

指纹图像分割与增强算法

韩书娜¹, 么宏伟², 范剑英³, 李 红³

(1. 平顶山工业职业技术学院 自动化与信息工程系, 河南 平顶山 467001; 2. 中国人民解放军 65046 部队, 黑龙江 齐齐哈尔 161000; 3. 哈尔滨理工大学 测控技术与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 针对现有的指纹增强算法中图像分割不彻底, 不能很好地修复指纹断裂纹线问题, 以分形理论为基础, 利用差分计盒维数算法与 Gabor 滤波器增强方法, 通过计算指纹图像的方向场和频率场, 设计了一种指纹图像增强算法. 实验结果表明, 该算法提高了指纹图像的处理速度, 对断裂处的指纹脊线有很好的修复效果.

关键词: 指纹图像; 直方图均衡化; 分形维数; Gabor 函数

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2011)01-0098-04

Fingerprint Image Division and Enhancement Algorithm Research

HAN Shu-na¹, YAO Hong-wei², FAN Jian-ying³, LI Hong³

(1. Department of Automation and Information Engineering Pingdingshan Industrial College of Technology, Pingdingshan 467001, China; 2. No. 65045 Unit Chinese People's Liberation Army Qiqihar 161000, China; 3. College of Measurement Control Technology and Communication Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China)

Abstract As the fingerprint enhancement algorithm in the existing image segmentation is not complete and cannot repair the broken crack line fingerprint problem well, we take the fractal theory as the foundation, use differential box counting algorithm and the Gabor filter enhancement, through the computation fingerprint images's field of directions and the frequency field, and has designed a kind of fingerprint image intensification algorithm. The experimental result indicated that this algorithm raised the fingerprint image processing speed, and repaired the break place fingerprint ridge the effect well.

Key words fingerprint image; histogram equalization; fractal dimension; Gabor function

0 引 言

在指纹识别系统中, 指纹图像预处理效果的好坏在整体上决定了整个系统的可靠性^[1-2], 而图像的分割增强是指纹图像预处理需要解决核心问题, 其目的是为了分离指纹图像的前景和背景, 消除噪声, 改善图像质量, 为准确可靠地提取指纹的细节特征, 指纹的匹配奠定基础^[3-4].

针对现有的指纹增强算法中图像分割不彻底,

不能很好地修复指纹断裂纹线的问题^[5], 本文利用指纹图像的方向场和频率场, 设计了一种有效的指纹图像增强算法, 在对指纹图像做分割以后, 用 Gabor 滤波器增强的方法, 对指纹图像中的每一点做滤波增强.

1 直方图均衡化

直方图均衡化是用于描述灰度强度场值分布情况的, 通过计算直方图, 把图像进行均衡处理, 即将

收稿日期: 2009-10-12

作者简介: 韩书娜(1984—), 女, 硕士.

范剑英(1963—), 男, 教授, E-mail: fanjianying@hrbust.edu.cn

一个已知灰度概率密度分布的图像, 经过变换, 变成一幅具有均匀灰度概率密度分布的新图像, 扩展了像素点灰度的取值范围, 达到了增强图像整体对比度的效果^[6].

图像的概率密度函数为

$$P(x) = \frac{H(x)}{A_0} \quad (1)$$

其中: x 为灰度级; $H(x)$ 为直方图; A_0 为图像的面积; 且概率密度函数为 1

若用变量 r 和 s 分别代表归一化了的原图像灰度和变换后的灰度, $r, s \in [0, 1]$, 在原图像中, 对于区间 $[0, 1]$ 内每一个像素值 r 经变换函数 $T(r)$ 产生一个灰度值 s , 即 $s = T(r)$. 令随机变量 r 和 s 的概率密度函数分别为 $P_r(r)$ 和 $P_s(s)$, 则由概率理论知, 若 $P_r(r)$ 和 $T(r)$ 已知, 且 $T^{-1}(s)$ 是单值单调增加函数, 可以得到^[1-2]:

$$P_s(s) = P_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| \quad (2)$$

对指纹图像, 用概率密度函数 $P_r(r_k)$ 表示灰度级为 r_k 发生的概率估计值, 且有下式成立:

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}; 0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, \dots, L-1. \quad (3)$$

其中变量 r_k 代表图像中像素第 k 级灰度, n 表示图像中像素的总和, n_k 是灰度 r_k 的像素个数, L 为图像中可能的灰度级总数. 变换函数为

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, \quad k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (4)$$

经均衡处理后的直方图灰度级出现了简并现象, 数目减少了, 但均衡后所得到的图像的直方图比原图像的直方更平坦, 而且动态范围扩大了, 图像的对比度提高了, 所以图像会给人以清晰明了的感觉.

