

# 基于脊向指纹滤波算法

解 梅<sup>1</sup>, 马 争<sup>2</sup>

(1. 电子科技大学电子工程学院, 四川成都 610054;

2. 电子科技大学通信与信息工程学院, 四川成都 610054)

**摘 要:** 滤波技术是指纹预处理中的关键步骤. 本文提出了一种基于脊向指纹滤波预处理方法. 首先利用改进后的极值滤波器对指纹图像进行滤波, 再用本文所提出的脊向滤波器对结果进行处理. 实验结果验证了此方法的有效性.

**关键词:** 指纹图像; 滤波; 脊向

**中图分类号:** TP242 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 01-0005-03

## An Algorithm of Fingerprint Images Based on the Filtering of the Ridge Direction

XIE Mei<sup>1</sup>, Ma Zheng<sup>2</sup>

(1. College of Electronic Eng., University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China;

2. College of Communication and Information Eng., University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

**Abstract:** The filtering method is the key procedure in the preprocessing for fingerprints image. In the paper, a new algorithm of fingerprint images based on the filtering of the ridge direction is introduced. First, an improvement of extreme value filtering is presented and then, an algorithm of fingerprint images based on the filtering of the ridge direction is discussed. Our experiments show that method is satisfactory.

**Key words:** fingerprint images; filtering; ridge direction

### 1 引言

指纹作为一种个体信息识别技术近年来得到了很大的发展. 目前世界各国都在争先研究和开发实用指纹识别系统<sup>[1~5]</sup>. 指纹识别系统由: 预处理、特征提取、分类及匹配组成. 在指纹采集过程中, 不可避免的会引入各种噪声. 这些噪声的存在会对指纹特征信息的提取造成一定的影响, 严重时甚至可能造成提取出错误的信息. 因此在提取指纹特征之前, 需要对指纹图像进行滤波处理, 以尽量去除无用信息, 强化有用信息. 因而预处理的结果将直接影响识别的可靠性和准确性. 本文提出了一种基于脊向指纹滤波预处理方法. 它由改进后的极值滤波器、平滑滤波及脊向滤波三部分组成. 实验结果表明了该方法是有效及可靠的.

### 2 方向场定义

指纹图像的方向场表明指纹的内在特性, 在指纹图像分析中起着重要作用. 目前有许多方向场估计算法. 这里采用的是如下算法:

- (1) 将指纹图像分割成互不重叠的  $W \times W$  的块.
- (2) 计算出块中每个象素的梯度  $G_x$  和  $G_y$

$$(3) V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} 2G_x(u, v) G_y(u, v)$$

$$(4) V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (G_x^2(u, v) - G_y^2(u, v))$$

$$(5) \theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{V_x(i, j)}{V_y(i, j)} \right]$$

其中  $W$  是窗口的尺寸,  $G_x$  和  $G_y$  分别是  $x$  和  $y$  方向上的梯度.

### 3 算法构成

#### 3.1 极值滤波

指纹在采集过程中, 由于灰尘、汗液等的存在, 会产生冲激式噪声. 线性滤波器对去除冲激式噪声的效果不好, 会有模糊边缘等负面作用. 通常去除冲激式噪声都是采用非线性滤波器. 中值滤波器是最常用的非线性滤波之一, 有很好的滤波效果, 但在模板相对较大时, 运算时间较长. 这里采用一种新的极值滤波器, 具有和中值滤波器相当的滤波效果, 但运算时间却要短得多.

极值滤波器是基于这样一种理念: 冲激式噪声在图像上

表现为一些黑斑或亮点. 如果噪声发生的概率足够低的话(多数情况下, 这一条件可以得到满足), 可以认为绝大多数冲激式噪声是被真实的灰度值所包围着的. 由于噪声污染的象素数目要比具有真实灰度值得象素数目少的多, 因此在消除噪声的过程中, 无需对大多数没有被噪声污染的象素值进行改变. 只需将那些被污染的象素, 用他们的“真实值”替换即可. 这些“真实值”可以利用图像邻域的相关性来确定.

