

文章编号:1001-9081(2012)11-3193-05

doi:10.3724/SP.J.1087.2012.03193

对抗图像旋转的手指静脉身份识别新算法的设计

汤 露^{*}, 彭双平

(中国船舶重工集团公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003)

(*通信作者电子邮箱 tanglu624611@126.com)

摘要:为了克服图像旋转对手指静脉身份识别系统正确率的影响,在图像预处理部分提出一种基于手指指尖的旋转定位方法,改进了基于方向模板和局部动态阈值分割提取静脉特征的方法并用改进 Hausdorff 距离(MHD)距离进行匹配验证。实验结果表明,同一根手指的图片在平面偏移角度小于20°时,可以达到0.75%的等误率,正确识别率达97.25%,而且整个处理过程在VC++6.0上面执行耗时仅为161.6949 ms,系统具有很好的实时性能,对实际手指静脉身份识别产品的开发具有一定的现实意义。

关键词:手指静脉;生物特征身份识别;旋转校正;指尖定位;特征提取

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:**A

New design of finger-vein identification algorithm against image rotation

TANG Lu^{*}, PENG Shuang-ping

(No. 710 Research and Development Institute, China Shipbuilding Industry Corporation, Yichang Hubei 443003, China)

Abstract: In order to overcome the impacts of image rotation on the accuracy of the finger-vein identification system, in the image pre-processing module, a new rotation approach based on the fingertip position to correct the target region was presented in this paper. The other part of the proposed system consists of an improved feature extraction module using direction templates and local dynamic threshold segmentation and a classification module using a Modified Hausdorff Distance (MHD). The experimental results show that it achieves a high recognition rate of 97.25%, and the Equal Error Rate (EER) is 0.75% when the drift angle among the images of the same finger is less than 20 degrees. What is more, the whole process took only 161.6949 ms in VC++6.0, which meant that the system had a superior real-time performance. The proposed system also has certain practical significance for developing finger-vein identification products.

Key words: finger-vein; biometric identification; rotation correction; fingertip location; feature extraction

0 引言

手指静脉身份识别技术作为第二代生物特征识别技术^[1],与第一代生物特征识别技术如人脸识别、指纹识别、虹膜识别相比,由于其特征唯一性好、特征隐藏在身体里面、利用活体采集验证等独特优势,使得其伪造难度更大,几乎不可能被盗取,因此可以为人们的信息安全提供更加可靠的保障。手指静脉身份识别技术在国外如日本已经产业化并被广泛应用在银行、学校、政府部门等领域,而在国内该技术还处于起步阶段,有待进一步的开发和应用。

手指静脉图像是基于人体血液中的血红蛋白能吸收一定波长的红外线的原理而采集的,在采集的过程中由于手指的旋转、弯曲、晃动等因素,很难保证所采集的图片具有良好的一致性,其中又以旋转问题影响最大且最难克服。一般而言手指的旋转分为空间旋转和平面旋转,空间旋转可以通过设计采集装置的结构加以解决,如中国船舶重工集团公司第七一〇研究所的手指静脉身份识别仪就是通过同时摆放3根手指来解决空间旋转问题的^[2]。而对于平面旋转,由于不同的人手指粗细不同,很难通过结构来限制手指的平面偏移,近年来很多学者提出可以采用全局特征提取方法来克服图像平面旋转的问题,如主成分分析法(Principal Component Analysis, PCA)^[3]、不变矩^[4]、小波变换^[5]等方法,但这些方法计算量

大,软件实现复杂,在小型计算机系统上很难保证实时性能。与指纹识别、虹膜识别一样,基于几何形状的特征提取方法是手指静脉特征提取的一种重要方法,这种方法计算量相对较小,且原理简单,不足的是该方法不具有旋转、平移不变性,从而使得基于该方法的准确识别率受到影响。针对上述问题,本文提出了一种静脉图像的旋转定位法。该方法原理简单,计算量小,能同时解决图像的旋转和平移两大问题。在一定偏移角度范围内,经过旋转定位处理的图片都能获得很好的一致性,最终都能提取出一致性优良的目标研究区域。该旋转定位法与基于几何形状的特征提取方法联合使用不仅能满足系统实时性能的要求,而且在准确识别率等指标上效果也十分令人满意。