2 指纹图像的分割

目前的指纹图像通常不能很好地提取指纹图像的有效区域, 本文以分形理论为基础, 通过差分计盒维数的算法得到指纹图像能够很好地区分指纹图像的前景和背景, 为后续图像处理奠定基础.

2.1 差分计盒维数计算方法

设 F 是 R^* 上任意非空集合的有界子集, $N_\delta(F)$ 是直径最大为 δ 可以覆盖 F 集合的最小个数. 则 F 的盒维数定义为^[7-8]:

$$\text{Dim}_n F = \frac{\log N_\delta(F)}{\log \delta} \quad (5)$$

将指纹图像的灰度值看作三维空间的一个曲面, 该曲面上每个点的灰度值表示为 $Z = f(x, y)$, 对图像大小为 $M \times M$, 将图像的 $X - Y$ 平面分成大小为 $\delta \times \delta$ 的格子, 设该 xy 坐标系中格子 (i, j) 里面像素点灰度的最大值和最小值分别是 $u_\delta(i, j)$ 和 $b_\delta(i, j)$, 且定义两者的差值为

$$d_\delta(i, j) = u_\delta(i, j) - b_\delta(i, j) \quad (6)$$

对所有边长为 δ 格子非空的盒子总数 N_δ 的计算公式为

$$N_\delta = \frac{\sum_{i,j} d_\delta(i, j)}{\delta} \quad (7)$$

2.2 计算梯度值

对一张 $Z = f(x, y)$ 灰度图像, 求点 (x, y) 的偏导数 $\left[\frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y} \right]$, 从而求得梯度向量 $T = \left[\frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y} \right]$, 在计算分维盒数时, δ 是常数, 所以要比较两个块的维数, 只需比较 $\sum_{i,j} d_\delta(i, j)$. $d_\delta(i, j)$ 代表该块的梯度, 由此将比较分形维数简化为梯度的比较, 即利用前景与背景梯度值的不同来分割前景和背景. 梯度向量为 $T = \left[\frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y} \right]$, 可用近似公式计算梯度幅值, 即

$$|T| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^2} \approx \left| \frac{\partial z}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial z}{\partial y} \right| \quad (9)$$

2.3 用梯度阈值判断前景和背景

指纹图像前景区域的梯度一般都比较大小 (黑白纹线清晰相间), 而背景区域梯度都比较小. 把求出的梯度进行高度平滑, 去掉梯度图像的噪声, 然后用适当阈值就可以判断该点是前景还是背景. 确定阈值步骤如下:

1) 阈值的选择跟图像质量有关, 对于光学图像, 通常取 30~40. 如果图像不够平滑, 则必须先对图像进行平滑处理, 阈值大约取 50 左右;

2) 用单位区域上的梯度阈值作为灰度特征, 需要计算单位区域上的平均灰度 $T(x, y)$ 作为该单位区域阈值;

3) 设 A 为分割域值. 若 $|T(x_0, y_0)| > A$, 则 (x_0, y_0) 点在指纹图像的前景上. 若 $|T(x_0, y_0)| < A$, 则 (x_0, y_0) 点在指纹图像的背景上.

3 图像增强

对于质量较差的指纹图像, 可能会出现部分断裂或模糊, 为了获取质量更高的指纹图像, 本文对其

进行图像增强.

