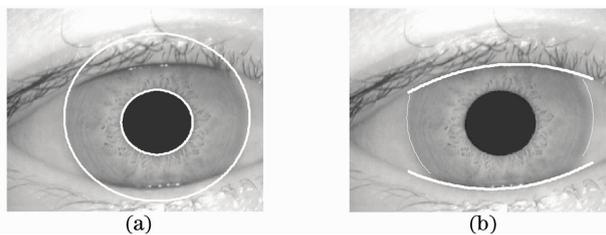


图 2 虹膜定位结果。(a)虹膜边缘定位;(b)眼皮定位
Fig. 2 Results of iris localization. (a) iris edge localization; (b) eyelid detection

3.2.3 虹膜图像归一化和增强

由于照明因素、拍摄距离的变化、拍摄对象头部的倾斜以及眼球的转动等原因造成虹膜尺寸不同。为了获得更好的识别结果,必须将虹膜区域的大小归一化为固定的尺寸和位置。本文采用王蕴红等提出的虹膜归一化方法^[13]将虹膜从环形映射到 $64 \text{ pixel} \times 512 \text{ pixel}$ 大小的矩形图像,如图 3(a)所示。归一化虹膜图像的对比度较低,利用直方图均衡化对图像进行增强,增强后的图像如图 3(b)所示。

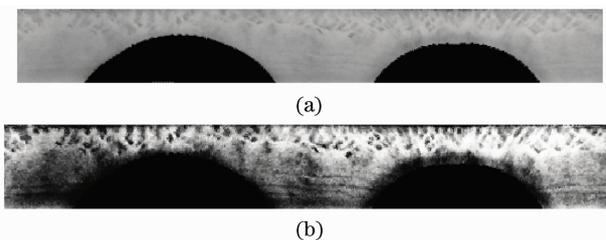


图 3 虹膜图像预处理结果。(a)虹膜归一化图像;
(b)虹膜增强图像
Fig. 3 Results of iris image pre-processing
(a) normalized iris image; (b) enhanced iris image

4 特征提取与识别

4.1 手背静脉图像特征提取

本文采用小波变换方法实现手背静脉的特征提取。首先,利用 Haar 小波对手背静脉图像进行三级分解得到 9 幅细节图像。利用图像偏差描述静脉图像在水平、垂直、对角线方向的纹理信息,从而提取手背静脉的纹理特征。为了更好地描述手背静脉的局部信息,将每个细节图像等分成 $s \times s$ 个不相交的子图像,计算每个子图像的偏差,将这些子图像的

偏差作为手背静脉图像的特征向量。子图像偏差为

$$\sigma_m^n = \sqrt{\frac{\sum [I_m^n(i,j) - M]^2}{N}}, \quad (3)$$

$$m = 1, 2, \dots, 9; n = 1, 2, \dots, s^2$$

式中 $I_m^n(i,j)$ 为第 m 个细节图像的第 n 个子图像像素值, N 为 I_m^n 的像素个数, M 是子图像 I_m^n 的均值。将这些子图像的偏差组成长度为 $9 \times s^2$ 的一维矢量,构成手背静脉特征向量

$$\mathbf{V} = [\sigma_1^1, \sigma_1^2, \dots, \sigma_1^s, \dots, \sigma_9^1, \sigma_9^2, \dots, \sigma_9^s]. \quad (4)$$

4.2 虹膜图像特征提取

由于小波分析这种瞬变信号处理方法可以很好地刻画虹膜的局部变化,基于这一思想进行虹膜特征提取。首先对预处理后的虹膜图像进行三级 Haar 小波分解,为了减少计算复杂度并降低噪声的影响,仅使用两个尺度下的细节信号刻画不同虹膜灰度信号的差异。采用第二级和第三级 Haar 小波分解得到水平、垂直、对角线三个方向共六幅特征图像: $HL_2, HL_3, LH_2, LH_3, HH_2, HH_3$, 然后提取局部快速变化区域作为虹膜细节特征,令局部快速变化区域为“1”,其他区域为“0”,从而实现特征编码。将这些编码矩阵组合在一起形成一个具有固定长度的代表虹膜模式的特征向量 \mathbf{I} 。

4.3 特征融合识别

手背静脉的特征提取与虹膜特征提取是两个独立的处理模块,分别输出了手背静脉初始特征向量 \mathbf{V} 和虹膜初始特征向量 \mathbf{I} 。将手背静脉的小波特征向量 \mathbf{V} 和虹膜的小波特征向量 \mathbf{I} 联接,形成联合特征向量 \mathbf{F}

$$\mathbf{F} = [\mathbf{V}, \mathbf{I}], \quad (5)$$

联合特征向量 \mathbf{F} 包含手背静脉和虹膜在不同尺度下的纹理特征,代表了手背静脉和虹膜的融合模式。

在识别阶段,利用欧式距离作为待识别样本和注册样本的相似性测度,并利用最小距离分类器(MDC)实现待识别样本的分类,其中欧式距离 $D_{r,t}$ 为

$$D_{r,t} = \sqrt{(\mathbf{F}_r - \mathbf{F}_t)(\mathbf{F}_r - \mathbf{F}_t)^T}, \quad (6)$$