基于上述思想,本文设计了一套完整的用于手指静脉身份识别系统的算法,该算法包括图像预处理、手指静脉特征提取和手指静脉特征匹配验证三个部分。在特征提取部分,本文在现有研究的基础上改进了一种基于方向模板和局部动态阈值分割的特征提取方法,最终提取出了清晰强健的静脉特征。特征匹配部分采用改进的 Hausdorff 距离(Modified Hausdorff Distance, MHD)方法进行验证。

1 图像预处理

1.1 中值滤波

由于受到电路噪声、传感器噪声的影响,所采集的手指静

收稿日期:2012-05-13;修回日期:2012-07-12。

作者简介:汤露(1986-),男,湖北潜江人,硕士研究生,主要研究方向:手指静脉身份识别、FPGA 技术; 彭双平(1985-),男,湖北荆州人,电子工程师,硕士,主要研究方向:嵌入式系统。

脉图像不可避免会叠加各种随机噪声,其中又以脉冲噪声(椒盐噪声)和高斯噪声的影响最为明显,如图 1 所示。中值滤波对于椒盐噪声,提供了一种优秀的去噪能力,因此首先要对静脉图像进行中值滤波。中值滤波的思想就是将每一像素点的灰度值设置为该点某邻域窗口内的所有像素点灰度值的中值。邻域窗口设置不能过大,否则会模糊图像的细节和边缘,甚至破坏静脉特征,本文取邻域窗口为 3×3 。图 1 所示为静脉库中原始图片,中值滤波后的效果如图 2 所示。

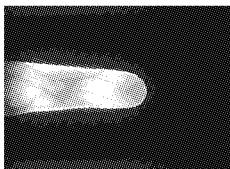


图 1 原始图像

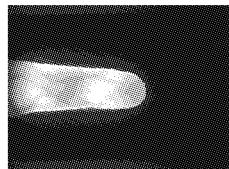


图 2 中值滤波后的图像

1.2 Canny 边缘提取

手指静脉图像经过中值滤波后,椒盐噪声被很好地消除了,但是高斯噪声依然存在,本文中不再专门设计高斯低通滤波器来平滑图像,这是因为下文所述的 Canny 算子^[6]本身就具有对图像高斯平滑的功能。

为了获取手指图像的目标研究区域,首先需要提取出手指区域轮廓。值得注意的是,在这里只是提取手指区域轮廓,而不分割其他细节如静脉的边缘。本文选择使用 Canny 算子来完成这一操作。根据文献[6]所实现的 Canny 算法可以通过设置高低两个阈值来满足不同图像边缘提取的需求,其中大阈值用于控制强边缘的初始分割,小阈值用于控制边缘连接。通过合理设置 Canny 算子的高低两个阈值,可以十分有效地提取出手指区域轮廓,而且能保证轮廓的连通性。通过对 500 幅手指静脉图像进行阈值测试发现,当大阈值介于 425 到 700,小阈值介于 80 到 150 时,可以得到满意的分割效果,如图 3 所示就是分别取大、小阈值为 500、100 时的分割效果图。可以清晰地看到图中的手指区域被干净地分割了出来,而且边缘连通性很好,分割效果十分理想。

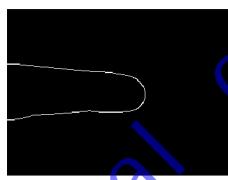


图 3 Canny 边缘提取

1.3 图像旋转定位

图像旋转定位的目的是保证最终所提取出来的目标研究区域具有良好的一致性。旋转定位法主要包括手指指尖点定位和图像旋转两部分。本文中坐标系以垂直向下为 x 正方向,水平向右为 y 轴正方向, $f(x, y)$ 表示 (x, y) 点像素灰度级,下面具体介绍该算法实现步骤。

1) 手指指尖点粗定位:在所提取的手指轮廓图上,利用式(1)按照从右到左、从上到下的顺序计算轮廓图中每一像素点位置的微分,直到搜索到微分值大于阈值 T_h 的点 P_1 和微分值小于 $-T_h$ 的点 P_2 为止,接着计算 P_1P_2 的中点坐标并取整,此即为粗定位的指尖点 P ,本文中取 $T_h = 250$ 。

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1, y) - f(x, y) \quad (1)$$

2) 手指指尖点精确位置候选点确定:以 P 点为中心,宽、高分别为 W 和 H 作一个虚拟矩形,矩形框内的所有轮廓点作为手指指尖精确位置候选点,按照从左到右、从上到下的顺序

