

# 基于 Gabor 滤波的指纹图像增强算法

陈 静<sup>1,2</sup>, 罗 斌<sup>1</sup>, 詹小四<sup>2</sup>

(1. 安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230039;

2. 阜阳师范学院 计算机系, 安徽 阜阳 236041)

**摘 要:** 由于指纹的唯一性和不变性, 指纹识别已成为当前最流行、最方便、最可靠的个人身份认证技术之一。指纹识别一般包括指纹采集、图像预处理、特征提取及特征匹配等几个步骤。其中图像预处理中的图像增强是最为关键的环节, 直接影响特征提取与特征匹配。提出了一种基于 Gabor 滤波的指纹图像增强算法。阐述了 Gabor 滤波器的定义及其在指纹图像增强中的应用。对指纹图像方向图提取方法和频率计算方法作了改进尝试。实践表明, 该方法是有效的、实用的。

**关键词:** 指纹增强; Gabor 滤波器; 纹线方向; 纹线频率

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2008)04-0124-03

## Fingerprint Image Enhancement Algorithm Based on Gabor Filter

CHEN Jing<sup>1,2</sup>, LUO Bin<sup>1</sup>, ZHAN Xiao-si<sup>2</sup>

(1. School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039, China;

2. Computer Department of Fuyang Teachers College, Fuyang 236041, China)

**Abstract:** Because of uniqueness and invariability, the fingerprint identification is becoming one of the most popular personal authentication technologies, and many fingerprint products have been offered nowadays. Fingerprint identification includes fingerprint image capture, image pretreatment, minutia extraction, minutia matching, etc. A critical step is the fingerprint enhancement that affects the process of minutia extraction and minutia extraction directly. A fingerprint image enhancement based on Gabor filter is presented in this paper. The Gabor filter is defined and its application process in the fingerprint enhancement are described. The methods for ridge orientation acquisition and ridge frequency acquisition of fingerprint image are improved. Experimental results show that it is feasible and practical for fingerprint processing.

**Key words:** fingerprint enhancement; Gabor filter; ridge orientation; ridge frequency

## 0 引 言

在众多生物识别技术中, 指纹识别是唯一被法律认可、可以自动识别的技术。自动指纹识别系统 (AFIS) 包括指纹提取、指纹分类和指纹匹配三部分内容。在实际应用中, 由于受采集设备和活体指纹采集条件等因素的限制, 所采集到的指纹图像不能保证都很清晰, 有些图像难以正确分离出指纹纹线, 导致指纹特征的可靠提取变得非常困难, 很难达到较高的指纹匹配精度。

指纹增强就是对低质量的指纹图像进行处理, 使

其纹线结构清晰化, 尽量突出和保留固有的特征信息而避免产生伪特征信息, 进一步提高整个系统的性能<sup>[1]</sup>。指纹图像的滤波增强是自动指纹识别系统中非常关键的部分。图像增强效果的好坏将直接影响指纹特征识别。

迄今为止, 已经有不少关于指纹图像增强的研究, 可以分成空域和频域两类方法<sup>[2]</sup>。空域上的增强方法主要有: O'Gorman, Nickerson 和 Mehtre 实现了基于方向滤波的指纹图像增强<sup>[3]</sup>; Maio 和 Maltoni 提出基于神经网络的滤波; Greenberg 和 Jiang 采用各向异性滤波和低通滤波进行去除噪声。频域上的增强方法主要有: Sherlock, Kamei 和 Mizoguchi, Willis 和 Myers 在频域上进行指纹图像增强。这两类方向各有优缺点。其中比较成功的方法是 Hong 提出的 Gabor 滤波增强指纹图像<sup>[4]</sup>。Gabor 滤波器可以同时为空域和频域上获得最佳的分辨率, 具有良好带通性和方向选择性, 结合了两种滤波的优点。

收稿日期: 2007-07-23

基金项目: 安徽省教育科研基金资助项目 (2005KJ089)

