

基于 8 方向脊向滤波器的指纹预处理方案

王 瑶 喻建平 刘宏伟 张 鹏

(深圳大学 ATR 国防科技重点实验室, 广东深圳 518060)

摘 要: 在自动指纹识别系统中, 对时间复杂度高的指纹图像预处理算法进行研究, 为了有效地去除指纹图像中的噪声, 提高识别速度以应用于实时系统, 提出了一种基于 8 方向脊向滤波器的指纹预处理方案。该方案在求取点方向图时以方向逼近法为基础, 引入均值滤波的思想以降低图像中噪声的影响, 获取一致性更好、性能更稳定的点方向图; 然后根据脊向滤波器的设计原理, 优化设计了一组对应于指纹图像方向信息的 8 方向脊向滤波器模板; 最后运用查表法, 对于指纹图像中的每个像素点选取与其方向信息相应的滤波器模板进行图像增强。在 FVC2004 公布的指纹图像数据库 DB1_B 上, 按照 FVC2004 测试标准所做的试验结果表明, 本文所提方案简单快速有效, 能够应用于实时的自动指纹识别系统。

关键词: 预处理算法; 方向图; 图像增强; 8 方向脊向滤波器

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2011)09-1423-05

Fingerprint pre-processing scheme based on 8 directional ridge-direction filter

WANG Yao YU Jian-ping LIU Hong-wei ZHANG Peng

(ATR Key Laboratory of National Defense Technology, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

Abstract: In order to get rid of the noise of fingerprint image effectively and cut down the time of identify so it can be used to the real-time system more appropriate, this paper proposed a fingerprint pre-processing scheme based on 8 directional ridge-direction filter, which based on the study of the fingerprint image pre-processing algorithm which is time consuming in Automatic Fingerprint Identification System (AFIS). This scheme based on direction approximation method while estimating the point orientation field of fingerprint, employed the mean filter algorithm which can reduce the influence of fingerprint image noise, not only made the consistency of point orientation field better but also made the performance of results more reliable. And then designed a suite of 8 directional ridge-direction filter which corresponding with the direction information of fingerprint image according to the design principles of ridge-direction filter. At last adopted the method of look-up to select ridge-direction filter corresponding with the fingerprint direction information of each pixel, to enhance fingerprint image. Experiments are done on the FVC2004 databases DB1_B with the FVC2004 performance evaluation method and the results show that our scheme is simply, quickly and efficiently that can be widely used in real-time Automatic Fingerprint Identification System (AFIS).

Key words: fingerprint pre-processing algorithm; orientation map; image enhancement; 8 directional ridge-direction filter

1 引言

自动指纹身份识别技术根据指纹图像特征点的匹配而实现, 因此特征点的精确提取是自动指纹身份识别系统的基础与重要组成部分。然而实际应用中, 由于手指本身因素和采集条件的限制, 采集到的指纹图像会不同程度的受到各种噪声的干扰, 故指纹图像预处理必不可少。

如图 1 所示, 指纹图像预处理一般包括规格化、图像分割、图像增强以及二值化^[1]。在预处理诸多步骤中图像增强尤为重要, 图像增强使得指纹纹线结构清晰, 突出和保留图像的固有特征, 避免产生伪特征信

息, 一般包括方向图计算和方向滤波器增强两个步骤。

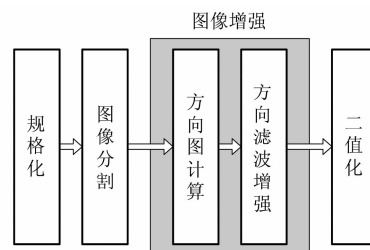


图 1 预处理算法流程图

Fig. 1 Block diagram of pre-processing algorithm

方向图获取效果的优劣, 将直接影响到图像增强

效果的好坏,因此获取一幅精确的指纹方向图是指纹图像增强中不可或缺的一部分。目前求取方向图常用的方法有梯度法^[2]、方向逼近法^[3]以及掩膜法^[4]。其中梯度法获得的方向图精度较高,但是实现过程比较复杂,计算时的时间和空间复杂度高,不宜于实时环境下采用;方向逼近法所获得的方向图精度较高,且其计算的时间和空间复杂度较低,非常适宜于在线情况下采用,但是其直接利用图像的原始灰度值进行计算,对噪声相对敏感;掩膜法虽然计算速度快,实现方便,对于硬件要求较低,但是其提取的方向图精度不高。论文[5]在选取方向图求取算法时,为了追求高运算效率忽视了求取方向图的精确性,故采用掩膜法求取指纹方向图,以致于存在抗噪声性能差、求取方向图一致性不好等问题。

