

# 嵌入式系统中指纹图像细节特征自适应增强识别算法

王济生

(琼台师范学院 信息技术系, 海南 海口 571127)

**摘 要:** 提出基于 Gabor 滤波器的指纹识别算法研究, 先对采集到的指纹图像进行预处理, 获取指纹有效区域的大小、指纹图像灰度等信息; 基于 Gabor 滤波器对均衡化、归一化的指纹图像分割处理, 并进行滤波增强; 最后对增强处理后的指纹进行特征提取、分类和细节匹配, 实现嵌入式系统中指纹的精确识别. 实验结果表明, 提出的指纹识别算法具有更高识别效率和识别精度, 在嵌入式系统中的应用效果良好.

**关键词:** 嵌入式系统; 指纹识别; Gabor 滤波器; 特征提取; 细节匹配

**中图分类号:** TN495

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2017)07-0141-04

## Adaptive Recognition Algorithm for Fingerprint Image Detail Feature in Embedded System

WANG Ji-sheng

(Department of Information Technology, Qiongtai Normal University, Haikou 571127 China)

**Abstract:** Fingerprint recognition based on Gabor filter algorithm research, the preprocessing of fingerprint images were collected to obtain effective area the size of the fingerprint, fingerprint image gray level information. Based on Gabor filter of equalization, normalization of fingerprint image segmentation, filtering and enhancement; After the process of enhancing the fingerprint feature extraction, classification and details matching, realize the precise identification of fingerprints in the embedded system. Fingerprint identification algorithm is put forward by the experimental results show that the recognition efficiency and higher identification accuracy, in the embedded system application effect is good.

**Key words:** Embedded system; Fingerprint identification; Gabor filter; Feature extraction; Details of the match

## 1 引言

人体指纹的细节特征具有唯一性, 提取方便, 而且终生保持不变<sup>[1-2]</sup>, 指纹的这些特点使其成为一种最为重要的个体特征识别方式和手段. 随着经济社会的发展进步、网络的普及, 对于个人身份鉴定的准确性、实用性都提出了更高的要求<sup>[3-5]</sup>. 近年来, 计算机图像<sup>[6-7]</sup>和信息处理技术<sup>[8-9]</sup>不断地突破和发展, 以指纹识别技术为基础, 以计算机图像处理技术为依托, 将二者结合起来的新型指纹识别技术在信息安全、电子商务、刑事侦查和社会保险等领域有着越来越广泛的应用.

鉴于指纹识别本身的重要性及其应用领域的广

泛性和特殊性, 各种指纹识别的嵌入式系统的研制和开发层出不穷<sup>[10-12]</sup>. 但嵌入式系统研制开发的难度较大, 传统识别算法在识别效率和精度上又难以保证, 因此如何在保证指纹识别算法性能稳定的基础上, 将指纹识别技术与嵌入式系统更好地结合起来, 逐渐成为一个热点和难点课题<sup>[13-14]</sup>.

针对传统指纹识别算法在嵌入式系统的实际应用中, 指纹特征提取速度慢、匹配正确率低的不足, 本文提出了基于 Gabor 滤波器的指纹识别算法研究.

## 2 嵌入式系统中指纹识别算法应用研究

当前指纹识别系统大都基于 PC 平台, 但随着指纹识别应用领域的拓展, 对指纹识别系统小型化的要求

越来越迫切. 嵌入式系统体积小、易用、便携性好, 而且具有较强的专用性, 将指纹识别算法应用与嵌入式平台, 能够满足多种条件下指纹自动识别的要求.

指纹是指人体手指末端凹凸不平的纹路, 由脊线和谷线构成, 且指纹图像具有大量的特征信息, 以细节特征点提取为基础的自动指纹识别算法主要流程, 如图 1 所示.

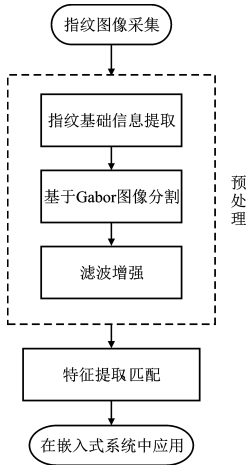


图 1 基于 Gabor 滤波器的指纹识别算法流程

## 2.1 指纹图像的预处理

根据有效指纹图像的大小, 可以判断手部的姿态信息和手指与指纹采集系统的接触程度. 计算指纹边缘的轮廓线包围的面积  $S'$  及指纹的整体面积  $S$ , 则指纹的有效面积可以通过二者的比例关系  $\xi$  予以表示:

$$\xi = \frac{S'}{S} \times 100\% \quad (1)$$

设轮廓线内包含  $m$  个区域, 第  $i$  个区域内的面积为  $S_i$ , 则轮廓线包围的面积  $S'$  可以表示为

$$S' = \sum_{i=1}^m S_i \quad (2)$$

令提取的原始指纹的高度和宽度分别为  $h_0$  和  $w_0$ , 则原始的指纹整体面积  $S$ , 可以表示为

$$S = w_0 \times h_0 \quad (3)$$

如果轮廓线比例  $\xi$  越小, 则说明提取的有效指纹面积越小, 识别的准确率低的概率越大. 在有效指纹采集时, 指纹图像也会出现质心偏移的问题, 设指纹的质心为  $O$ , 其坐标为  $(x_0, y_0)$ , 则指纹的有效质心可以表示为

$$\begin{cases} x_0 = \frac{1}{n} \sum x_i \\ y_0 = \frac{1}{n} \sum y_i \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $n$  为指纹图像中有效像素的个数, 其中  $x_i$  和  $y_i$  分别为第  $i$  个像素点的横纵坐标. 当指纹发生偏移时, 其垂直和水平的偏移量  $\eta_1$  和  $\eta_2$  分别为

$$\begin{cases} \eta_1 = 1 - \frac{y_0 - h_0/2}{h_0/2} \\ \eta_2 = 1 - \frac{y_0 - w_0/2}{w_0/2} \end{cases} \quad (5)$$

指纹的灰度特征变化, 也会影响后续指纹识别的准确率, 设  $I(i, j)$  为指纹有效区域内的第  $i$  行, 第  $j$  列的像素灰度, 那么指纹图像的灰度均值  $\zeta(I)$  和方差  $\sigma(I)$  分别为

$$\zeta(I) = \frac{1}{n} \sum I(i, j) \quad (6)$$

$$\sigma(I) = \frac{1}{n} \sum [I(i, j) - \zeta(I)]^2 \quad (7)$$

通过对指纹识别的预处理, 分析采集的指纹图像的大小和灰度问题, 可以有效剔除不能识别的指纹.

## 2.2 基于 Gabor 滤波器指纹分割及增强处理

对指纹图像的均衡化处理可以增强指纹灰度图像的对比度, 提高识别的准确率. 图像的灰度级可以通过灰度直方图来表示, 在基于 Gabor 滤波器对指纹图像分割及增强处理前, 需要调整指纹图像的灰度级, 做均衡化处理.

图 2 为均衡化处理的指纹图像及其对应的灰度直方图. 利用灰度直方图法均衡化处理后, 指纹图像的灰度值动态范围更为均匀.

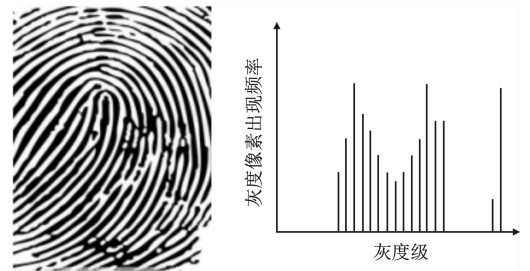


图 2 指纹图像及其对应的灰度直方图

调整指纹图像的方差和图像的灰度均值, 使二者的取值更接近期望值, 并减少指纹图像沿着脊线、谷线方向上灰度的剧烈变化. 对图像灰度均值和方程的归一化处理如下:

$$S'(I) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k I(i, j) \quad (8)$$

$$\sigma'(I) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k [I(i, j) - S(I)]^2 \quad (9)$$

指纹图像分割的目的是将指纹图像的各个区域

进行区分,如将指纹前景、背景、边缘模糊区域进行有效区分,可以减少来自外界干扰导致的错误特征提取,改善指纹识别效率和正确率,提高嵌入式指纹识别系统的各项性能。

基于孤立的单一特性的指纹图像分割算法,在分割精度控制方面难以满足要求,指纹的分割效果较差。可以构建一种综合的分割体系,结合多种指纹分割方法,按各级的顺序逐渐缩小搜索范围,例如首先进行背景分割,再进行前景图像的分割,最后从前景图像中分割出模较为模糊的区域。

本文提出的分割算法在传统滤波器虚部特征基础上,引入了该特征结果作为提取新指纹特征依据,并基于加权平均算法,对各特征点进行综合平衡,提高分割精度,以获得更好分割和滤波结果,降低了算法复杂度。