作者简介: 陈 静 (1973-), 女, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 研究方向为图像处理、信息管理; 罗 斌, 教授, 博士生导师, 研究方向为图像处理、计算机视觉与模式识别; 詹小四, 教授, 博士, 研究方向为图像处理、模式识别。

## 1 基于 Gabor 滤波的指纹图像增强

采用 Gabor 滤波方法的关键是参数的确定,包括指纹纹线方向图的估计、纹线频率的估算<sup>[5]</sup>。笔者在 Hong 提出的传统 Gabor 滤波增强算法的基础上,改进了方向图和频率计算,主要分成 4 个步骤:指纹图像的归一化、纹线方向的估计、纹线频率的估计和滤波增强。

### 1.1 Gabor 滤波增强

Gabor 滤波器实际上是一种 Gauss 窗的加窗 Fourier 变换滤波器,1980 年 Daugman 首先将一维 Gabor 推广到二维,由于 Gabor 滤波器具有频率选择性和相位选择性,在空域和频域中有适当的联合分辨率,采用其作为带通滤波器可以保证指纹脊谷结构的真实性,实验也证明了用 Gabor 函数对指纹图像进行增强可以达到很好的效果。文中采用 Gabor 滤波器来实现指纹图像增强。Gabor 滤波器的总的形式定义如式(1):

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp(iu x) \quad (1)$$

要将 Gabor 滤波器用于指纹图像的处理,需要将偶 Gabor 函数改变为数字滤波器,如式(2)所示。这样将 Gabor 函数的实部作为模板,以脊谷形成的近似正弦波的频率作为滤波器的频率,以局部区域的方向作为滤波器的方向建立滤波器,得到的滤波器更真实接近指纹图像的特征<sup>[5]</sup>。如图 1 所示,其中(a)图是一个频率为 60 和角度为 0 的 Gabor 滤波器,(b)图是它的调制的 Gabor 滤波器。

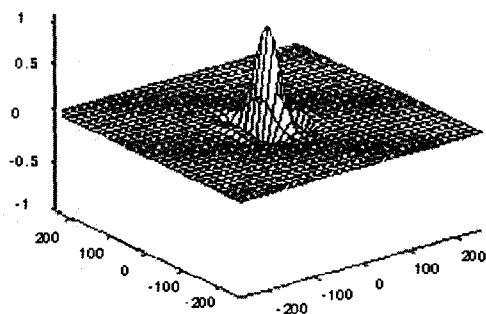
$$G'(u, v) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right) \cos(-2\pi f x) \quad (2)$$

$$x = (v - i) \sin \theta + (u - j) \cos \theta \quad (3)$$

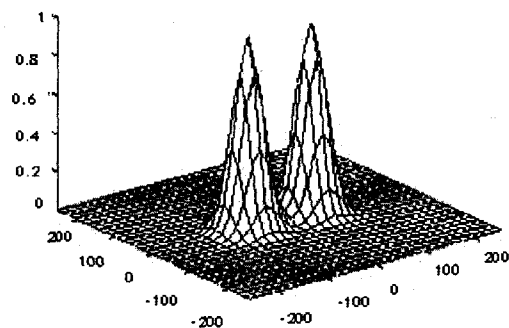
$$y = (j - u) \sin \theta + (v - i) \cos \theta \quad (4)$$

其中: $\theta$  为滤波器的二维旋转角度,即为指纹图像的纹线梯度方向与水平方向的夹角; $f$  为指纹图像正弦平面波的频率; $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  为沿着  $x$  轴和  $y$  轴的高斯包络面常数,对于指纹图像, $\sigma_x$  不应大于  $\sigma_y$ 。