遍历这些候选点,并将候选点坐标存储在数组 $CurvatureArc[num]$ 中,本文中 $W = 20, H = 70$ 。

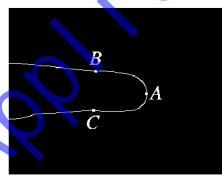
3) 曲率法精确定位手指指尖点 A :手指指尖轮廓近似一段圆弧,因此可以通过式(2)和式(3)计算轮廓上每个点的曲率,统计曲率较大且分布较均匀的位置即可认为是手指指尖的精确位置,由数学知识易知 $\theta \in [-90^\circ, +90^\circ]$ 时, $\cos \theta$ 越大表示该夹角绝对值越小,所反应的曲率越大,反之则越小,式中 $k = i, i+1, i+2, \dots, num - i$, 实验表明当 i 取值为 5 到 15 时效果较好,取 $i = 6$ 最终定位的手指指尖点 A 如图 4 所示。

$$\alpha = CurvatureArc[k+i] - CurvatureArc[k] \quad (2)$$

$$\beta = CurvatureArc[k] - CurvatureArc[k-i] \quad (2)$$

$$\cos \theta = \frac{\alpha \cdot \beta}{|\alpha| \times |\beta|} \quad (3)$$

4) 利用中点 Bresenham 八分画圆法的思想^[7] 以指尖 A 为圆心,以 R 为半径画出虚拟圆的左半平面圆弧,并在该虚拟圆弧轨迹上搜索与手指轮廓相交的两个点 B, C ,本文中取 $R = 80$ 最终搜索到的 B, C 两点如图 4 所示。

图 4 A, B, C 三点位置

5) 图像旋转:如图 5 所示,按式(4)以指尖位置 $A(m, n)$ 点为旋转中心,图像逆时针旋转 θ 角度,其中坐标点 (x', y') 为原图像 (x, y) 处像素点坐标旋转后在新图像中的位置, D 为 BC 中点, AO 与图中所示的 y 轴平行,为了保证图像旋转不失真,采用双线性插值法^[8] 来处理旋转所导致的浮点坐标问题。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta \sin \theta \\ -\sin \theta \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - m \\ y - n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix} \quad (4)$$

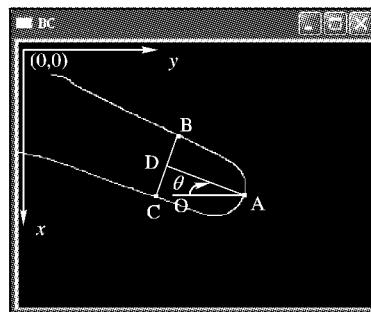
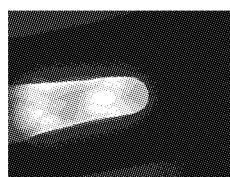
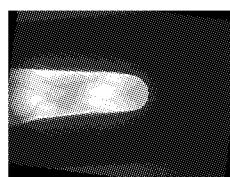


图 5 图像旋转示意图

利用本文所提出的旋转定位法对图像做预处理后,手指静脉图像的一致性能得到很好的保证,这对于后续提取目标区域和特征匹配非常重要,本文所提出的旋转定位法对于图像偏移角度 $\theta \in [-20^\circ, +20^\circ]$ 时能达到很好的校正效果。图 6 所示就是偏移角度为 -10° 时的定位效果。



(a) 偏移图像



(b) 旋转后的图像

图 6 旋转效果图

1.4 提取目标区域并尺寸归一化

由于人的手指静脉特征唯一性很好,因此只需选取手指上一定区域来进行研究即可。手指前端区域受指甲和第一指关节的影响,所拍摄的静脉图案一般比较模糊,本文选取手指第一和第二关节之间的区域作为主要的目标提取区域。经过上述旋转定位处理的手指图片,只需确定 $height$ 、 $width$ 和 $|AD|$ 三个参数即可方便地提取出目标区域,如图 7 所示。本设计中采取定宽不定高的原则来设置参数,即 $width = 86$, $|AD| = 80$, $height = |BC| - 8$, 单位为像素, B 、 C 两点如图 5 所示, $|BC|$ 表示 B 、 C 两点之间的欧氏距离。

