

# 指纹图像质量测评方法研究

胡敏,李大超

(海南师范大学 数学系,海南 海口 571158)

**摘 要:** 指纹图像质量的好坏对自动指纹识别系统的性能有着重要的影响,如何有效地评测指纹图像的质量和排除低质量的指纹图像是一个比较难的问题。从宏观和微观两方面出发,通过多个关键的评测指标来判断所采集的指纹图像是否符合一定的质量标准,对不符合质量标准的指纹图像要求重新采集,最后对指纹图像质量提出了更完整的评价体系。该评测方法是在充分考虑了指纹识别系统的特点之后提出,因此能很好地评测指纹图像的质量,从而提高系统的准确性和可靠性。

**关键词:** 指纹识别;评测参数;评价系统;质量评价

**中图分类号:** TP301

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2010)02-0125-04

## A Method for Fingerprint Image Quality Estimation

HU Min, LI Da-chao

(Department of Mathematics, Hainan Normal University, Haikou 571158, China)

**Abstract:** The fingerprint image quality evaluation is crucial in eliminating poor fingerprint image. This will heavily affect the performance of fingerprint identification system. The question is how to evaluate the quality of the fingerprint image effectively and how to obviate the low quality of the fingerprint image. Discuss several important macroscopical evaluation parameters and microcosmic evaluation parameters, and then apply them to estimate the fingerprint image quality. At last, put forward the more complete evaluation system for the captured fingerprint image qualities. Based on the analysis and study of grey image, this method is put forward, so the reliability and veracity of fingerprint recognition system is improved.

**Key words:** fingerprint identification; evaluation parameter; evaluation system; quality evaluation

## 0 引言

随着电子商务和网络化的普及,自动指纹识别系统(AFIS)在身份认证方面得到了广泛应用。AFIS主要由4个子系统组成:图像采集、图像处理<sup>[1,2]</sup>、特征提取和特征匹配。对于图像采集,由于传感器和外部环境因素的影响,往往采集的图像质量不是很高,从而导致拒真率和认假率偏高,影响识别率。一个较好的指纹识别系统通常要求用户注册时多次输入指纹,将质量最好的指纹特征模板或者复合的特征模板作为最终模板保存。因此指纹图像质量评估在AFIS中有着重要的价值。

影响指纹图像质量的因素有很多,需全面考虑各个因素对系统整体性能的影响,针对整个系统提出一个比较合理的指纹图像质量评估方法,从而降低在指

纹识别过程中因图像质量过低问题对整个自动指纹识别系统造成影响。总体来说,评价所要实现的目标分为宏观和微观两个方面:

(1)宏观上判断指纹图像的有效区域大小、偏移方向和图像的干湿情况;

(2)微观上主要从指纹特征来判断,如奇异点、细节点等角度。

该文结合宏观、微观两方面的评测指标,提出了一种比较全面的指纹图像评测方法。

## 1 宏观的评测指标及具体算法

### 1.1 灰度均值方差的计算

根据指纹图像的特性,灰度均值和方差在图像质量评估过程中有很大的作用。进行进一步评测指标的判断,先将指纹图像分成互不重叠的小块( $w \times w$ )(文中取 $w = 20$ ),然后计算各块的灰度均值和方差, $(i_0, j_0)$ 为小方块左上角的坐标, $I(i, j)$ 为点 $(i, j)$ 的灰度值:

块灰度均值:

收稿日期:2009-05-27;修回日期:2009-08-20

基金项目:国家自然科学基金(60763009)

作者简介:胡敏(1987-),女,浙江人,硕士研究生,研究方向为信息安全;李大超,教授,研究方向为组合数学。

$$M(i_0, j_0) = \frac{1}{w^2} \sum_{i=i_0}^{i_0+w-1} \sum_{j=j_0}^{j_0+w-1} I(i, j) \quad (1)$$

块灰度方差:

$$\text{VAR}(i_0, j_0) = \frac{1}{w^2} \sum_{i=i_0}^{i_0+w-1} \sum_{j=j_0}^{j_0+w-1} (I(i, j) - M(i_0, j_0))^2 \quad (2)$$

### 1.2 有效区域大小

指纹图像质量的自动评价是针对指纹图像有效区域进行的,首先要将指纹图像的有效区域从背景图像中分割出来。指纹图像前景区域的脊谷之间有明显的灰度变化,而背景是平滑且缓慢变化的信号。通过局部灰度方差的分析可以简单区分前景和背景区域。

#### 1.2.1 改进的自适应局部阈值分割指纹图像

改进的自适应局部阈值分割方法考虑将阈值的选取与图像块的均值相结合,并根据图像的质量来选取合适的系数,从而达到要求的分割效果:前、背景分离。

在 1.1 中已计算出图像块的灰度均值和方差,那么此处阈值的选定可根据公式(3)来确定:

$$T = M(i_0, j_0)/a \quad (3)$$

其中  $a$  是一个调整系数,其值的选取根据图像的质量而定,一般可取为 10 ~ 20,对质量较好的图像,  $a$  可取 12 左右;对较湿的图像可取下限;对较干的图像  $a$  取上限或更大。若  $a$  取得过大,则无法消除指纹区域外的噪声点(背景被误判为前景),若  $a$  取得过小,则会造成区域内脊线断裂(前景被误判为背景)。