很多学者就基于方向图的图像增强算法做了深入研究^{[6]-[10]},目前常用的增强算法大多基于 Gabor 滤波器^{[6][7]}和脊向滤波器^{[8]-[10]}。Gabor 滤波器^[7]具有频率选择和方向选择的特性,增强效果较好,但是存在算法耗时、系统参数选择以经验为依据等问题;脊向滤波器^[8]是一系列与指纹图像像素点方向相关的滤波器,首先设计水平方向滤波器,其他方向的滤波器则对水平方向滤波器旋转相应的角度而得到,滤波时需要对于每个像素都计算一次滤波模板,计算量较大。论文[5]为了减少计算量,提高运算效率,预先设计好8个方向的脊向滤波器,采用查表的方法进行滤波增强,大大提高了运算效率,但是由于其脊向滤波器参数设置不合理,因此增强效果并不佳。如何在提高图像增强算法效率的同时提高图像增强的效果,已经成为指纹图像预处理中的重中之重。

本文综合考虑运算效率与处理精度,针对方向逼近法对噪声敏感且方向场易误判等问题,利用均值滤波的思想求取像素点各个方向上邻近点的灰度均值,提出一种均值滤波-方向逼近法来求取指纹图像方向图;针对传统脊向滤波器更换滤波模板所导致的计算量大、效率低等问题,分析脊向滤波器设计原理,优化了论文[5]中所设计的8方向脊向滤波器;根据均值滤波-方向逼近法求取的方向图信息,对每个像素选用相应方向的脊向滤波器,进而从速度与精度上综合优化了图像增强算法,使得算法能够应用于实时系统。

2 均值滤波-方向逼近法求取方向图

对于待求像素点,首先求取各个方向上邻近 n 个像素点的灰度均值,接着利用各个方向上的灰度均值进行相应方向统计变量的计算,统计变量最小的方向即为该像素点的方向值。算法具体步骤如下:

1) 将指纹纹线方向在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之内定义 N 个基本方向,如下图2所示。理论上 N 值越大越好,但是试验表明, N 取8就可以得到满意的效果。

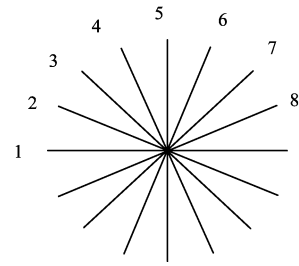


图2 八个方向示意图

Fig.2 Sketch map of eight directions

2) 对于规格化后的指纹图像,按照下式计算各个像素点 (i, j) 沿各个方向的灰度均值 M_d 和绝对值之差 S_d 。

$$M_d = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n G_d(i_k, j_k) \quad (1)$$

$$S_d = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |G_d(i_k, j_k) - M_d|, \quad d=1, 2, \dots, N \quad (2)$$

上式(1)中, $G_d(i_k, j_k)$ 是原始图像中像素点 (i, j) 处沿 d 方向上第 k 点的灰度值, n 为所取邻域的邻点数,文中 $n=8$ 。

3) 设像素点 (i, j) 的方向为 $\theta(i, j)$ 。脊线方向上各个像素点的灰度值彼此接近,因此在获取指纹图像点方向图时, $\theta(i, j)$ 为 S_d 取值最小的方向,即 $\theta(i, j) = \min S_d$ 。

4) 将图像分块,对于每一个小块计算其方向直方图,方向直方图中峰值方向即为该块图像纹线的方向,即块内某一方向出现概率最大的那个方向。

均值滤波-方向逼近法不是直接利用某个像素点的灰度值来计算各个方向的统计变量,而是取各个方向上 n 个像素点的灰度均值 M_d 来计算,从而避免了原始方向逼近法直接使用所求像素点的灰度值,存在所求方向图对于噪声相对敏感、一致性不好的问题,由于图像中一个像素点受噪声影响,进而影响该像素点方向的判断是非常常见的,但是在一个区域内或者某个方向上都受噪声影响就不常见了,因此可以采用求取均值的方式来解决上述问题,这样做的好处是在求取点方向图之间进行了一次均值滤波,因而能够有效的降低噪声的影响。

