

文章编号 1004-924X(2006)02-0229-07

# 基于区域分割的指纹奇异性检测及中心点计算

乌 旭<sup>1,2</sup>, 胡家升<sup>1</sup>, 梁殿亮<sup>1</sup>

(1. 大连理工大学 电子与信息工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 大连海事大学 信息工程学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:**提出了一种基于区域分割的指纹奇异性检测以及中心点计算算法。该算法在对指纹奇异性分析的基础上,采用 Gabor 滤波、方差分析、图形二值化等分析手段,将指纹图样按不同的指纹脊线方向进行区域分割,根据合成图样每个元素邻域的灰阶变化次数以及相应的灰阶信息来检测指纹的奇异区。最后通过计算各奇异区质心的方法,实现指纹奇异点的定位,并进一步讨论了通过指纹奇异点计算指纹中心点的方法。实验结果表明,本算法可以有效实现不同类型指纹奇异性的检测及中心点的准确定位,算法简单,具有较好的鲁棒性。

**关键词:**方向滤波; Gabor 滤波; 指纹增强; 奇异点; 中心点

中图分类号: TP391 文献标识码: A

## An algorithm for singularity detection and center point calculation based on fingerprint segmentation

WU Xu<sup>1,2</sup>, HU Jia-sheng<sup>1</sup>, LIANG Dian-liang<sup>1</sup>

(1. *School of Electronics and Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;*

2. *College of Information Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China*)

**Abstract:** A novel and simple algorithm for singularity detection and center point calculation in a fingerprint image was presented. Based on analysing of the property of singular points, the Gabor filter, variance analysis were introduced to segment the fingerprint on ridge orientation effectively. By the binary image addition of the fingerprint segmentation, the singular regions were detected according to the change times of gray levels and the intensity in each pixel's neighborhood. The calculation of singular points and center point of the same fingerprint was discussed. The experimental results show that the proposed algorithm can detect more sorts of singular points than other conventional methods and can realize the location of the singular point and center point correctly.

**Key words:** orientation filter; Gabor filtering; fingerprint enhancement; singular point; center point

## 1 引言

指纹由于具有稳定性、唯一性以及易于采集等优点,一直被认为是利用生物特征进行身份鉴定的最可靠的依据之一。特别是近些年发展起来的自动指纹识别系统(Automated Fingerprint Identification System),由于其安全性、可靠性及高效性,在刑侦、信息安全、电子商务等领域得到广泛的应用。指纹自动识别系统主要由指纹采集、指纹分类、特征提取和指纹匹配等部分组成。指纹图像具有奇异性(singularity)<sup>[1]</sup>。所谓奇异性,是指在指纹图像某些位置的小邻域处,由于方向变化剧烈导致在该位置处没有确定性主方向的特性,这些位置被称为奇异点(singular points),而其周围局部区域称为奇异区。指纹奇异性可用于指纹纹形的分类和匹配,因此研究指纹奇异性检测方法具有重要意义。此外,指纹匹配也是指纹识别技术中的关键步骤。指纹匹配<sup>[2]</sup>是把提取出的指纹某位置处的特征点与库中预存的对应位置的特征点进行相应的位置、类型等信息匹配,以其相似程度作为识别的依据,因此特征点的位置参数显得格外重要。通常做法是在指纹中选取一个中心点,然后求出特征点相对于该中心点的位置,再进行对比。因此,准确、可靠地确定指纹中心点的位置,对于指纹自动识别系统同样具有重要意义,并直接影响后续处理中指纹分类及匹配过程的准确性。

近些年来,人们对指纹奇异性检测和指纹中心点的自动定位进行了大量的研究和探讨<sup>[3-7]</sup>。最常见算法包括点指数法、模板匹配、算子检测、方向二值图搜索及其它算法等。其中点指数法从理论上给出了指纹奇异性检测方法。但在实际使用过程中,该方法不但容易漏掉真奇异区的检测,而且易将假奇异区误检为真的奇异区,特别对拱形指纹奇异性检测更容易出现这种情况<sup>[3]</sup>。模板匹配法采用包含指纹中心周围纹线走向各种情况下的八个 RPM(Ridge Pattern Model)模板来筛选指纹中心,但由于所选取的模板类型较少,指纹中心点有时难以准确定位,而算子检测法容易受到局部噪声影响,实用效果相对较差。在细化指纹图像中,采用跟踪脊线得到中心的算法虽然效果较好,但是跟踪算法复杂,且对指纹质量要求较