极值滤波的算法如下:

$$\begin{aligned} \hat{I}(i, j) &= \min(I(i+r, j+s)) && \text{如果 } I(i, j) < \min I(i+r, j+s) \\ \hat{I}(i, j) &= \max(I(i+r, j+s)) && \text{如果 } I(i, j) > \max I(i+r, j+s) \\ \hat{I}(i, j) &= I(i, j) && \text{其他值} \end{aligned} \quad (1)$$

其中  $\hat{I}$  为滤波后的图像.  $r, s \in [-\frac{w}{2}, \frac{w}{2}]$ .  $w$  是滤波窗的宽度.

上面的算法可以有效去除单个象素的噪声, 但不能滤除多个象素构成的噪声. 而指纹图像中的冲激式噪声又多为由多个象素构成. 考虑到这些因素, 我们对算法进行了改进.

在改进算法中, 是以每四个象素构成一个集合, 作为一个处理单元, 如图 1 中所示:

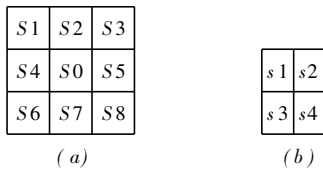


图 1 改进后的滤波器

图 1 中的 (a) 表示需要处理的区域 (S0) 及其邻域, (b) 为 S0 中四个象素的位置. 令  $A_i$  表示  $S_i, i \in \{0, 1, \Delta, 8\}$  中象素的均值, 即

$$A_i = \frac{s_{i1} + s_{i2} + s_{i3} + s_{i4}}{4} \quad (2)$$

则改进的极值滤波算法如下:

如果  $A_0 > \max(A_i), i \in \{1, 2, \dots, 8\}$ , 则

$$\begin{cases} s'_1 = \max\{A_1, A_2, A_4\} \\ s'_2 = \max\{A_2, A_3, A_5\} \\ s'_3 = \max\{A_4, A_6, A_7\} \\ s'_4 = \max\{A_5, A_7, A_8\} \end{cases} \quad (3)$$

如果  $A_0 < \max(A_i), i \in \{1, 2, \dots, 8\}$ , 则

$$\begin{cases} s'_1 = \min\{A_1, A_2, A_4\} \\ s'_2 = \min\{A_2, A_3, A_5\} \\ s'_3 = \min\{A_4, A_6, A_7\} \\ s'_4 = \min\{A_5, A_7, A_8\} \end{cases} \quad (4)$$

如果  $\min(A_i) \leq A_0 \leq \max(A_i), i \in \{1, 2, \dots, 8\}$ , 则

$$\begin{cases} s'_1 = s_1 \\ s'_2 = s_2 \\ s'_3 = s_3 \\ s'_4 = s_4 \end{cases} \quad (5)$$

经过上述的滤波算法之后, 图像中的大部分冲激式噪声都被除去, 而运算时间要比达到同样滤波效果的中值滤波器少.

### 3.2 平滑滤波

经过上面的滤波之后, 图像中还存在随机噪声. 可以用下面的算子对图像进行平滑处理: 将图像  $I$  中的每个象素与  $T_s$  进行卷积运算, 即  $I \otimes T_s$ , 可以除去随机噪声.

$$T_s = \frac{1}{10} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

### 3.3 脊向滤波

经过两次滤波后, 图像中的噪声已经基本被消除. 为了更有效的提取出指纹信息, 本文构造了一种脊向滤波器, 以强化指纹的脊信息, 为后面的识别算法构筑好基础.