3 8方向脊向滤波器的优化

考虑到实时系统处理对于算法速度要求较高,若对于每个像素滤波时都计算一次其相应的滤波模板,计算量巨大,难以在实时系统中实时实现。为了减少计算量,提高运算速度,本文预先设计好所有方向的脊向滤波器,接着对于每一个像素点根据其方向图中的方向信息采用查表法选用相应的脊向滤波器进行滤波增强。前文我们定义了8个不同的方向,因此应该设计分别对应于该8个方向的脊向滤波器。

脊向滤波器的设计原则^[11]是:

1) 滤波器的模板尺寸要合适。滤波模板的尺寸要求是一个或者一个半的纹线周期。

2) 模板的尺寸要为奇数,这样模板就可以通过中心点关于 x 轴 y 轴对称。

3) 为了提高脊、谷之间的恢复反差,达到边缘锐化的效果,模板设计为:在垂直于纹线方向上中央部分系数为正,两边系数为负。

4) 滤波结果应该与原图的平均灰度无关,因此滤波器模板中的所有系数的代数和应该为零。

论文[5]中设计的脊向滤波器虽然满足设计原则(1)(2),但是原则(3)、(4)明显不满足,论文[5]所设计的脊向滤波器模板中所有系数都大于等于零,且各个方向上系数之间的差值不大,以致于使用该模板不但达不到边缘锐化、图像脊谷分明的增强效果,甚至使增强后的图像更加模糊。本文优化的 8 个方向的脊向滤波器模板如下所示。

$$\begin{bmatrix} -10 & -20 & -30 & -30 & -30 & -20 & -10 \\ 2 & 4 & 6 & 6 & 6 & 4 & 2 \\ 4 & 8 & 12 & 12 & 12 & 8 & 4 \\ 8 & 16 & 24 & 24 & 24 & 16 & 8 \\ 4 & 8 & 12 & 12 & 12 & 8 & 4 \\ 2 & 4 & 6 & 6 & 6 & 4 & 2 \\ -10 & -20 & -30 & -30 & -30 & -20 & -10 \end{bmatrix}$$

1 方向脊向滤波模板

$$\begin{bmatrix} 4 & 2 & 4 & -10 & -20 & -30 & -30 \\ 8 & 8 & 12 & 6 & 6 & -30 & -20 \\ 4 & 16 & 24 & 12 & 6 & 4 & -10 \\ 2 & 8 & 12 & 24 & 12 & 8 & 2 \\ -10 & 4 & 6 & 12 & 24 & 16 & 4 \\ -20 & -30 & 6 & 6 & 12 & 8 & 8 \\ -30 & -30 & -20 & -10 & 4 & 2 & 4 \end{bmatrix}$$

2 方向脊向滤波模板

$$\begin{bmatrix} 8 & 4 & 2 & -10 & -20 & -30 & -30 \\ 4 & 16 & 8 & 4 & 6 & 6 & -30 \\ 2 & 8 & 24 & 12 & 12 & 6 & -20 \\ -10 & 4 & 12 & 24 & 12 & 4 & -10 \\ -20 & 6 & 12 & 12 & 24 & 8 & 2 \\ -30 & 6 & 6 & 4 & 8 & 16 & 4 \\ -30 & -30 & -20 & -10 & 2 & 4 & 8 \end{bmatrix}$$

3 方向脊向滤波模板

$$\begin{bmatrix} 4 & 8 & 4 & 2 & -10 & -20 & -30 \\ 2 & 8 & 16 & 8 & 4 & -30 & -30 \\ 4 & 12 & 24 & 12 & 6 & 6 & -20 \\ -10 & 6 & 12 & 24 & 12 & 6 & -10 \\ -20 & 6 & 6 & 12 & 24 & 12 & 4 \\ -30 & -30 & 4 & 8 & 16 & 8 & 2 \\ -30 & -20 & -10 & 2 & 4 & 8 & 4 \end{bmatrix}$$

4 方向脊向滤波模板

$$\begin{bmatrix} -10 & 2 & 4 & 8 & 4 & 2 & -10 \\ -20 & 4 & 8 & 16 & 8 & 4 & -20 \\ -30 & 6 & 12 & 24 & 12 & 6 & -30 \\ -30 & 6 & 12 & 24 & 12 & 6 & -30 \\ -30 & 6 & 12 & 24 & 12 & 6 & -30 \\ -20 & 4 & 8 & 16 & 8 & 4 & -20 \\ -10 & 2 & 4 & 8 & 4 & 2 & -10 \end{bmatrix}$$