高<sup>[7]</sup>。如果采得的指纹图样噪声大,指纹奇异区和中心就难以搜寻。

本文在对指纹奇异点特性分析的基础上,提出了一种基于区域分割的指纹奇异性检测及指纹中心定位算法。该算法采用 Gabor 滤波、方差分析、图像二值化等手段,将原始指纹沿不同的脊线方向进行区域分割,根据合成图像每个位置周围的灰阶变化次数以及相应的灰阶信息来定位指纹的奇异区,然后通过计算各奇异区的质心以及各质心的几何中心,最终完成指纹奇异点和指纹中心的定位。

本文在第二节首先对 Gabor 滤波器的原理进行简要说明,实现了原始指纹的图像增强,然后在第三节采用 Gabor 方向滤波,讨论了基于区域分割的奇异点定位算法,并进一步完成指纹中心的定位。第四节针对不同的指纹类型,给出了相应的实验结果,并在第五节给出结论。

## 2 基于 Gabor 函数的指纹图像增强算法

由于现有指纹采集设备的不完善性,对于干燥、潮湿、污渍、老化和严重磨损的手指,往往难以采集到清晰的图像。为了保证指纹特征提取算法的有效性,对输入指纹进行增强是十分必要的。通常,图像增强算法主要包括灰度均衡算法<sup>[8]</sup>,基于模糊集理论的图像增强算法<sup>[9]</sup>,以及各种滤波算法等。对于指纹图像来说,最常用也最有效的增强算法是依据指纹图像特点设计的方向滤波算法。Gabor 滤波器是一种具有良好方向和频率选择特性的滤波器,它能最大限度地兼顾信号在空域和频率域中的分辨能力<sup>[10]</sup>,因此在指纹增强、方向滤波等邻域得到广泛应用。

偶对称 Gabor 滤波器的空域表达式为:

$$\text{Gabor}(x, y, \text{dir}, f) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{x_\varphi^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\varphi^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \cos(2\pi f x_\varphi), \quad (1)$$

其中,

$$\begin{aligned} x_\varphi &= x \cos(\varphi) + y \sin(\varphi), \\ y_\varphi &= -x \sin(\varphi) + y \cos(\varphi), \end{aligned}$$

这里,dir 是 Gabor 滤波器的方向, $f$  是指纹局部纹线的频率。 $\delta_x$  和  $\delta_y$  分别是沿着  $x$  轴和  $y$  轴的高斯包络的空间常量。采用 Gabor 滤波器不但能有效去除指纹中的噪声,还可以尽可能地保留

指纹的结构信息。

偶对称 Gabor 滤波器的傅里叶变换为:

$$Gabor(u, v, dir, f) = 2\pi\delta_x\delta_y \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(u_\varphi - u_0)^2}{\delta_u^2} + \frac{(v_\varphi - v_0)^2}{\delta_v^2}\right]\right\} + 2\pi\delta_x\delta_y \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(u_\varphi + u_0)^2}{\delta_u^2} + \frac{(v_\varphi + v_0)^2}{\delta_v^2}\right]\right\}, \quad (2)$$

其中,

$$\begin{aligned} u_\varphi &= u\cos(\varphi) + v\sin(\varphi), \\ v_\varphi &= -u\sin(\varphi) + v\cos(\varphi), \\ u_0 &= 2\pi\cos(\varphi)/f, \\ v_0 &= 2\pi\sin(\varphi)/f, \\ \delta_u &= 1/2\pi\delta_x, \delta_v = 1/2\pi\delta_y. \end{aligned}$$

这里参数  $\delta_x$  和  $\delta_y$  是可以调整的,如果增大这两个参数值,则对噪声的适应能力增强,但这样做有可能会产生伪纹线;反之,如果减小  $\delta_x$  和  $\delta_y$ ,则产生伪脊和伪谷的可能性降低,但是这样做的结果会使消除噪声的作用减弱。根据经验,通常将  $\delta_x$  和  $\delta_y$  设为 4。

在指纹增强过程中,首先将待增强的指纹图像分块,计算指纹的方向信息和频率信息,以获取 Gabor 滤波器相应系数。然后将得到的 Gabor 滤波器应用于规格化的图像就得到了增强后的指纹图像<sup>[7]</sup>。公式如下:

$$G(i, j) = \sum_{u=-W_g/2}^{u=W_g/2} \sum_{v=-W_g/2}^{v=W_g/2} Gabor(u, v, dir, f) F(i-u, j-v), \quad (3)$$