脊向滤波, 就是滤波是沿着指纹的脊的方向进行. 因此滤波之前, 先要确定指纹图像的方向场. 因为指纹的方向场估计在本算法中有重要的意义, 直接影响到后面的特征提取和指纹匹配算法的结果. 因而这里并未采用前面算法中的将指纹图像分割成  $W \times W$  的不重叠窗的做法, 而是分割成重叠的窗. 窗的宽度为  $W_g$ , 对指纹图像上的象素每隔  $w$  计算一次方向角. 然后将计算的角度值赋给周围的象素  $pixel(i, j) (i, j) \in [-\frac{w}{2}, \frac{w}{2}]$ .  $w$  的值取的越小, 计算出的角度越准确, 不过计算量和所需的存储空间也越大. 由于指纹的方向在局部区域变化不大, 因此  $w$  值无需取的过小, 可以根据图像的分辨率来确定. 分辨率高, 值可以取的大一些, 反之, 值可取的小些.

计算梯度采用的是优化三阶梯度算子,  $x$  和  $y$  方向的算子分别如图 2 所示:

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} -2 & 0 & 2 \\ -5 & 0 & 5 \\ -2 & 0 & 2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -2 & -5 & -2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & 5 & 2 \end{bmatrix} \\ (a) & (b) \end{matrix}$$

图 2 (a) X 方向梯度算子; (b) Y 方向梯度算子

利用上面的梯度算子计算得到的指纹方向图如图 3 所示. (a) 是指纹方向场图, (b) 是对 (a) 的方向场平滑处理后的结果.

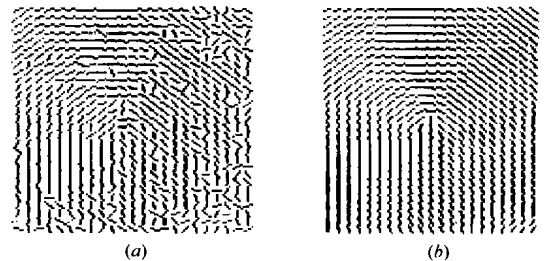


图 3 方向图

接下来要对每个象素进行脊向滤波. 定义脊向滤波器的模板为:

$$T_r = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$T_r$  为方向是  $\theta$  的滤波器模板, 对于方向角度为  $\varphi$  的象素, 需要先将  $T_r$  按下式旋转角度后, 再与图像象素进行卷积运算:

$$\begin{bmatrix} n' \\ m' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n \\ m \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中的  $(m, n)$  是旋转前模板  $T_r$  中的元素的坐标,  $(m', n')$  是旋转后模板  $T_r$  中的元素的坐标。

用上式对  $T_r$  旋转后的坐标进行计算, 需要 100 次三角函数运算和 100 次浮点乘法运算。由于每个象素都需要计算一次, 因此总的计算量非常可观。为了减少计算量, 提高运行速度, 考虑到模板  $T_r$  自身的特点, 这里采用一种类似查表的方法, 可以大大减少计算量, 而且无需三角函数运算。根据模板  $T_r$  自身的特点和数字离散化的因素, 模板  $T_r$  中的任一行向量旋转后只能是以下八个方向中的一种:

$$\begin{array}{cccc} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ m1 & m2 & m3 & m4 \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ m5 & m6 & m7 & m8 \end{array}$$

根据象素的方向角  $\varphi$  确定应用哪个模板, 方法如式 (8)。根据式 (8) 确定象素方向角  $\varphi$  对应的模板后, 将  $T_r$  转到与该模板一致的位置, 然后再与对应位置的图像象素作卷积运算, 实现脊向滤波。这样只需一次查表, 100 次整数乘法运算和若干次加法运算, 减少计算量和所需时间。

$$\left\{ \begin{array}{l} m1 \text{ if } (\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\frac{1}{4})) < \varphi \leq \frac{\pi}{2} \text{ or } -\frac{\pi}{2} \leq \varphi < -(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\frac{1}{4})) \\ m2 \text{ if } (\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\frac{3}{4})) < \varphi \leq (\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\frac{1}{4})) \\ m3 \text{ if } \tan^{-1}(\frac{3}{4}) < \varphi \leq (\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\frac{3}{4})) \\ m4 \text{ if } \tan^{-1}(\frac{1}{4}) < \varphi \leq \tan^{-1}(\frac{3}{4}) \\ m5 \text{ if } -\tan^{-1}(\frac{1}{4}) \leq \varphi \leq \tan^{-1}(\frac{1}{4}) \\ m6 \text{ if } -\tan^{-1}(\frac{3}{4}) \leq \varphi < -\tan^{-1}(\frac{1}{4}) \\ m7 \text{ if } -(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\frac{3}{4})) \leq \varphi < -\tan^{-1}(\frac{3}{4}) \\ m8 \text{ if } -(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\frac{1}{4})) \leq \varphi < -(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(\frac{3}{4})) \end{array} \right. \quad (9)$$