5 方向脊向滤波模板

$$\begin{bmatrix} -30 & -20 & -10 & 2 & 4 & 8 & 4 \\ -30 & -30 & 4 & 8 & 16 & 8 & 2 \\ -20 & 6 & 6 & 12 & 24 & 12 & 4 \\ -10 & 6 & 12 & 24 & 12 & 6 & -10 \\ 4 & 12 & 24 & 12 & 6 & 6 & -20 \\ 2 & 8 & 16 & 8 & 4 & -30 & -30 \\ 4 & 8 & 4 & 2 & -10 & -20 & -30 \end{bmatrix}$$

6 方向脊向滤波模板

$$\begin{bmatrix} -30 & -30 & -20 & -10 & 2 & 4 & 8 \\ -30 & 6 & 6 & 4 & 8 & 16 & 4 \\ -20 & 6 & 12 & 12 & 24 & 8 & 2 \\ -10 & 4 & 12 & 24 & 12 & 4 & -10 \\ 2 & 8 & 24 & 12 & 12 & 6 & -20 \\ 4 & 16 & 8 & 4 & 6 & 6 & -30 \\ 8 & 4 & 2 & -10 & -20 & -30 & -30 \end{bmatrix}$$

7 方向脊向滤波模板

$$\begin{bmatrix} -30 & -30 & -20 & -10 & 4 & 2 & 4 \\ -20 & -30 & 6 & 6 & 12 & 8 & 8 \\ -10 & 4 & 6 & 12 & 24 & 16 & 4 \\ 2 & 8 & 12 & 24 & 12 & 8 & 2 \\ 4 & 16 & 24 & 12 & 6 & 4 & -10 \\ 8 & 8 & 12 & 6 & 6 & -30 & -20 \\ 4 & 2 & 4 & -10 & -20 & -30 & -30 \end{bmatrix}$$

8 方向脊向滤波模板

4 试验结果与分析

为了验证本文所优化算法的正确性和有效性,本文选用 FVC2004 的 DB2_B 中的指纹图像进行了测试。

图 3 为以梯度法、掩膜法以及本文提出的均值滤波-方向逼近法分别求取的点方向图、块方向图和增强图像。(a)为原始图像,(d)(g)分别是掩膜法、均值滤波-方向逼近法求得的点方向图,(b)(e)(h)分别为三种算法求得的块方向图,(c)(f)(i)分别为基于上述三种方向图求取算法运用本文设计脊向滤波器进行图像增强的结果图。

比较图 3 中各幅图像,梯度法由于其仅考虑水平和垂直两个方向上的梯度分量,不能兼顾其余方向上的精确性;掩膜法因其固有的方向垂直判断问题,且在噪声严重的区域对噪声鲁棒性不高,故以上两种方向图求取算法存在方向误判问题((b)(e)红色标记区域),进而影响指纹图像特征点处增强的准确性((c)(f)红色标记区域)。均值滤波-方向逼近算法对于各个

像素点求取灰度均值,进而进行统计变量的分析,在一定程度上增强了算法的抗噪声性能,因此求取的点方向图一致性较好,块方向图方向误判较少,指纹图像特征信息保存准确。

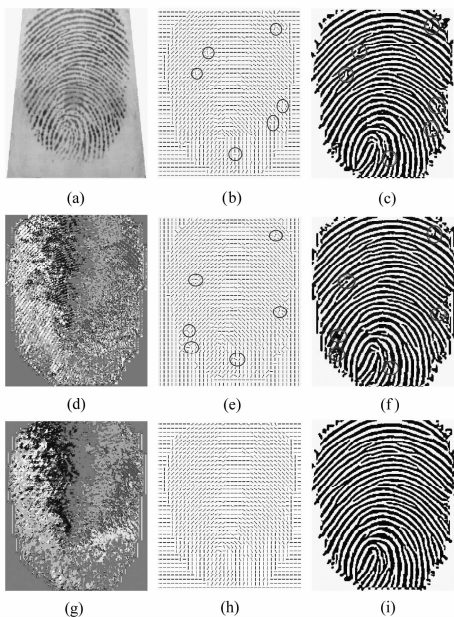


图3 部分指纹方向图及增强图像。(a)原始图像,(d)(g)掩膜法、本文算法点方向图,(b)(e)(h)梯度法、掩膜法、本文算法块方向图,(c)(f)(i)基于梯度法、掩膜法、本文算法的增强图像

