

# 一种基于灰度级相位的指纹图像增强方法<sup>①</sup>

佟喜峰<sup>1</sup>, 刘雪梅<sup>2</sup>, 李盼池<sup>1</sup>, 韩玉祥<sup>1</sup>, 尹晓喆<sup>1</sup>, 肖红<sup>1</sup>, 李鹏飞<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(东北石油大学, 大庆 163318)

<sup>2</sup>(北京城市学院, 北京 100083)

**摘要:** 图像增强是指纹识别系统中非常重要的一个步骤。本文提出了灰度级相位的概念, 并实现了一个根据灰度级相位增强指纹图像的方法。该方法首先计算指纹区域内每个像素点的灰度级相位, 然后对灰度级相位进行滤波, 最后根据滤波后的灰度级相位构建指纹图像。测试结果表明该方法对低质量的指纹图像增强效果好。

**关键词:** 指纹识别; 图像增强; 灰度级相位

## Fingerprint Image Enhancement Approach Based on Gray-level Phase

TONG Xi-Feng<sup>1</sup>, LIU Xue-Mei<sup>2</sup>, LI Pan-Chi<sup>1</sup>, HAN Yu-Xiang<sup>1</sup>, YIN Xiao-Zhe<sup>1</sup>, XIAO Hong<sup>1</sup>, LI Peng-Fei<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

<sup>2</sup>(Beijing City University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Image enhancement is an important procedure in an automatic fingerprint recognition system. An item called gray-level phase is defined, and a gray-level phase based image enhancement approach is proposed. In this approach, gray-level phase of each pixel is obtained firstly; then a filter is designed for gray-level phase; finally, the enhanced image is obtained according to the filtered gray-level phase. The experimental results show that the proposed approach is promising for low quality fingerprint image.

**Key words:** fingerprint recognition; image enhancement; gray-level phase

### 1 引言

指纹识别目前已经应用于越来越多的领域, 在工业、民用、安全等方面发挥了越来越多的作用。在指纹图像处理各个步骤中, 图像增强是其中非常重要的一个步骤。一方面, 图像增强能够去除图像中的各种噪声; 另一方面, 图像增强能够对老化、有伤疤等情况的指纹进行一定的修复, 从而保证提取到尽可能准确的特征点, 并提高指纹识别的准确率。

已有的指纹图像增强的方法可以分为两大类: 空域图像增强<sup>[1]</sup>和频域图像增强<sup>[2]</sup>。这两类方法中又以空域图像增强更为常见。空域图像增强包括方向加权滤波<sup>[3,4]</sup>、Gabor 增强<sup>[1]</sup>及其改进算法<sup>[5]</sup>、基于规则的图像增强<sup>[6]</sup>, 等。上述方法对指纹图像增强一般能取得比较好的效果, 但是对于指纹上有很大伤疤, 从现场采集到的脱机指纹等情况不够理想。

### 2 指纹灰度级相位与图像增强

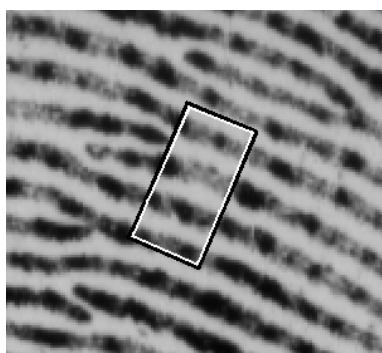
在指纹的局部区域可以定义两个方向: 一个是与指纹脊线平行的方向, 称为切线方向; 另一个是与指纹脊线垂直的方向, 称为法线方向。从某一个点沿着法线方向向前延伸可以得到一条直线, 则该直线上各个像素点的灰度值近似按照正弦函数分布。本文根据法线上灰度值分别的这种特点, 引入了灰度级相位的概念: 在法线方向上灰度值从极小到极大的半个周期内, 灰度级相位从 0 逐渐增加到 1。