其中,  $W_g$  限定了 Gabor 滤波器的尺寸大小,  $F(i, j)$  为待增强的指纹图像,  $G(i, j)$  为增强后的指纹图像。

为了提高算法对指纹奇异点区域检测的鲁棒性,预先对原始指纹图像进行相应的指纹增强是必要的。这里直接利用公式 3 对原始图像进行指纹增强,滤波器方向  $dir$  选取如图 1 所示的 8 个

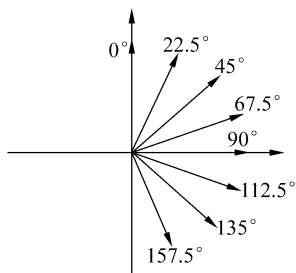
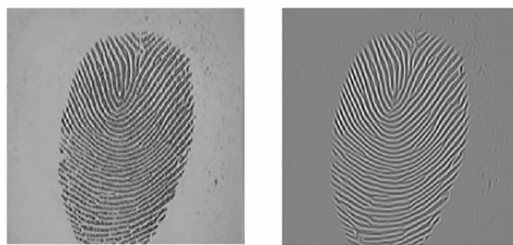


图 1 Gabor 滤波方向示意图

Fig. 1 Diagram of Gabor filter directions

方向,经 Gabor 滤波得到的指纹增强结果如图 2 所示。其中,图 2 (a) 是原始的指纹图像,图 2 (b) 是采用 Gabor 滤波算法得到的指纹增强图像,由图可见,指纹脊线得到了明显的增强,同时平滑了噪声。



(a) (b)

图 2 Gabor 滤波指纹增强结果

Fig. 2 Results of filtered fingerprint

### 3 改进的指纹奇异性检测和中心定位算法

准确、可靠地进行指纹奇异性检测及指纹中心定位,对于指纹自动识别系统具有重要意义。这里提出的指纹中心定位方法,是以指纹奇异性检测为基础。本文在对指纹奇异性分析的基础上,提出了一种基于方向滤波的指纹区域分割算法,并在此基础上实现了指纹奇异点的检测及指纹中心点的定位。

#### 3.1 基于 Gabor 函数的方向滤波

观察图 2(b) 指纹脊线的走向,可以发现,指纹奇异点通常是指纹脊线方向变化相对较大的区域,同时也是多个方向指纹脊线所包络的区域。因此,当采用方向滤波器对指纹图像沿不同脊线方向进行滤波时,沿相应方向的指纹脊线将得到增强,其它方向的脊线信息受到抑制,从而可以得到一系列沿不同方向得到增强的指纹图像子图。根据指纹奇异点的定义,指纹奇异点将会多次出现在沿不同方向进行指纹增强的子图中。

与指纹增强算法类似,选择公式 3 对图 2(b) 进行再次的 Gabor 方向滤波。与第一次指纹整体增强算法不同的是,此次滤波过程中,所选择的 Gabor 滤波器方向  $dir$  分别为如图 1 所示的  $0^\circ$ 、 $22.5^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $67.5^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $112.5^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $157.5^\circ$  等 8 个不同方向进行滤波,滤波结果如图 3 所示。从结

果可以看出,在对指纹图像进行上述 8 个对应方向的 Gabor 滤波过程中,相应方向的指纹脊线都得到了增强,同时抑制了其它方向的脊线信息。观察图 3(a)~(h)可知,在每个方向的滤波过程中,指纹的奇异区都得到了相应增强。