3.1 方向场计算

该方法的基本思想是利用指纹脊线和谷线灰度的变化, 计算每一像素点的梯度, 那么垂直于梯度的方向就是指纹纹线的方向. 对一副大小为 $M \times M$ 的灰度指纹图像, $Z = f(x, y)$ 表示在点 (x, y) 的灰度值, 该算法描述如下:

1) 指纹图像分为 $w \times w$ 的子块;

2) 对每一子块, 利用 Sobel 算子计算水平方向的梯度和垂直方向的梯度;

3) 以像素点 $Z = f(x, y)$ 为中心, 计算子块方向:

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_x(x, y)}{V_y(x, y)} \right) \quad (10)$$

其中, $V_x(x, y) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2G_x(u, v)G_y(u, v)$, $V_y(x, y) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (G_x^2(u, v) - G_y^2(u, v))$, $G_x = \frac{\partial}{\partial x}$, $G_y = \frac{\partial}{\partial y}$, $\theta(x, y)$ 所表示的方向即为子块方向, 获得每一子块的方向后再用高斯低通滤波器对方向场进行平滑处理.

3.2 频率场估计

在指纹图像的局部非奇异区域里, 沿着垂直于脊线的方向看, 指纹脊线和谷线像素点灰度值大致形成一个正弦波, 设 f 为点 $f(x, y)$ 的频率, 定义 f 为该点方向场 $\theta(x, y)$ 垂直方向上单位长度内脊线的条数. 设 $V(h)$ 为在 $[x_1, x_2]$ 的区间内灰度垂直变化的总量, 则有

$$V(h) = \int_{x_1}^{x_2} \left| \frac{dh(x)}{dx} \right| dx \quad (11)$$

$$V(h) = (x_2 - x_1) \cdot 2a_m f \quad (12)$$

其中: $h(x)$ 表示在点 (x, y) 方向场的垂直方向上的灰度函数; a_m 为波形的平均振幅.

由以上公式可求出指纹图像的频率场:

$$f = \frac{V(h)}{(x_2 - x_1) \cdot 2a_m} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} \left| \frac{dh(x)}{dx} \right| dx}{(x_2 - x_1) \cdot 2a_m} \quad (13)$$

3.3 指纹图像的增强

Gabor 小波偶函数二维表达式为

$$g(x, y) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_0^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_0^2}{\sigma_y^2} \right] \right\} \cos(2\pi f x_0) \quad (14)$$

其中, $\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(90^\circ - \theta) & \sin(90^\circ - \theta) \\ -\sin(90^\circ - \theta) & \cos(90^\circ - \theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} =$

$\begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ -\cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$, 这里 f 是正弦曲线的频率, σ_x , σ_y 分别是高斯包络线沿 x 向和 y 方向的标准偏差, θ 则是滤波器的方向. 应用 Gabor 滤波器对指纹图像进行增强, 必须给出 3 个参数值^[9-10]:

1) 正弦曲线频率 f ;

2) Gabor 滤波器的滤波方向 θ ;

3) 高斯包络线的标准偏差 σ_x , σ_y .

显然 f 和 θ 已经可以通过前面的讨论得到结果, 分别对应指纹的频率场和方向场中的值, σ_x 和 σ_y 的取值则必须根据实际情况决定. 当 σ_x 和 σ_y 相等时, Gabor 函数底部滤波表现为各向异性, 为小波震荡的特点, 方向滤波则表现为增强的作用. 如果对每一点进行 Gabor 滤波运算, 即可实现智能增强的效果, 可用简化的线段形模板来拟合 Gabor 函数以减少运算量. 在此, 采用切向滤波模板 $H_w = \frac{1}{7} (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)$, 法向滤波模板 $V_w = \frac{1}{7} (-3 \ -1 \ 3 \ 3 \ -1 \ -3)$.

4 实验结果及分析

实验是在 Windows XP 操作系统下进行, 如图 1 所示, (a) 是指纹图像的原图; (b) 为均衡化的指纹图像, 和原图相比, 减少了指纹图像的灰度等级, 图像更加清晰; (c) 为分割后的指纹图像, 将指纹的前景和背景分割开来. 图像前景和背景分割图像更加明晰, 边界处是圆滑的曲线, 相比较一般分割算法 (d) 得到边界是锯齿状有很大的提高; (e) 为本文增强后的指纹图像, 由于该指纹存在部分断裂纹线, 增强后的指纹图像在一定程度上弥补了指纹图像中右边的断裂指纹, 使具有较好的脊线连通性.