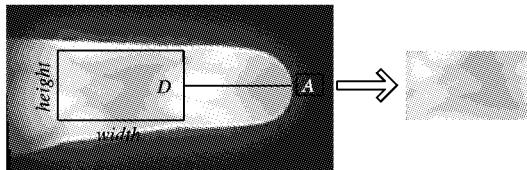


图 7 提取目标区域

经过上述方法处理后的目标图像对不同粗细的手指有较强的适应性,但是这样会导致不同手指静脉图像所提取的目标区域尺寸不一致,这样对后续的特征匹配会造成影响,在此还需要对目标图形尺寸进行归一化处理。最终归一化的图像尺寸分别为宽 96 像素、高 80 像素。为了方便后续特征提取中模板在边界像素处的计算,需将所提取的目标矩形区域的各个边界复制 4 个像素宽度,归一化图像中目标区域图像以外的其他区域用灰度级为 0 的像素点填充,如图 8 所示。

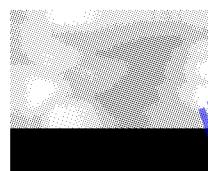


图 8 目标区域归一化

2 静脉特征提取

本文采用基于几何形状的特征提取方法来提取手指静脉特征。手指静脉图像是基于人体血液中的血红蛋白能吸收特定波长的红外线原理而拍摄到的,因此在图像中静脉区域灰度级偏小,视觉上呈灰暗色。文献[9]指出灰度级在静脉横截面上的分布看起来像一个谷型,而谷底位置就代表着静脉特征点。可以认为宏观上的静脉特征是由每一个静脉特征点朝一定的方向延伸并与下一个特征点相连而构成的,因此可以采用方向模板对静脉图像的每一个像素做卷积来确定这一走向^[10]。本文所采用的基于方向模板和动态阈值分割的方法就是根据以上原理而设计的。该方法主要由提取手指静脉谷型区域和动态阈值分割两个子模块构成。下面具体介绍该算法的实现步骤:

1) 提取谷型区域。由式(5)计算图像中每一个像素新的灰度级。其中 $(W_i)_{9 \times 9}$ ($i = 1, 2, \dots, 8$) 是图 9 所示的 8 个方向的方向模板, $\text{Max}\{S_{9 \times 9} * (W_i)_{9 \times 9}\}$ 表示以当前像素点为中心的 9×9 邻域像素与各个方向模板卷积的最大值,当使用图 9 所示的某一个方向的方向模板时,模板中其他方向的元素均为 0。

$$f(x, y) = \text{Max}\{S_{9 \times 9} * (W_i)_{9 \times 9}\} \quad (5)$$

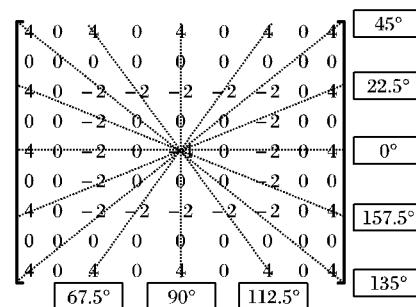


图 9 各个方向的方向模板

2) 过滤非静脉特征点。在新灰度数据中,如果某一点的灰度级小于 0,则表示该点一定不是静脉特征点,按照式(6)删除这些点,最终得到的静脉谷型如图 10 所示。

$$f(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & f(x, y) > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

3) 消除部分伪静脉特征点。图 10 所示的静脉谷型图中可以明显看到一些浅灰色的混沌图案,这些混沌图案中包含大量伪静脉特征点,需要将其滤除。先利用式(7)计算静脉谷型图中所有非零灰度级像素点的平均灰度,确定一个阈值 T_h ,然后按照式(8)剔除伪静脉特征点。实验表明,当 T_h 取值介于 8 到 15 时效果较佳,本文取 $T_h = 10$ 最终得到的静脉谷型如图 11 所示,从图中可以清晰地看到大部分伪静脉特征点已经被删除。

$$f_{\text{mean}} = \frac{1}{n} \sum_{f(x,y) > 0} f(x, y) \quad (7)$$

$$f(x, y) = \begin{cases} 0, & f(x, y) < f_{\text{mean}} - T_h \\ f_{\text{mean}}, & f(x, y) > f_{\text{mean}} \\ f(x, y), & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$