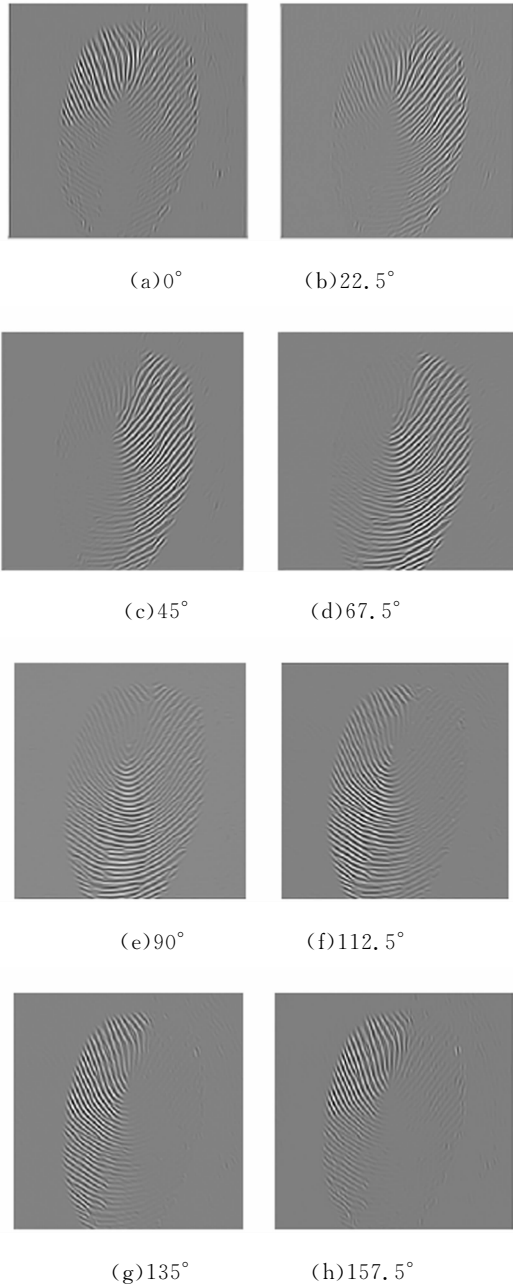
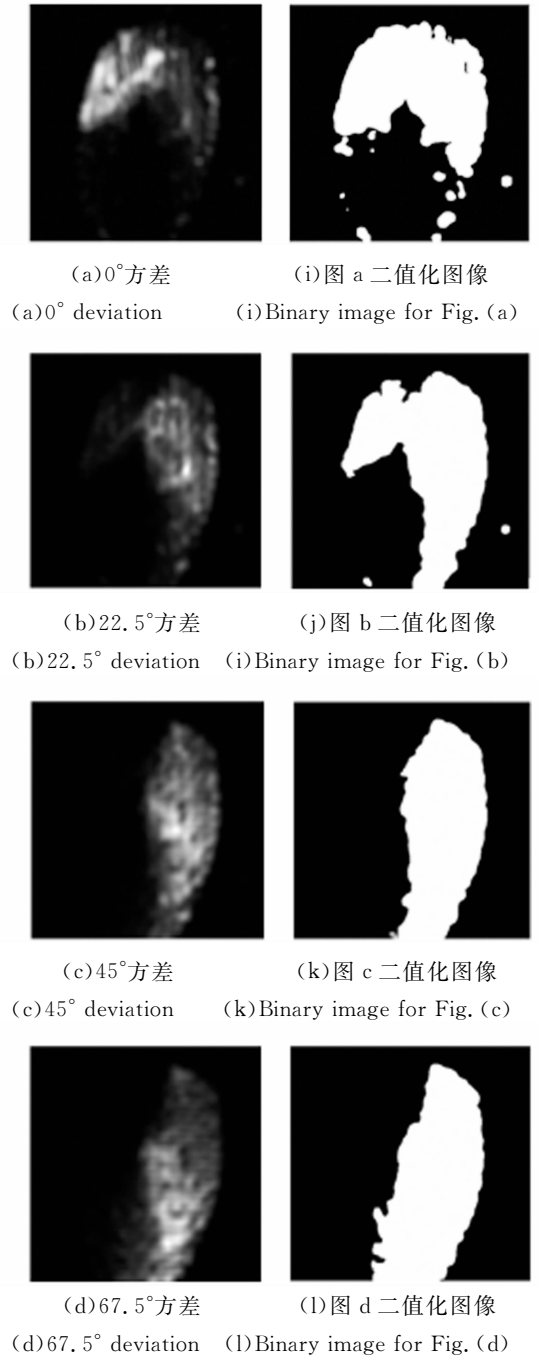


图 3 二次 Gabor 滤波得到的不同方向的指纹增强  
Fig. 3 Fingerprint enhancement at different directions using Gabor filter