由公式可以看出,关键问题是公式的 4 个参数的确定,Gabor 滤波器对指纹在纹线方向上,有很强的生长和增强作用;而在指纹的梯度方向上又有很好的衰减作用,能很好地过滤掉指纹纹线间的噪声。如果采用与纹线真实方向和频率不同的 Gabor 滤波器对局部指纹图像进行滤波,不仅阻止指纹纹线信号通过,而且使噪声信号获得增强,从而不仅不能增强脊骨的对比度,反而使图像的质量变得更坏。笔者对方向和频率的确定采用下面表述的方法进行, $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  取值为 4.0。



(a) Gabor 滤波器的三维空间模型显示



(b) 相应的调制 Gabor 滤波器的三维空间模型显示

图 1 Gabor 滤波器和调制 Gabor 滤波器的三维空间模型图

算法 1:增强算法。

- ① 将指纹图像分成  $W \times W$  大小的块 ( $W = 8$  or  $16$ );
- ② 分别采用下面的第 1.2 和 1.3 节描述的算法计算每个子块的纹线方向和频率;
- ③ 使用式(2)作为子块的增强模板,对所有子块进行增强;
- ④ 将增强后的子块图像用公式(5)合并成一幅完整的指纹图像。

$$G'' = \sum_{u=-\frac{W}{2}}^{\frac{W}{2}} \sum_{v=-\frac{W}{2}}^{\frac{W}{2}} G'(u, v, \theta(i, j), f(i, j)) F(i - u)(i - v) \quad (5)$$

其中: $G''$  是增强后的图像, $\theta(i, j)$  为像素点  $(i, j)$  处的方向, $f(i, j)$  为该方向上的频率, $F(i - u)(i - v)$  为指纹的原始图像。

### 1.2 纹线方向信息的估计

脊线的方向反映了指纹图像的最基本的形态特征,它的计算是指纹识别中必不可少的一步。由于奇异点位置的方向二义性,造成该处纹线方向误差较大,文中采用结合点方向图和块方向图来求取更为准确的方向图。当所取块含有奇异点时,采用点方向图求取方向信息,点方向图的求取采用邻域法来获取方向图;其他块,采用块方向图求取方向信息,块方向图的求取

采用 sobel 算子求取梯度。通过对这两种方向的有效结合,对指纹的纹线方向进行较好的提取,能够提高传统 Gabor 滤波增强的速度。

算法 2:改进后的纹线方向估算算法。

① 奇异区的点方向图求取,采用邻域方向模板法。对于奇异区的方向估计,对图像中的每一个像素,在以该像素为中心的  $9 \times 9$  窗口内,把指纹脊线的走向分为 8 个方向(0~7),8 个方向分别设定为  $0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$ 。分别计算沿每个点  $(i, j)$ ,按下式计算它沿每个方向上的灰度平均值  $f_d[i]$  ( $i = 0 \cdots 7$  代表 8 个方向),然后将这 8 个平均值按两两垂直的方向分成 4 组,0 和 4 一组,1 和 5 一组,2 和 6 一组,3 和 7 一组,计算每组中两个平均值的差值  $f_{diff}[j]$  ( $j = 0 \cdots 3$  代表脊线方向),取差值的绝对值最大的两个方向  $P_{max}$  和  $P_{max} + 4$  为该像素处可能的脊线方向,若该像素处的灰度值为  $p$ ,取  $P_{max}$  和  $P_{max} + 4$  方向中灰度平均值与该像素的灰度值比较接近的方向作为该像素处的脊线方向。

$$i_{Dr} = \begin{cases} P_{max}, & \text{if } \text{abs}(P - f_d[P_{max}]) < \text{abs}(P - f_d[P_{max} + 4]) \\ P_{max} + 4, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

② 非奇异区的块方向图求取,采用 sobel 梯度法。将归一化的指纹灰度图分为  $n \times n$  的像素块;然后计算一个像素块  $k$  的局部指纹切线方向的方法如下。

$$V_x(i, j) = \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} (\partial_x^2(u_k + u, v_k + v) - \partial_y^2(u_k + u, v_k + v)) \quad (7)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} 2\partial_x(u_k + u, v_k + v)\partial_y(u_k + u, v_k + v) \quad (8)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{V_y(k)}{V_x(k)}\right) \quad (9)$$