图 10 提取静脉谷型



图 11 消除部分伪静脉

4) 局部动态阈值分割。采用 Niblack 方法^[11]对图像进行局部动态阈值分割以获得静脉特征二值化图像。先由式(9)和(10)计算图像每一点 (x, y) 的 11×11 邻域像素灰度级的均值 $\mu(x, y)$ 和标准差 $\sigma(x, y)$,然后按式(11)确定每一点 (x, y) 的分割阈值 $\bar{T}(x, y)$,最后以新的局部阈值按照式(12)将图像二值化,本文取 $\alpha = 0.1$ 最终得到的手指静脉特征二值化图像如图 12 所示。

$$\mu(x, y) = \frac{1}{11 \times 11} \sum_{i=-5}^5 \sum_{j=-5}^5 f'(x+i, y+j) \quad (9)$$

$$\sigma(x, y) = \sqrt{\frac{1}{11 \times 11} \sum_{i=-5}^5 \sum_{j=-5}^5 (f'(x+i, y+j) - \mu(x, y))^2} \quad (10)$$

$$\bar{T}(x, y) = \mu(x, y) + \alpha \times \sigma(x, y) \quad (11)$$

$$f'(x, y) = \begin{cases} 255, & f'(x, y) > \bar{T}(x, y) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

5) 中值滤波平滑图像。图 12 所示的二值化图像边缘毛刺较多且含有很多微小噪声,这里采用 3×3 的邻域对二值化图像进行中值滤波,滤波平滑后的图像如图 13 所示,可以看到图像中

的噪点被大大消除,但是仍然有一些大的噪点和孔洞。

6) 消除噪点并填补孔洞。首先采用泛填充算法^[7,12]搜索静脉特征图像的每一个 8-连通区域,然后给每个区域标号并计算其包含的像素个数,最后决策如果前景区域像素点个数小于前景阈值则将该区域所有像素灰度置为 0 以消除噪点,如果背景区域像素点个数小于背景阈值则将该区域所有像素灰度置为 255 以消除孔洞,本文设置前景阈值为 200,背景阈值为 15,最终得到的图像如图 14 所示。

7) 静脉特征骨架化。运用 Zhang 并行细化算法^[13]对静脉图像进行细化,最终得到的静脉特征骨架如图 15 所示。

8) 修剪毛刺。搜索静脉图像的所有交叉点并编号,沿着交叉点的每一条分支进行搜索,如果碰到其他交叉点或是搜索长度超过设定的最小阈值 T_h 则停止搜索,如果搜索到端点而且长度小于 T_h 则认为该分支为毛刺,删除该分支,本文设定阈值 $T_h = 8$ 文中阈值 Th 加下标区别最终得到的效果如图 16 所示。



图 12 Niblack 分割



图 13 中值滤波



图 14 剔除噪声区域



图 15 静脉特征骨架化



图 16 修剪毛刺

3 特征匹配

本文采用文献[14]提出的方法提取手指静脉特征的端点和交叉点,提取的端点和交叉点如图 17 所示,白色小方格代表端点,稍大的方格代表交叉点,然后采用 MHD^[15]进行特征匹配。MHD 是一种很好的衡量两幅二值图像相似性的技术,已经被广泛应用于如人脸识别等其他生物特征识别技术中。给出两个特征点集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 和 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$,则 A 到 B 集间距离 $HD(A, B)$ 和 A 到 B 有向距离 $h(A, B)$ 分别定义为式(13)和(14)。为了避免开放运算,本文在具体软件实现中直接计算 $h^2(A, B)$,匹配时设定 MHD 距离阈值 T_h ,如果两幅手指静脉图片的特征点集间距离小于 T_h ,则匹配成功,反之则匹配失败。

$$HD(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (13)$$

$$h(A, B) = \frac{1}{m} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (14)$$



图 17 端点和交叉点提取

4 实验及分析

用于实验的静脉特征库由 80 根手指的图片构成,每根手指采集 5 幅,共计 400 幅图片。以 VC++ 6.0 为平台进行实验,台式机的硬件配置为主频 1.5 GHz 酷睿 2 代双核处理器,1 GB DDRII 667 MHz 内存。本研究采取端点和交叉点联合匹配的方式进行实验,即比对过程中只要满足端点和交叉点两者中的任意一个阈值条件就判为匹配成功,当端点 MHD 距离阈值取为 0.445,交叉点 MHD 距离阈值取为 0.375 时,利用本文所提出的方法能达到 0.75% 的等误率(等误率定义为 $|FAR - FRR|$ 最小时的 FAR ,其中 FAR (False Accept Rate) 表示认假率, FRR (False Reject Rate) 表示拒真率)。具体实验结果如表 1 所示,其中通过次数包括误识次数,实际正确匹配次数为 390。本文方法与现阶段其他解决平移旋转的方法^[1,16-17]比较结果如表 2 所示。