### 3.2 指纹奇异性检测及中心点定位算法

为了得到更为清晰的指纹各方向上的分布情况,有效提取指纹沿不同方向滤波后的有效区域,

对图 3 所示的指纹增强图像分块进行了方差运算。由方差的定义可知,对于图 3(a)~(h)所示的指纹图像来说,如果某区域的方差较小,说明该区域没有较大的灰度变化,即指纹信息少,反之,则相应的指纹信息较多。把图 3 中的每个图像分成  $15 \times 15$  的块,计算其方差,结果如图 4(a)~(h)所示。从图中可以发现,通过方差运算,成功实现了指纹增强区域的分割。为了满足算法的需要,将得到的方差图像转换为二值图像进行处理,处理的结果如图 4(i)~(p)所示。



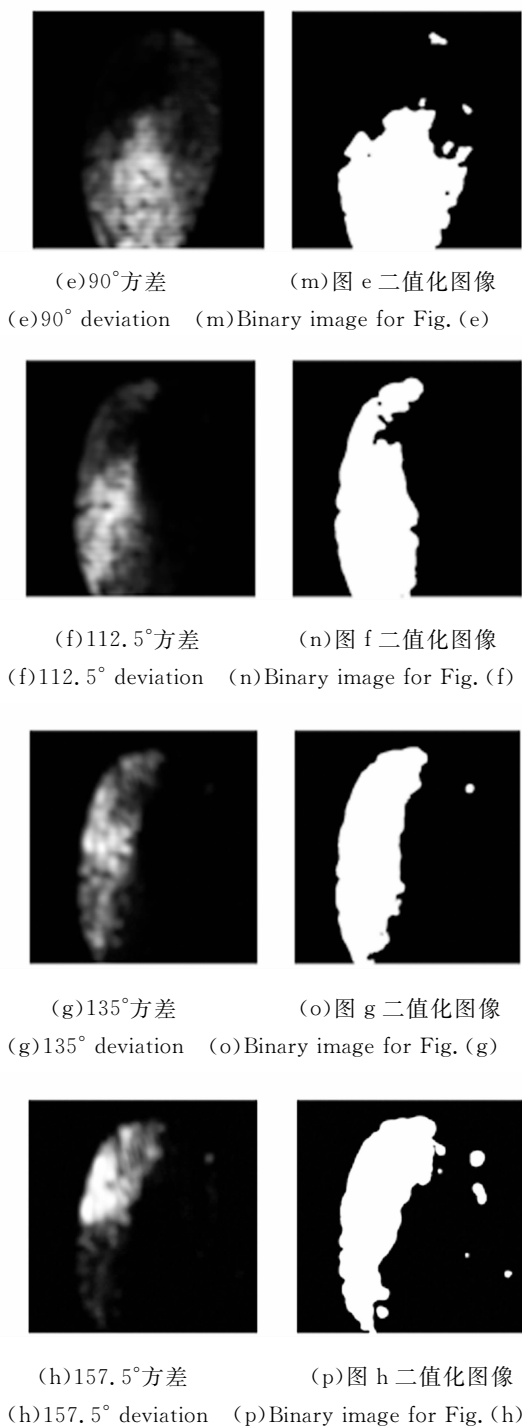


图 4 指纹增强图像的方差及二值化图像  
Fig. 4 Deviation and binary image of enhanced fingerprint

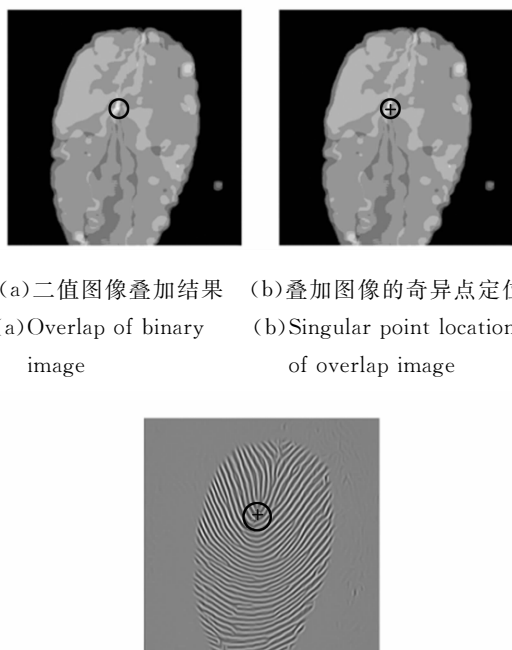
根据定义,指纹奇异区通常是被多个方向的指纹脊线包围的区域。如果将指纹方向滤波后的方差二值化图像进行叠加,指纹奇异区在叠加过程中发生混迭次数必然最多,如图 5(a)中被圆圈标注的区域。因此只要能找到图像叠加过程中重