在基于 Gabor 滤波器的图像指纹识别处理过程中,Gabor 滤波器的实部部分可以体现出指纹图像函数的对称性,而虚部部分则可以体现出指纹函数在方向上差异性。正是由于滤波器实部和虚部的不同特性,所以 Gabor 滤波器可以用于指纹图像的分割。通常指纹的前景区域呈现出黑白条状的纹理,较为清晰;而指纹图像的背景区域滤波后的模值小,纹理不明显。利用前景和背景区域不同的模值,基于 Gabor 滤波器对整幅指纹图像进行滤波处理,能将指纹图像的模糊区域、背景区域和前景区域进行有效区分、提高算法的速度,最终实现对指纹图像的有效分割处理,提高识别精度。

Gabor 滤波器是一种引入窗口的特殊傅里叶变换,其计算公式可以表示为

$$F(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp(i\tau x) \quad (10)$$

式中, $\tau$  为指纹图像纹理的频率,从式(10)中可以看出,Gabor 滤波器是一组经过高斯函数调制的正弦波,而正弦波的频域与指纹图像的纹理一致为  $\tau$ 。Gabor 滤波器的特点是在纵轴方向上属于低通滤波,在横纵方向上属于带通滤波,即:

$$\exp(i\tau x) = i\sin(\tau x) + \cos(\tau x) \quad (11)$$

将式(11)代入式(10)可得:

$$F(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cos(\tau x) + i\left(\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \sin(\tau x) \quad (12)$$

为提高算法性能,令  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ ,对 Gabor 卷积运算进行了解析:

$$F(x, y) = \sum_{\kappa_1 = -\frac{w_0}{2}}^{\frac{w_0}{2}} \sum_{\kappa_2 = -\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}} \exp\left(-\frac{\kappa_{1\beta}^2 + \kappa_{2\beta}^2}{2\sigma^2}\right) \quad (13)$$

式中, $w_0$  和  $h_0$  分别为指纹窗口的宽度和高度, $\kappa_{1\beta}$  和  $\kappa_{2\beta}$  可以分别表示为

$$\begin{cases} \kappa_{1\beta} = \kappa_1 \cos\beta + \kappa_2 \sin\beta \\ \kappa_{2\beta} = -\kappa_1 \sin\beta + \kappa_2 \cos\beta \end{cases} \quad (14)$$

令  $\hat{I}(x, y)$  的表达式为

$$\hat{I}(x, y) = \exp\left(-\frac{\kappa_2^2}{2\sigma^2}\right) I(x + \kappa_1, y + \kappa_2) \quad (15)$$

最后由 Gabor 滤波器分割后的指纹图像可表示为

$$f_a(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \sum_{\kappa_2 = -\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \exp\left(-\frac{\kappa_1^2}{2\sigma^2}\right) \quad (16)$$

对指纹图像的滤波增强方面,本文采用了改进方向场的计算方法,在滤波分割基础上,对指纹图像的各个区域进行滤波增强。

令  $\zeta$  为频率参数, $\alpha$  为滤波增强参数,滤波后的对指纹图像的增强过程可以描述为

$$G(x, y, \zeta, \alpha) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \times \cos(2\alpha\zeta x) \quad (17)$$

本文基于 Gabor 滤波器对预处理后的指纹图像,实现了分割和滤波增强,为指纹细节特征的提取和精确匹配提供了保证。

## 2.3 指纹细节特征匹配及在嵌入式系统中应用的实现

设指纹图像经过滤波增强后各像素的灰度值为  $g(x_i, y_i)$ ,  $\gamma_{ij}$  为区域内的灰度均值,那么在指纹有效区域内提取的细节特征  $v_{ij}$  可以表示为

$$v_{ij} = \frac{1}{n} \left[ \sum_{n_i} \|g(x, y)\| - \gamma_{ij} \right] \quad (18)$$

在进行指纹特征精确匹配时,用欧式距离来表示各个指纹之间的相似性。在进行指纹匹配时,指纹图像有发生偏转的可能性,同一指纹可保存 2 次,并存于指纹数据库中。本章将提出的指纹识别算法某公安机关的指纹比对系统,该系统与专用的指纹传感器配合使用,形成一个较为独立的犯罪嫌疑人指纹识别系统。

## 3 实验结果与分析

针对本文提出指纹识别算法的识别效率和准确率指标进行了仿真实验研究,实验的部分参数选取如表 1 所示。

表 1 实验参数的选定

| 项目            | 参数值   |
|---------------|-------|
| Gabor 滤波器面板规格 | 30×25 |
| 频率选定          | 0.1   |
| 均值方差参数        | 80    |
| 标准查参数         | 3.5   |