其中:

$$\partial_x(i, j) = G(i+1, j-1) + 2G(i+1, j) + G(i+1, j+1) - G(i-1, j-1) - 2G(i-1, j) - G(i-1, j+1) \quad (10)$$

$$\partial_y(i, j) = G(i-1, j+1) + 2G(i, j+1) + G(i+1, j+1) - G(i-1, j-1) - 2G(i, j-1) - G(i+1, j-1) \quad (11)$$

上式中,  $\theta(i, j)$  即是像素块  $k$  的局部指纹纹线切线方向。

### 1.3 纹线频率的估算

目前纹线频率的计算方法基本上是按文献[4]方法进行,即认为指纹纹线在多数区域沿着垂直于指纹脊线方向的灰度值可以看成近似平面正弦波,把近似

正弦波的频率视为指纹局部区域的脊线频率,它反映了脊线和谷线交替出现的次数。但是,实际的指纹图像往往不是很好的正弦波,那么计算出来的纹线频率误差会比较大,导致增强效果不好。文中对此进行了改进,增强了对无效区域的处理<sup>[6,7]</sup>,

算法 3:纹线频率的估算。

① 把指纹图像分成  $n \times n$  子块,建立以子块中心像素为中心的方向窗口  $m \times n$ ,如图 2 所示。

② 对每一个子块,沿脊线方向计算  $n$  个像素的灰度平均值  $X(k)$ ,在  $m$  方向共统计出  $m$  个  $X(k)$ 。

$$X(k) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} G(u, v), k = 0, 1, \cdots, m-1 \quad (12)$$

$$u = i + (d - \frac{n}{2}) \cos \theta(i, j) + (k - \frac{m}{2}) \sin \theta(i, j) \quad (13)$$

$$v = j + (d - \frac{n}{2}) \sin \theta(i, j) + (\frac{m}{2} - k) \cos \theta(i, j) \quad (14)$$

③ 如果  $X[k]$  有连续峰值,就表示所取窗口的指纹图像是有效的,设  $h_i$  为第一个峰值与第  $i$  个峰值的间距,  $L_i = \frac{h_i}{i-1}$ , ( $i = 2, 3, \cdots, m$ ), 脊线距离  $L = \frac{1}{m-1} \sum_{i=2}^m L_i$ , 频率则为脊线距离的倒数;如果  $X[k]$  没有连续峰值,就表示所取窗口的指纹图像是无效的,脊线频率置为 -1。

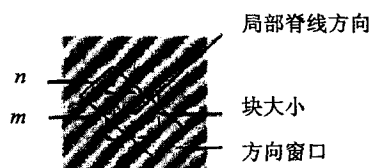


图 2 指纹示意图

## 2 实验结果

利用文中介绍的指纹图像增强算法,笔者从阜阳师范学院指纹库中提取了一些指纹图片进行处理,如图 3 所示,其中(a)、(b)和(c)分别是指纹源图、方向图



图 3 实验结果图

(下转第 164 页)

器,全速运行,这会带来很多额外的功耗。在移动数据采集器的项目中,把按键、触摸屏全部置为中断方式,在等待按键时进入 SL\_IDLE 模式,用按键和触摸屏中断把 CPU 从 SL\_IDLE 模式中唤醒到 NORMAL 模式,使系统功耗有很大的降低,效果非常明显。

以数据采集器为例,在用查询方式工作时,以 NORMAL 工作模式工作时工作电流为 90mA。而在以中断代替查询,并在等待中断时让系统进入 SL\_IDLE 工作模式的情况下,待机电流仅为 30mA。使系统在 1200mA 电池供电下的工作时间从 10 个小时提高到将近 35 个小时。

在等待按键的函数中,应做如下工作:

- \* 打开按键中断,触摸屏中断,定时器中断;
  - \* 进入 SL\_IDLE 模式;
  - \* 延时一段时间确保 CPU 进入 SL\_IDLE 模式;
  - \* 等待直至 CPU 被中断唤醒。
  - \* 此时 CPU 已经被中断唤醒,查询出按键值或触摸屏值;
  - \* 返回按键或触摸屏值。
- (3) 尽量让程序在 Flash 中运行。

读 SDRAM 所消耗的电流比读取 Flash 更大。把程序放在 Flash 中就减少了对内存的操作,降低了功耗。但是对 Flash 的读取速度要比对 SDRAM 读取速度慢,这就要求在系统设计时权衡其优缺点,进行恰当的选择。

另外,还应当把一些常用的计算结果放在 Flash

中,用查表来取得结果,取代实时运算。例如正弦波的波形数据。而对于其它不能用查表来获得结果的实时运算,要避免过多位、过大精度的运算,运算的数字位数在满足应用的前提下尽量短,以减少 CPU 的能耗。

## 4 结 语

S3C44B0X 对产品低功耗设计有着很好的支持。灵活运用其各种低功耗模式,使 CPU 工作在不同状态下,可以有效降低功耗。在实际产品的开发中,综合运用了 S3C44B0X 的降低功耗的功能,并用于应用程序的编程中。实际证明,功耗大大降低,延长了产品电池的使用时间。

## 参考文献:

- [1] 陈萌萌,邵贝贝. 单片机系统的低功耗设计策略[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2006(35):30-34.
- [2] 唐明军. 基于 ARM 的可编程控制器的硬件设计[J]. 仪器仪表与传感器,2006(5):40-44.
- [3] Samsung Electronics. S3C44B0X RISC Microprocessor[M]. Korea: Samsung Electronics Co. Ltd, 2001.
- [4] 周立功. ARM 微控制器的基础和实现[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [5] 马忠梅. ARM 体系结构与编程[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [6] 孙天泽,袁马忠,梅文菊,等. 嵌入式设计及 Linux 开发指南[M]. 北京:电子工业出版社,2005.

(上接第 126 页)

和增强后的效果图。实验基于 P4 3.0GHz、内存为 512M 的微机,WindowsXP 操作系统,Visual C++ 6.0 开发平台。初步的实验结果表明,改进后的算法较好地保持了原始指纹图像的特征信息,达到了增强的目的。

## 3 结 语

针对指纹图像的增强问题,提出一种基于 Gabor 滤波的指纹图像增强算法。改进了方向图的求取方法,分成奇异区和非奇异区适用不同算法,得到正确的方向图;改进了频率的估算方法,得到了较准确的频率,最后采取 Gabor 函数进行滤波增强。实验表明,本算法对指纹图像的增强是行之有效的。

## 参考文献:

- [1] Yang J, Liu L, Jiang T, et al. A modified Gabor filter design

method for fingerprint image enhancement[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(12): 1805-1817.

- [2] Hsieh C T, Lai E, Wang Y C. An effective algorithm for fingerprint image enhancement based on wavelet transform[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(2): 303-312.
- [3] Mehre B M, Murthy N N, Kapoor S. Segmentation of Fingerprint Images Using the directional Image[J]. Pattern Recognition, 1987, 20(4): 429-435.
- [4] Lin Hong, Wan Yifei, Jain A. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8): 777-789.
- [5] 尹义龙,詹小四,谭台哲,等. 基于加博函数的指纹增强算法及应用[J]. 软件学报, 2003, 14(3): 484-489.
- [6] 詹小四. 验证模式下的自动指纹识别系统中若干关键问题的研究[D]. 南京: 南京大学, 2003.
- [7] 丁晋俊,孙乐昌. 基于 Gabor 滤波指纹图像增强方法[J]. 舰船电子工程, 2006(6): 96-98.