假设点 $(x, y)$ 处的灰度值为 $g(x, y)$ , 在过 $(x, y)$ 的法线上找到距离 $(x, y)$ 最近的灰度极小值和灰度极大值, 假设分别为 $g_{\min}(x, y)$ 和 $g_{\max}(x, y)$ , 则点 $(x, y)$ 的灰度级相位定义为:

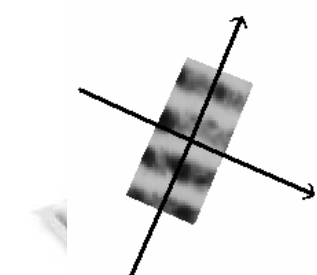
$$p(x, y) = \frac{g(x, y) - g_{\min}(x, y)}{g_{\max}(x, y) - g_{\min}(x, y)} \quad (1)$$

① 基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11551017)

收稿时间: 2011-09-14; 收到修改稿时间: 2011-10-24



(a) 一个像素点的邻近矩形区域



(b) 与(a)对应的邻近矩形区域的坐标系

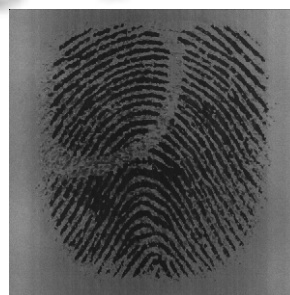
图 1 指纹的局部区域

纹图像为:

$$g_R(x, y) = p_F(x, y) * (C_{max} - C_{min}) + C_{min} \quad (3)$$

### 3 实验结果与分析

目前大多数的指纹识别算法对较弱噪声的指纹图像增强效果都比较好，所以在实验中我们选取了图像中有较多噪声或伤疤的情况。Gabor 图像增强算法<sup>[1]</sup>虽然很早就被提出，但是目前在指纹图像增强方面最有影响力的还是 Gabor 图像增强<sup>[1]</sup>及其改进算法。本文把提出的算法与 Gabor 图像增强<sup>[1]</sup>进行了比较。



(a) 原始指纹图像

对每个点都计算相位后，即得到原指纹图像的相位图像  $p(x, y)$ ，由于有噪声的存在，在估算相位的时候也会存在一些误差，本文称这种误差为相位噪声。根据每个像素点的法线方向上各邻近像素点的相位相差可能会比较大，而切线上各邻近像素点的相位一般比较接近这一特点，对每个像素点取一个  $3 \times 15$  的矩形窗口作为滤波窗口：窗口在法线方向上的长度为 3，而在切线方向上的窗口长度为 15。定义了该矩形窗口后，通过均值滤波得到各个像素点的滤波后相位。假设点  $(x, y)$  处的方向为  $O(x, y)$ ，滤波前的相位为  $p(x, y)$ ，则滤波后的相位  $p_F(x, y)$  为：

$$p_F(x, y) = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-7}^7 p(A(u, v, x, y), B(u, v, xy)) \quad (2)$$

上式中  $A(u, v, x, y) = u \cos(O(x, y)) + v \sin(O(x, y))$  和  $B(u, v, x, y) = v \cos(O(x, y)) - u \sin(O(x, y))$  分别为点  $(u, v)$  在旋转坐标系下的横坐标和纵坐标。

经过相位滤波后，根据每个点的相位值重新构建指纹图像，假设构建指纹图像的期望灰度最小值为  $C_{min}$ ，期望灰度最大值为  $C_{max}$ ，则重新构建后的指



(b) 对(a)Gabor 增强后的结果



(c) 对 2(b)做二值化之后的结果



(d) 对图 2(a)用本文方法增强后的结果



(e) 对 2(d)做二值化之后的结果

图 2 一个指纹图像增强例子

在实验中指定  $C_{\min}$  的值为 60, 指定  $C_{\max}$  的值为 180。图 2 为对 FVC2002 DB3\_A 24\_4.tif 增强的结果。其中图 2(a)为原始指纹图像,图 2(b)为对(a)Gabor 增强后的结果,图 2(c)为对 2(b)做二值化之后的结果,图 2(d)为对图 2(a)用本文方法增强后的结果,图 2(e)为对 2(d)做二值化之后的结果。通过图 2 可以看出本文的增强算法对于有很大噪声的图像的增强效果要明显好于 Gabor 增强。之所以有这样的结果一方面是因为相位是在考虑局部邻域图像基础上得到的,具有一定的鲁棒性;另一方面是因为对相位又进行了一次滤波。