Fig.3 Part of fingerprint orientation field. (a)Original image, (d)(g) point orientation field of Mask method and our method, (b)(e)(h) block orientation field of Rao's method, Mask method and our method, (c)(f)(i)enhancement image based Rao's method, Mask method and our method

图4是梯度法、掩膜法以及均值滤波-方向逼近法在耗时性能方面的比较。从图中可以发现,掩膜法与本文提出的均值滤波-方向逼近法耗时相差不大,因此均值滤波-方向逼近算法简单快速,能够适用于实时系统。

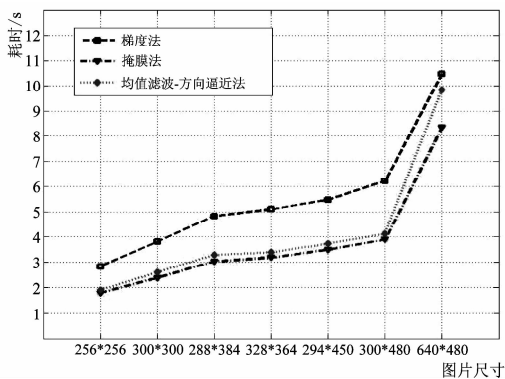


图4 方向图求取算法耗时比较

Fig.4 Comparison of average computational time of orientation field estimation

图5比较了本文采用的基于查表法的脊向滤波器增强算法与论文[5]和[10]耗时方面的比较。图中可以看出,本文算法和论文[5]耗时相当,而论文[10]耗

时明显高于本文。原因是论文[10]只是设计好水平方向脊向滤波器,而其他方向滤波器需由水平方向滤波器旋转相应的角度而得到,因此增加了系统耗时。本文与论文[5]均预先设计好各个方向滤波器,直接用查表法进行图像增强,故算法快速。

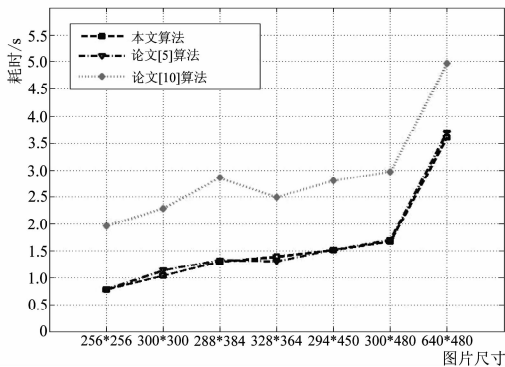


图5 增强算法耗时比较

Fig.5 Comparison of average computational time of enhancement algorithm

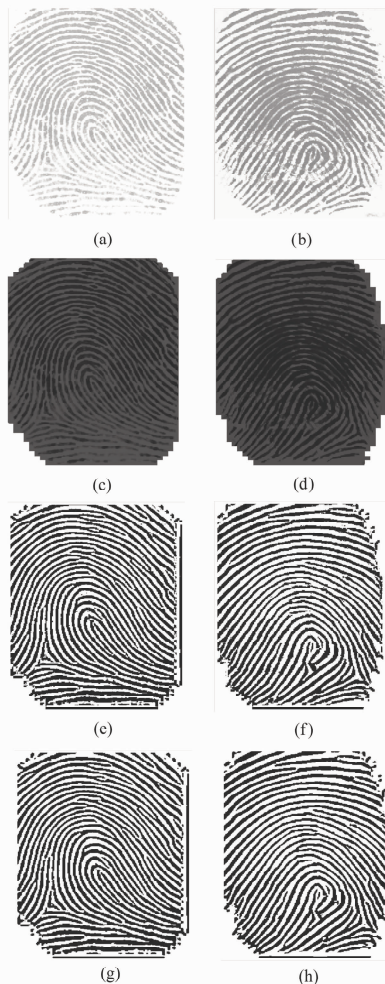


图6 部分增强后的指纹图像。(a)(b)为原始图像,(c)(d)为论文[5]算法增强图像,(e)(f)为论文[10]算法增强图像,(g)(h)为本文算法增强图像

图6为分别运用本文增强算法和论文[5]和论文[10]对两幅指纹图像进行增强的试验结果,图中可以看出,论文[5]算法对于指纹图像的增强效果并不明显,增强后的图像脊谷对比不明显,纹线断裂处也不能很好的连接,造成这种现象的主要原因是其脊向滤波器模板设计不合理。本文算法与论文[10]算法增强效果较好,处理后的指纹图像脊谷分明,脊线误断处亦能很好连接。