#### 4 实验结果和讨论

我们对实际采集的指纹用上述方法进行测试。结果如图 4 所示。(a) 是受到噪声污染的原始指纹图像。(b) 是原始图像

的二值化结果。(c) 是原始图像经过极值滤波后的结果。从 (c) 中可以看出, 滤波效果不明显, 只有少量噪声被滤除, 这是由于噪声点的面积太大的缘故。(d) 是原始图像经过极值滤波和平滑滤波后的结果, 经过两次滤波后, 很多噪声被消除, 但仍有残余噪声。(e) 是经过极值滤波, 平滑滤波和脊向滤波后的结果, 从图中可以看出, 经过三次滤波后, 大部分的噪声被消除, 取得较为满意的滤波效果。

通过对大量实际指纹图像进行的实验表明, 本文所提出的基于脊向指纹滤波预处理方法能对待识别指纹图像进行增强, 改善指纹图像质量, 从而提高了指纹识别系统的鉴别能力。

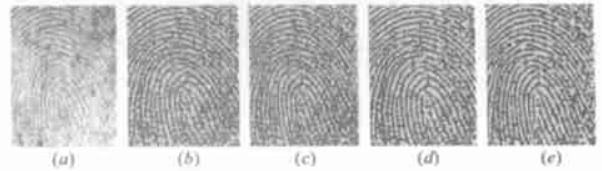


图 4 实际指纹滤波结果

#### 参考文献:

- [1] Jain A K, H Pankanti L S et al. An identity authentication system using fingerprints [J]. Proc. IEEE, 1997, 85(9): 1365-1388.
- [2] Goetzee L, Botha E C. Fingerprint recognition in low quality image [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(10): 1441-1460.
- [3] Lin H, Wan Y, Jain A. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation [J]. IEEE Trans. on PAMI, 1998, 20(8): 777-789.
- [4] Jain A, Hong Lin, Bolle R. Online fingerprint verification [J]. IEEE Trans. on PAMI, 1997, 19(4): 302-313.
- [5] Lee Chih Jen. Fingerprint feature extraction using Gabor filters [J]. Electronic Letters, 1999, 35(4): 288-290.

#### 作者简介:

解 梅 女, 1955 年 12 月出生于北京, 成都电子科技大学电子工程学院教授, 博士生导师, 1982 年毕业于成都电讯工程学院雷达系, 获学士学位; 1992 年和 1996 年在电子科技大学电子工程学院分别获硕士和博士学位, 1997.7-1998.7 在香港大学电子工程系从事 CDMA 方面的博士后研究工作, 1998.7-1999.7 美国德克萨斯大学电子工程系从事图像信息处理方面的博士后研究工作, 发表论文 40 余篇, 目前从事的研究领域包括图像处理、计算机网络、移动通信, 其中的主要兴趣在图像识别、检测、编解码; 时频信号分析、小波变换; 单载波和多载波 CDMA; 网络安全技术。

马 争 男, 1957 年 9 月出生于南京, 成都电子科技大学通信与信息学院教授, 中国电子学会、四川电视分会专家委员会委员, 电子工业出版社计算机分委会委员, 长期从事计算机网络技术、计算机应用、计算机安全、智能通信网、图像与语音信号处理的研究工作, 目前的主要研究方向在通信信号处理、视频压缩、数字移动通信、计算机网络应用、网络安全等方面。