在指纹的识别效率方面,将传统单纯基于特征点提取的识别算法与本文提出滤波算法耗时进行了比对,分别采用两种算法对数据库中的 20 枚指纹进行识别,耗时曲线如图 3 所示。

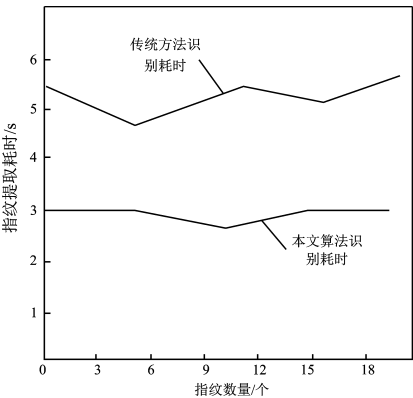


图 3 两种算法指纹识别耗时

由于基于 Gabor 滤波算法对待识别的指纹进行了预处理,在滤除干扰的同时,缩短了识别特征提取和匹配的时间,因此对比传统方法耗时更短,识别效率更高。如图 4 所示。

在指纹识别精度控制方面,为验证提出算法在海量指纹比对准准确率方面的优势,从指纹库中选定 10 000 个指纹,评定算法的综合识别准确率。

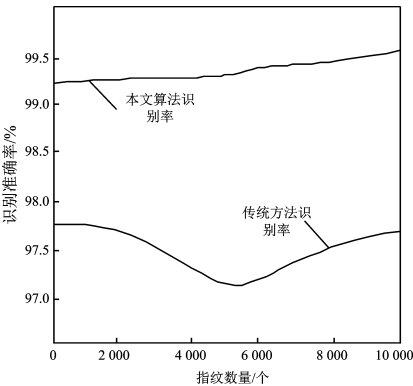


图 4 两种算法指纹识别准确率

由于 Gabor 滤波的指纹识别算法,选定了特征域,并根据灰度值对图像进行滤波处理和增强,因此可以提高算法的识别精度。

4 结束语

针对嵌入式系统设计的特点,本文提出了一种

基于 Gabor 滤波器的指纹识别算法研究,通过对指纹图像的预处理、分割、滤波增强等环节的处理,可以实现对指纹的精确识别。实验结果证明,提出的算法设计相对于传统指纹识别算法在识别效率和精度两个方面均具有一定优势。

参考文献:

[1] 马飞,李娟.一种基于位置指纹的无感知 WLAN 认证方案[J].微电子学与计算机,2014,31(11):18-22.

[2] 李志伟,杨茂兴,铁跃焕.基于硬件设备内部指纹的软件锁功能的实现[J].微电子学与计算机,2013,30(4):123-126.

[3] 朱锦,雷娟娟,陈福才.基于 CGI 的嵌入式 Web 服务器的设计与实现[J].电子设计工程,2016,24(19):191-193.

[4] 张信,邝小飞.图书馆指纹门禁系统的设计与实现[J].物联网技术,2015,5(3):82-84.

[5] 于本成,曹天杰.人脸识别与指纹识别系统接口的设计与实现[J].微电子学与计算机,2012,29(11):87-91.

[6] 陈钢.指纹识别关键算法的研究[J].信息通信,2013,27(6):1-2.

[7] 李峰岳,李星野.一种基于小波变换的指纹特征提取算法[J].计算机系统应用,2012,21(1):61-64.

[8] 黄光泉,王丰华,黄知涛.一种基于分形维数的无线网卡信号指纹特征提取方法[J].电子对抗,2012,24(5):25-27.

[9] 孙闽红,闫云珍,邵章义,等.基于 Wigner 对角切片谱的射频指纹特征提取[J].电子技术应用,2016,42(1):87-90.

[10] 黄渊凌,郑辉.基于瞬时频率畸变特性的 FSK 电台指纹特征提取[J].电讯技术,2013,53(7):868-872.

[11] 王春蕾,周美娇,易淑友.基于 STM32 的嵌入式指纹识别系统的设计与实现[J].信息技术,2013,27(1):155-157.

[12] 何汉.试论嵌入式自动指纹识别系统设计[J].信息通信,2014,26(7):55-56.

[13] 刘爽.嵌入式人脸识别系统的设计与实现[J].微电子学与计算机,2012,29(3):174-177.

[14] 刘铁铭,蒋烈辉,张媛媛,等.嵌入式系统重构过程中功能构件提取技术研究[J].微电子学与计算机,2016,33(5):15-21.

作者简介:

王济生 男,(1983-),硕士,讲师.研究方向为嵌入式开发及应用、操作系统、算法. E-mail:wjs07020602@163.com.