5 结束语

使用8方向脊向滤波器对于指纹图像进行增强,由于使用均值滤波-方向逼近法精确的求取了指纹图像的点方向图,又因为预先设计了各个方向上合理的脊向滤波器模板,采用查表的方式根据像素点的方向信息选取对应的脊向滤波器对于指纹图像进行滤波增强,因此取得了较好的处理效果。与其他预处理方案相比,本方案的特点是简单、快速、对于硬件要求低,能够配置实时系统。但是该方案并不能完全满足现实的需求,对于低质量的指纹图像,本文算法的处理效果仍不太理想,这将是我们将下一步努力解决的问题。

参考文献

- [1] Wu YuanBao, He GuiMing, Zhang Xiong, Liu ZhenSheng, A Fast Fingerprint Identification Pre-processing Algorithm[J], Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2007, 596-598.
- [2] Lin Hong, Yifei Wan, Anil Jain, Fingerprint Image Enhancement Algorithm and Performance Evaluation [J], IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machint Intelligence, 1998, 20(8) : 777-789.
- [3] B. M. Mehtre et al, Segmentation of fingerprint images using the directional image [J], Pattern Recognition, 1987, 20(4) : 429-435.
- [4] 罗希平, 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 Xi-ping, TIAN Jie, Image Enhancement and Minutia Matching Algorithms in Automated Fingerprint Identification System[J], Journal of Software, 2002, Vol. 13, No. 5: 946-956. (in Chinese)
- [5] 霍健, 段哲民, 马裕, 张晓鹏, 一种有效的快速指纹预处理算法及仿真[J], 计算机仿真, 2010, 27(8) : 255-258.
HUO Jian, DUAN Zhe-min, MA Yu, ZHANG Xiao-peng, An Effective Fast Fingerprint Pre-processing Algorithm and Simulation [J], Computer Simulation, 2010, Vol. 27, No. 8: 255-258. (in Chinese)
- [6] Javed Ahmed Mahar, Syed Faisal Ahmed Bukhari, Gabor based fingerprints verification of property documents[J], IEEE International Conference on Digital Image Processing, 2009. 49: 247-251.

- [7] Wang W, li J W, Huang F F, et al. Design and implementation of Log-Gabor filter in fingerprint image enhancement [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(3) : 301-308.
- [8] Raju Rajkumar, K Hemachandran, A review on Image enhancement of fingerprint using Directional filters[J], Assam University Journal of Science & Technology, 2011. II(7) : 52-57.
- [9] Md. A. U. Khan, M. Khalid Khan, M. Aurangzeb Khan, Fingerprint Image Enhancement Using Decimation-free Directional Filter Bank, Information Technology Journal [J], 2005.4(1) : 16-20.
- [10] 解梅, 马争, 基于脊向指纹滤波算法[J], 电子学报, 2004, 31(1) : 5-7.
XIE Mei, MA Zheng, An Algorithm of Fingerprint Image Based on the Filtering of the Ridge Direction[J], ACTA ELECTRONICA SINICA, Jan. 2004, Vol. 32, No. 1: 5-7. (in Chinese)
- [11] 胡之惠, 李小云, 一种有效的指纹预处理组合算法[J], 计算机工程与设计, 2007, 28(10) : 2384-2388.
HU Zhi-hui, LI Xiao-yun, Effective combinatorial preprocessing algorithm for fingerprint recognition[J], Computer Engineering and Design, 2007, Vol. 28, No. 10: 2384-2388. (in Chinese)

作者简介



王瑶(1987-),女(汉族),湖南长沙人,深圳大学硕士生,主要研究方向为密码学与信息安全。



喻建平(1968-),男(汉族),湖南沅江人,博士,深圳大学教授、博士生导师,主要研究方向为密码学与信息安全。



刘宏伟(1975-),男(汉族),河南卫辉人,博士,深圳大学副教授,主要研究方向为密码学与信息安全。



张鹏(1984-),女(汉族),湖北当阳人,深圳大学博士生,主要研究方向为密码学与信息安全。