图 1 指纹图像处理前后对比

5 结 语

分割和增强是指纹图像预处理必不可少的部分, 本文采用分形维数区分前景和背景得到较好的效果, 同时用简化的 Gabor 滤波模板对指纹逐点滤波, 提高处理速度. 对断裂处的指纹脊线有很好的修复效果, 为后面的二值化和细化处理奠定基础.

参 考 文 献:

[1] CHEN F, ZHOU J, YANG C. Reconstructing Orientation Field from Fingerprint Minutiae to Improve Minutiae Matching Accuracy [J]. IEEE Transactions on Image Processing 2009 18(7): 1665–1670.

[2] 苑玮琦, 刘兆悦. 自适应的基于 Gabor 函数的指纹图像增强算法[J]. 激光与红外, 2008, 38(8): 844–848

[3] 徐坚江, 卢建刚. 基于 Gabor 滤波器和广义对称变换的指纹增强算法[J]. 江南大学学报, 2008 7(3): 255–257.

[4] 乌旭, 胡家升, 梁殿亮. 基于区域分割的指纹奇异性检测及中心点计算 [J]. 光学精密工程, 2006 14(2): 229–235.

[5] SUN H, LAM K, GOLIMANN D. Efficient Fingerprint Code Classification [J]. IEEE Transactions on Information and Systems 2008 E91–D(5): 1252–1260

[6] 田杨. 精确直方图规定化 [D]. 山东大学, 2008: 16–18

[7] 王小侠. 基于分形维数和小波图像的编码 [J]. 江苏理工大学学报, 2006 22(6): 3–5

[8] KELLER J, CROWNOVER R, CHEN S. Texture Description and Segmentation through Fractal Geometry [J]. Computer Vision Graphics and Image Processing 1989, 45: 150–160.

[9] 毛克明, 王国仁, 于长永, 等. 一种改进的基于 Gabor 小波的指纹增强算法 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2009 30(1): 46–49.

[10] DE GONZAGA S L O, VEDIA F, CONCEA. An Approach for Enhancing Fingerprint Images Using Adaptive Gabor Filter Parameters [J]. Pattern Recognition and Image Analysis 2008 18(3): 497–506

(编辑: 付长纓)

(上接第 97 页)

够避免只将各个方案的单个因素指标值进行比较而引起的偏差, 全面地分析了各个指标间的相互关系, 反映了整个因素指标空间的影响.

本文采用模糊数学中的灰色系统理论和工程优化中的多目标决策思想, 建立了基于多目标决策的灰色关联投影法油气回收绩效评价模型. 利用该模型对现有的四种油气回收方法的指标数据进行综合量化分析, 结果表明, 吸附法最优, 膜法次之. 评价结果与现有文献的非量化评价结果是一致的, 证明模型是有效和可信的, 从而为石化企业油气回收的方法选择和方案设计提供决策参考. 油气回收的绩效还会受到环境的影响, 故各个地区的石化企业需根据当地的具体情况, 利用上述的计算方法进行综合考虑来决定最适合的油气回收方法.

参 考 文 献:

[1] 李荣强, 刘国荣, 周季乾, 等. 油气回收技术的研究现状 [J]. 过滤与分离, 2009, 19(3): 45–48

[2] 侯德毅. 浅谈油气回收技术 [J]. 油气田地面工程, 2009, 28(9): 85

[3] 庞庆, 闫洪国. 灰色关联系数理想决策方法研究 [J]. 机械设计与研究, 2008 24(2): 19–24

[4] 杨开云, 冯卫, 王亮, 等. 多目标决策灰色关联投影法在建筑工程投资决策中的应用 [J]. 四川建筑科学研究, 2009 35(5): 311–314

[5] 王广月, 刘建. 基于组合权重的灰色关联度方案决策模型及其应 [J]. 工业建筑, 2004 34(4): 61–65.

[6] 李秀红. 基于灰色关联度的多目标决策模型与应用 [J]. 山东大学学报: 理学版, 2007 42(12): 33–36

[7] 方志耕, 刘思峰, 朱建军, 等. 决策理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2009 1–120

[8] 吕锋, 崔晓辉. 多目标决策灰色关联投影法及其应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2002 22(1): 103–107.

[9] 邓聚龙. 灰理论基础 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003 87–437.

[10] 孙伟. 基于灰关联分析的上市公司绩效评价 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2006 11(1): 60–62

(编辑: 付长纓)