叠次数较多且灰阶强度较强的区域即可实现指纹奇异点的检测。具体地说,对于得到的叠加图像,在某一像素周围取适当大小的圆形邻域(本文取直径为 9 个像素的圆形邻域),当邻域最外围的点的灰阶变化次数较多,灰阶强度较强,就认为该区域就是指纹的奇异区。根据定义,指纹奇异性是指在指纹某些位置的小邻域内,由于方向变化剧烈导致在该位置处没有确定性主方向的特性。因此,通过本文提出的算法检测得到的奇异区同样是由若干个组成的小邻域。根据指纹自动识别系统实际应用的需要,本文采用计算该邻域内各点集的质心作为该奇异点的位置坐标。

点集质心计算遵照图像的质心计算方法,公式如下:

$$\bar{x} = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \bar{y} = \frac{M_{01}}{M_{00}}, \quad (4)$$

这里  $M$  是图像的矩,零阶矩是物体的面积,  $M_{10}$  对二值图像来讲就是物体上所有奇异点的坐标的总和,  $M_{01}$  就是物体上所有奇异点的  $y$  坐标的总和。



(a)二值图像叠加结果 (b)叠加图像的奇异点定位  
(a)Overlap of binary image (b)Singular point location of overlap image

(c)对应的指纹奇异点位置  
(c)Singular point location of fingerprint  
图 5 二值方差图像的叠加图像  
Fig. 5 Overlap of the binary deviation image

图 5(b)圆圈中心以“+”符号标识的位置即为采用上面的质心定位算法自动得到的奇异点位置。图 5(c)是在指纹图像中对应的指纹奇异点

位置,同样以“+”符号标识。从定位的实际效果来看,本文提出的算法较好地实现了指纹奇异点的自动定位。

对于只含有一个奇异点的指纹图像,通常将此奇异点定义为该枚指纹图像的中心。对于包含有两个或两个以上奇异点的指纹,取所有奇异点的几何中心作为该枚指纹的中心。因此,对于图 5(b)来说,因为只有一个奇异点,计算得到的奇异点同时是该枚指纹的中心点。

## 4 实验验证

本文采用长春方圆公司生产的 CFS200-H 型指纹采集仪,分辨率 500 dpi,选择有代表性的三枚指纹,基于本文提出的算法进行验证。这三枚指纹采用传统检测方法,包括点指数法、模板匹配、算子检测以及方向二值图搜索等方法,每种算法都存在或多或少错检的问题。采用本文提出的算法实验结果如图 6 所示。其中,图 6 (a. 1)~(c. 1)是扫描得到的原指纹图像,图 6 (a. 2)~(c. 2)是相应的指纹增强图像奇异点检测及中心点定位结果。图中,以“×”符号表示检测出的奇异点位置,计算得到的指纹中心点用“+”符号标识。图(a)指纹的奇异点为三角形和拱形,图(b)指纹的奇异点为椭圆形,图(c)指纹的奇异点为上下两个拱形,但利用本文算法都较为准确地检测出来了。可以看出,本文提出的指纹中心点定位算法,实现简单,定位比较准确,具有一定的抗噪能力,