表 1-1: N 模式下匹配结果

总的匹配次数	通过次数	拒识次数	错误匹配次数	正确匹配次数	FRR/%	FAR/%
400	393	7	3	97.25	1.75	0.75

表 2 本文算法与其他算法的比较

方法	抗平移 像素	抗旋 转/(°)	最高识别率/%	FAR/%
本文方法	60	±20	97.25	0.75
文献[1]方法	10	±2	96.05	
文献[16]方法	6	±4		3.6
文献[17]方法	10	±10	91.75	

由表 2 可知,本文所提出的图像旋转定位法优势十分明显。事实上,一旦解决了静脉图像的平移旋转问题后,细节点匹配算法在识别率上要好于某些复杂抗旋转的算法,如文献[3]所提出的归一双向加权(2D)2PCA 算法的最高平均识别率就只能达到 96.21%。本文所采用的细节点匹配算法的最大优点就是原理简单、计算量小。为了定量评估本文所设计算法的响应速度,实验中还对系统各个部分所花费的时间进行了统计,其中 MHD 匹配部分统计的是与 400 个特征样本匹配的总时间,具体如表 3 所示。

表 3 各个模块花费时间统计

图像处理模块	耗费时间/ms	所占百分比%
中值滤波	14.7458	9.12
Canny 边缘提取	35.0414	21.67
图像旋转定位	24.0942	14.90
静脉特征提取	78.7498	48.70
静脉特征去噪点	4.0922	2.53
静脉特征骨架化	2.1592	1.34
修剪静脉毛刺	0.3410	0.21
MHD 匹配	2.4713	1.53
总计	161.6949	100.00

本文算法在特征提取上所耗费的时间为 78.8 ms,要明显少于文献[9]所提出的重复线性追踪算法的 450 ms。整个过程 162 ms 的响应速度相比文献[1]的 2.2 s 要快得多,这种响应速度对于文献[3]的 PCA、文献[4]的不变矩和文献[5]的小波算法而言也是很难达到的。以当前日驱成熟的指纹静脉产品反应时间 1 s 来看,本文算法在响应速度上具有明显的优势。

上述实验结果表明,采用本文设计的算法,不仅解决了平移旋转两大问题,极大增强了算法对手指摆放的鲁棒性,而且还可以获得很好的准确识别率和优秀的实时性能,对手指静脉身份识别产品的研制有一定的实用意义。

5 结语

进一步分析本文所提出的算法可知,整个算法虽然数据处理量很大,但是计算过程中涉及到的反馈变量很少,十分适合并行处理;而且除了旋转部分和动态阈值的计算外,其他部分计算都是整型计算,浮点计算量也不大。因此,本文所设计的算法比较适合现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)的实现。在接下来的研究中,将致力于如何将该系统移植到单片FPGA上,并整合图像采集模块,构成一个完整的手指静脉身份识别系统。

参考文献:

- [1] 余成波,秦华锋.生物特征识别技术——手指静脉识别技术[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [2] 郭庆昌,陈金花,张静,等.手指静脉图像采集识别装置的手指安放器:中国,201020602567.3[P],2011-05-25.
- [3] 管凤旭,王科俊,刘靖宇,等.归一双向加权(2D)2PCA 的手指静脉识别方法[J].模式识别与人工智能,2011,24(3):417-424.
- [4] 丁宇航.手背静脉识别技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2006.
- [5] 王科俊,袁智.基于小波矩融合PCA 变换的手指静脉识别[J].模式识别与人工智能,2007,20(5):692-697.
- [6] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8 (6): 679-698.
- [7] 和青芳.计算机图形学原理及算法教程:Visual C++版[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [8] 王昊京,王建立,王鸣浩,等.采用双线性插值收缩的图像修复方
- [9] MIURA N, NAGASAKA A, MIYATAKE T. Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification[J]. Machine Vision and Applications, 2004, 15(4): 194 - 203.
- [10] YU C B, QING H F, ZHANG L. A research on extracting low quality human finger vein pattern characteristics[C]// The 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 1876 - 1879.
- [11] DING Y H, ZHUANG D Y, WANG K J. A study of hand vein recognition method[C]// 2005 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 2106 - 2110.
- [12] 孙家广,胡事民.计算机图形学基础教程[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [13] ZHANG T Y, SUEN C Y. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns[J]. Association for Computing Machinery, 1984, 27 (3): 236 - 239.
- [14] WANG L Y, LEEDHAM G, CHO D S Y. Minutiae feature analysis for infrared hand vein pattern biometrics[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(3): 920 - 929.
- [15] DUBUISSON M P, JAIN A K. A modified Hausdorff distance for object matching[C]// Proceedings of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1994: 566 - 568.
- [16] 王科俊,马慧.使用改进的方向滤波与修正的Hausdorff 距离的手指静脉识别方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2011,23 (3): 385 - 391.
- [17] 王科俊,刘靖宇.基于相对距离和角度的手指静脉识别方法[J].华中科技大学学报:自然科学版,2011,39(5): 96 - 99.

(上接第 3188 页)

- [10] SPAGNOLO P, ORAZIOT D, LEO M, et al. Moving object segmentation by background subtraction and temporal analysis[J]. Image and Vision Computing, 2006, 24(5): 411 - 423.
- [11] 熊亮,刘伟铭.基于背景Codebook 模型的前景检测算法[J].科学技术与工程,2010,10(9): 2118 - 2121.
- [12] ILYASA, SCUTURICIM, MIGUETS. Real time foreground-background segmentation using a modified codebook model[C]// Proceedings of IEEE Conference of Advanced Video and Signal Based Surveillance. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 454 - 459.
- [13] SIGARI M H , FATHY M . Real - time background modeling / subtraction using two-layer codebook model[C]// Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists. London, UK : Academic Press. 2008, 1: 717 - 720.
- [14] SUN JIAN, ZHANG WEIWEI, TANG XIAO' OU, et al. Background cut[C]// ECCV'06 Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision. Berlin: Springer-Verlag, 2006, 2: 628 - 641.
- [15] 高韬,刘正光,张军,等.基于特征点的多运动目标跟踪[J].电子与信息学报,2010,32(5): 1111 - 1115.
- [16] TA D-N, CHEN WEI-CHAO, GELFAND N, et al. SURFTrac: efficient tracking and continuous object recognition using local feature descriptors [C]// Proceedings of IEEE Conference of Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 2937 - 2944.
- [17] CHOI J, CHO Y. Performance improvement of moving object recognition and tracking algorithm using parallel processing of SURS and optical flow[J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2012, 62(6): 264 - 267.
- [18] ERTYEK S. Real-time digital image stabilization using Kalman filter[J]. Real-time Imaging, 2002, 8(4): 317 - 328.
- [19] PRITCH Y, RATOVITCH S, HENDEL A, et al. Clustered synopsis of surveillance video[C]// AVSS'09: Proceedings of IEEE Conference of Advanced Video and Signal Based Surveillance. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 195 - 200.
- [20] PRITCH Y, RAV-ACHA A, PELEG S. Nonchronological video synopsis and indexing[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(11): 1971 - 1984.
- [21] ZHOU YUBIN. Real-time digital image stabilization based on contour motion classification for image stabilization with moving-objects[C]// SPIE' 08: Proceedings of International Society for Optics and Photonics Engineering. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008, 7156: 71561F1 - 7.
- [22] ZHOU YUBIN. Real-time electronic digital image stabilization system based on multi-core computation [C]// Proceedings of Electronic Measurement & Instruments. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 4308 - 414.
- [23] ZHANG PENG, DU JIANGUO, XIE XIAODONG, et al. A multi-standard video codec architecture based on multi-core pipeline[J]. Computer Research and Development, 2008, 45(11): 1985 - 1993.
- [24] RASMUSSEN M S, STUART M B, KARLSSON S. Parallelism and scalability in an image processing application[J]. International Journal of Parallel Programming, 2009, 37(3): 306 - 323.
- [25] TERBOVEN C, an MEY D, SCHMIDL D, et al. First experiences with intel cluster OpenMP [C]// Proceedings of the 4th International Conference on OpenMP in a New Era of Parallelism. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 48 - 59.