式中 \mathbf{F}_r 和 \mathbf{F}_t 分别为注册样本的特征向量和待识别样本的特征向量。

5 实验结果

由于目前尚无来自同一个体的手背静脉图像和虹膜图像的双模态数据库,考虑到两种生物特征之间的相互独立性,因此,将两种模态的图像数据以一

一指配的方式进行实验。本文采用了 CASIA 虹膜图像数据库和 TJU 手背静脉图像数据库。CASIA 虹膜数据库中包括 80 人(其中男 62 人,女 18 人)共 108 只不同眼睛的虹膜图像样本,每只眼睛有 7 幅 8 位灰度图像,分辨率为 $320 \text{ pixel} \times 280 \text{ pixel}$ 。TJU 手背静脉图像数据库包含 54 人的左右手背,共 108 个不同手背的静脉图像样本,每个手背有 7 幅 8 位灰度图像,分辨率为 $640 \text{ pixel} \times 480 \text{ pixel}$ 。将 108 个类别的手背静脉图像和 108 个类别的虹膜图像一一指配为来自同一类别的两种生物特征,组成本文的实验数据库。

实验中,取每类手背静脉和虹膜的 3 幅图像作为注册样本,其余 4 幅图像作为测试样本。利用测试样本和 3 幅注册样本进行匹配,并取欧式距离最小值为匹配值,在认证模式下得到的错误拒绝率(FRR)和错误接受率(FAR)曲线如图 4 所示。其中 FRR1 和 FAR1 为利用手背静脉一种特征识别时的错误拒绝率曲线和错误接受率曲线,FRR2 和 FAR2 为利用虹膜一种特征识别时的错误拒绝率曲线和错误接受率曲线,FRR 和 FAR 为利用手背静脉和虹膜两种特征融合识别时的错误拒绝率曲线和错误接受率曲线。从图中可以得出等错率 EER1 为 4.58%,EER2 为 4.18%,而利用两种生物特征的简单融合得到的等错率仅为 2.8%。可见,将手背静脉和虹膜两种生物特征融合后识别性能有明显提高。

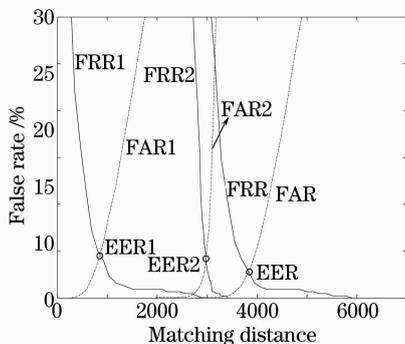


图 4 FRR 和 FAR 曲线

Fig. 4 Curves of FRR and FAR

6 结 论

提出一种基于手背静脉和虹膜的生物特征融合识别算法。首先分别对手背静脉图像和虹膜图像进行必要的预处理,对预处理后的图像分别进行 Haar 小波分解,得到手背静脉和虹膜的小波特征,然后将

两者的小波特征向量组合形成联合特征向量代表手背静脉和虹膜的融合模式,最后利用最小距离分类器实现身份识别。利用 CASIA 虹膜数据库和 TJU 手背静脉图像数据库对算法性能进行了测试,实验结果表明将手背静脉和虹膜融合后的识别性能比手背静脉或虹膜单一特征识别性能有明显的提高,因此本融合方法具有可行性,为进一步的融合识别研究提供了基础,同时也为生物特征识别技术的研究提供了新思路。

参 考 文 献

- 1 C. Tisse, L. Martin, L. Torres *et al.*. Person identification technique using human iris recognition [C]. *Proc of Vision Interface*, 2002, 294~299
- 2 Li Ma, Tieniu Tan, Yunhong Wang. Personal identification based on iris texture analysis[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(12): 1519~1533
- 3 L. Ogorman. Comparing passwords, tokens, and biometrics for user authentication [C]. *Proc. IEEE*, 2003, **91** (11): 2019~2040
- 4 Kejun Wang, Yan Zhang, Zhi Yuan. Hand vein recognition based on multi supplemental features of multi-classifier fusion decision [C]. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 2006, 1790~1795
- 5 Chih-Lung Lin, Kuo-Chin Fan. Biometric verification using thermal images of palm-dorsa vein patterns [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004, **14**(2): 199~213
- 6 Yuan Weiqi, Xu Lu, Lin Zhonghua. An iris block-encoding method based on statistic of local information [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(11): 2047~2053
苑玮琦,徐露,林忠华.一种基于局部信息统计的虹膜分块编码方法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(11): 2047~2053
- 7 J. G. Daugman. How iris recognition works [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Stems for Video Technology*, 2004, **14**(1): 21~30
- 8 A. K. Jain, A. Ross, S. Prabhakar. An introduction to biometric recognition [J]. *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, 2004, **14**: 4~20
- 9 A. Ross, A. Jain. Information fusion in biometrics [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, **24**: 2115~2125
- 10 Fenghua Wang, Xianghua Yao, Jiuqiang Han. Improving iris recognition performance via multi-instance fusion at the score level [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**(11): 824~826
- 11 Wang Yunxin, Liu Tiegeng, Jiang Junfeng. Rapid iris localization algorithm based on image sampling [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2008, **35**(9): 122~126
王云新,刘铁根,江俊峰.基于图像抽样的快速虹膜定位算法 [J]. *光电工程*, 2008, **35**(9): 122~126
- 12 Wang Yunxin, Liu Tiegeng, Jiang Junfeng. A novel eyelid detection method for iris segmentation [C]. *SPIE*, 2007, **6833**: 68330M
- 13 Wang Yunhong, Zhu Yong, Tan Tieniu. Biometrics personal identification based on iris pattern [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2002, **28**(01): 1~10
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**(01): 1~10