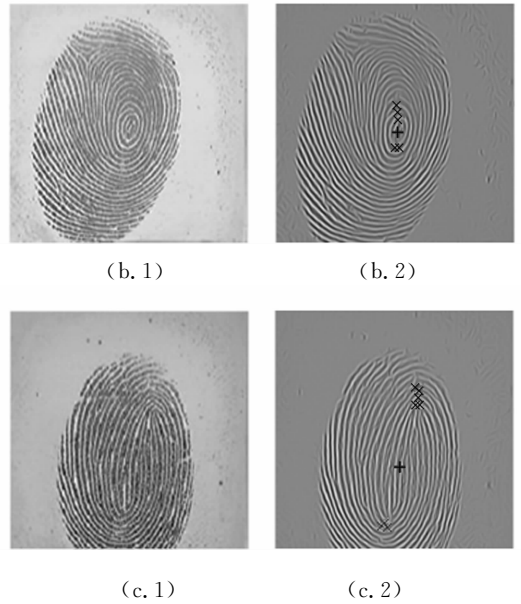


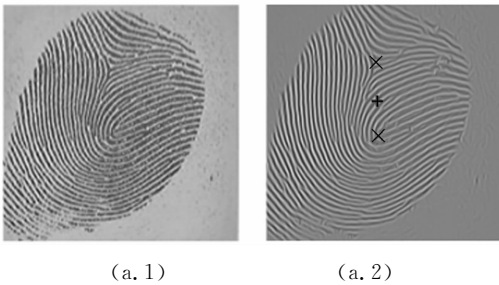
图 6 实验验证结果

Fig. 6 Experiment results for different types of fingerprints

可以避免因为旋转角度等造成指纹中心定位的误差,具有较好的鲁棒性。

## 5 结 论

本文提出了一种基于区域分割的指纹奇异性检测以及中心点的计算算法。该算法采用 Gabor 滤波、方差分析、图形二值化等分析手段,将指纹图样按不同的指纹脊线方向进行区域分割,根据叠加图样每个元素小邻域内的灰阶变化次数以及相应的灰阶强度信息来检测指纹的奇异性区域。最后通过计算各奇异区域质心的办法,实现指纹奇异点的准确定位,并进一步计算得到指纹的中心点。通过对不同类型指纹图像的验证,表明本算法可以有效地实现不同类型指纹奇异性的检测及中心点的定位,且具有定位准确、通用性好、算法简单、鲁棒性好等优点。



## 参考文献:

- [1] KASS M, WITKIN A. Analyzing oriented patterns[J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1987, 37(3): 362-385.
- [2] 应捷,袁一方,张仁杰,等. 实时指纹识别系统的特征点匹配算法[J]. *仪器仪表学报*, 2005, 26(8): 604-608. YING J, YUAN Y F, ZHANG R J, et al. Fingerprint minutiae matching algorithm for real time system[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2005, 26(8): 604-608. (in Chinese)

- [3] JAMES B, CHARLES L, *et al.* Ridge flow determination in fingerprint images[J]. *SPIE*, 1994, 2103: 32-43.
- [4] 陆颖, 宋建中. 模式识别理论在指纹自动识别中的应用[J]. *光学精密工程*, 1998, 6(1): 31-35.  
LU, Y, SONG J ZH. The research on applications of pattern recognition in fingerprint identifying[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1998, 6 (1): 31-35. (in Chinese)
- [5] JAIN A K, HONG L, PANKANTI S. An identity authentication system using fingerprints[J]. *Proc. of the IEEE*, 1997, 85(9): 1365-1388.
- [6] SRINIVASAN V S, MURTHY N N. Detection of singular points in fingerprint images[J]. *Pattern Recognition*, 1992, 25(2): 139-153.
- [7] 曾京文, 汪庆宝, 胡健. 指纹自动识别中的中心点搜索和特征分块抽取方法[J]. *北京工业大学学报*, 1996, 22(4): 115-121.  
ZENG J W, WANG Q B, HU J. Core-point searching and segment features extraction in the fingerprint auto-recognition[J]. *Journal of Beijing Polytechnic University*, 1996, 22(4): 115-121. (in Chinese)
- [8] 张专成, 张孝杰, 邹涛. 用于数字图像直方图处理的一种二值映射规则[J]. *中国图像图形学报*, 2004, 9(3): 280-284.  
ZHANG ZH CH, ZHANG X J, ZOU T. A binary mapping law(BML) for histogram processing of digital image [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(3): 280-284. (in Chinese)
- [9] 刘恒殊, 黄廉卿. 基于模糊集理论的医学CR图像增强[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(1): 94-97.  
LIU H SH, HUANG L Q. Processing method of CR image based on fuzzy set theory[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002 10 (1): 94-97. (in Chinese)
- [10] 刘军波, 马利庄. 改进的基于Gabor滤波器的指纹增强算法[J]. *计算机工程*, 2005, 31(15): 146-147.  
LIU J B, MA L ZH. An improved fingerprint enhancement algorithm based on Gabor filter[J]. *Computer Engineering*, 2005, 31(15): 146-147. (in Chinese)

**作者简介:**乌旭(1973—),男,辽宁朝阳人,博士研究生,主要研究方向为成像科学与图像处理、信息安全与防伪技术等;

胡家升(1941—),男,辽宁昌图人,大连理工大学教授,博士生导师,研究方向为工程光学,成像科学与图像处理,光学系统设计,信息安全与防伪技术,X射线成像技术等,在上述领域发表论文逾百篇。