#### 4 结论

本文提出了灰度级相位的概念,并实现了一个根据灰度级相位增强指纹图像的方法。该方法首先计算指纹区域内每个像素点的灰度级相位,然后对灰度级相位进行滤波,最后根据滤波后的灰度级相位构建指纹图像。该方法在增强图像时实际上相当于进行了两次滤波:一次是通过计算灰度级相位过滤掉一些噪声的影响;另一次是对灰度级相位滤波进一步减少噪声。对 FVC 指纹库的测试结果也表明该方法对低质量的指纹图像增强效果好。

(上接第 211 页)

缓存机制中已不是最优。进一步工作中,将对更多的替换算法进行对比实验。同时,注意到本文研究中结合能量代价计算的缓存替换策略在本场景发挥了积极的作用,将在这方面作更深入的探索。

#### 参考文献

- 1 Douglis F, Krishnan P, Marsh B. Thwarting the power hungry disk. USENIX Winter Conference. 1994,292-306.
- 2 Greenawalt P. Modeling power management for hard disks. Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation on Computer and Telecommunication Systems, 1994,62-66.
- 3 Deng Y. What is the future of disk drives, death or rebirth?. ACM Computing Surveys, 2011,43(3).
- 4 Intel X18-M/X25-M SATA Solid State Drive Product Manual. 2009, May. <http://download.intel.com/design/flash/nand/mainstream/mainstream-sata-ssd-datasheet.pdf>.
- 5 Narayanan D, Thereska E, et.al. Migrating server storage to SSDs: analysis of tradeoffs. 2009, EuroSys.

#### 参考文献

- 1 Hong L, Wan YF, Jain AK. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998,20(8): 777-789.
- 2 Ko T. Fingerprint enhancement by spectral analysis techniques. In Proceedings of the Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, Washington DC, USA, 2002:133-139.
- 3 王科俊,李雪峰,赵钥.基于方向滤波的指纹图像增强算法研究.模式识别与仿真,2009,28(7):54-56.
- 4 卞维新,徐德琴.基于自适应方向滤波器的指纹图像增强.微电子学与计算机,2009,26(3):185-188.
- 5 王莹,苏成利.指纹图像增强方法研究.科学技术与工程, 2010,10(1):94-98.
- 6 Luo X, Tian J. Knowledge Based Fingerprint Image Enhancement. International Conference on Pattern Recognition. Barcelona, Spain, 2000,4:783-786.
- 7 Maio D, Maltoni D, Cappelli R, Wayman JL, Jain AK. FVC 2002:Second Fingerprint Verification Competition. In Proc. of the International Conference on Pattern Recognition. Quebec, Canada, 2002,3:811-814.
- 6 Liu S, Cheng X, Guan X, Tong D. Energy efficient management scheme for heterogeneous secondary storage system in mobile computers. ACM Symposium on Applied Computing, 2010,251-257.
- 7 Belady LA. A study of replacement algorithms for virtual storage computers. IBM Systems Journal, 1966,5(2):78-101.
- 8 Mattson RL, Gecsei J, Slutz DR, Traiger IL. Evaluation Techniques for Storage Hierarchies. IBM Systems Journal, 1970,9(2):78-117.
- 9 Megiddo N, Modha DS. ARC: A Self-Tuning, Low Overhead Replacement Cache. USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST), 2003,115-130.
- 10 Robinson JT, Devarakonda MV. Data cache management using frequency-based replacement. ACM SIGMETRICS Conference. 1990.134-142.
- 11 Li K, Kumpf R, Horton P, Anderson T. A Quantitative Analysis of Disk Drive Power Management in Portable Computers. USENIX Winter Conference. 1994.279-292.