若  $\text{VAR}(i_0, j_0) > T$ ,则块  $(i_0, j_0)$  标记为前景图像块,否则标记为背景图像块,并令其灰度等于 0。当所有图像块判断完毕,指纹图像分离成前景和背景区域。

#### 1.2.2 有效区域面积质量评测因子

通过分割图像,统计指纹图像前景图像块  $N_1$ ,并计算  $Q_1 = N_1/N$ ,其中  $N$  为所有的图像块。如果  $Q_1 \geq T_1$  ( $T_1$  为阈值),说明有效区域的面积够大;如果  $Q_1 < T_1$ ,说明有效区域的面积太小,需要重新采集指纹图像。

### 1.3 指纹图像的干湿度

当用户用太干、太湿或是由于各种原因破坏了指纹信息的手指采集指纹时,都会采集到指纹纹路不清晰、特征点少、方向信息混乱等各种质量很差的指纹图像,从而使后续处理变得十分困难,因此必须在录入之前判断指纹图像是否太干或太湿,并给出提示。一般来说,手指过干时,图像子块大多数是以白像素为主,其方差较小而均值较大;手指过湿时,图像子块大多数为黑像素,方差和灰度均值都较小。用标准差  $s = \sqrt{\text{VAR}(i_0, j_0)}$  替代方差来判断图像块的干湿度,并统

计出块内小于均值  $M(i_0, j_0)$  的所有像素的灰度均值  $m$ 。

具体步骤如下:

- (1) 若  $m/s > T_a$ ,则标记该图像块为干图像块;
- (2) 如果一个图像块的邻域图像块之间的对比度变化比较大,则该图像块也标记为干图像块。文中用  $3 \times 3$  的块窗口考察某一图像块,计算各邻域图像块的对比度,如果 8 邻域中的对比度最大值与最小值的差大于阈值  $T_b$ ,那么待考察图像块为干图像块;
- (3) 统计所有干图像块  $N_2$ ,计算  $Q_2 = N_2/N$ ,其中  $N$  为所有的图像块。如果  $Q_2 \geq T_1$  ( $T_2$  为阈值),说明图像太干,需要重新采集指纹图像。否则再判断该图像是否太湿。

- (4) 若  $m \times s < T_c$ ,则标记该图像块为湿图像块;
- (5) 检测整幅图像,如果 8 邻域的对比度最大值与最小值之差小于阈值  $T_d$ ,则待考察图像块为湿图像块;

- (6) 统计所有湿图像块  $N_3$ ,计算  $Q_3 = N_3/N$ ,其中  $N$  为所有的图像块。如果  $Q_3 \geq T_3$  ( $T_3$  为阈值),说明图像太湿,需要重新采集指纹图像。

### 1.4 指纹图像的偏移量

一般说来,无论何种类型的指纹,其脊线从左到右都呈抛物线型,因此首先检查图像区域是否存在一条较为完整的脊线;其次,在找到有一条抛物线型脊线的指纹图像中,利用指纹的质心计算指纹图像是否偏移。如果位移量太大,表示手指放得过偏,采集到的指纹图像可能不完整,应提示用户手指向左(右、上、下)偏移严重,重新采集指纹图像。

#### 1.4.1 有无一条完整脊线

前面已经得到计算出方差的图像块,将各个图像块按方差从大到小排序,选择方差最大的块中灰度值最大的点,以该点  $(x_1, 0)$  为起始点执行脊线跟踪算法。

- (1) 以前景图像的质心为坐标原点,构建坐标系,其  $x$  和  $y$  轴与图像本身的行和列平行。目的就是寻找一条抛物线型的脊线,其两端分别与  $x$  的正负半轴相交;

- (2) 在  $x$  轴的左半轴,选择一个图像块  $(x_1, 0)$  作为起始块(不能为水平方向);

- (3) 根据当前图像块的方向,向右搜索下一图像块;

- (4) 检查该图像块与前一图像块的方向变化,如果超过  $90^\circ$ ,则表明当前图像块的方向发生突变,根据脊线本身的连续性,修改当前图像块的方向为前一图像块的方向,在此基础上搜索下一图像块;

(5) 判断脊线是否搜索完毕, 如果当前点 $(x_2, y_2)$ 所在图像块满足下列所有条件: a. 图像块为有效区域图像块; b.  $x_2$  大于 0; c.  $y_2$  小于 3; 表明完整的脊线已经搜索到。否则, 继续搜索下一图像块; 而如果当前块为背景块, 则重新选择起始块, 开始新一轮搜索。

(6) 如果从  $x$  的正负半轴都无法确定一条完整的脊线, 则表明该图像过偏, 提示用户下一次按捺时注意手指放置位置。

#### 1.4.2 偏移方向

如果判断出原指纹图像有一条完整的脊线, 接下来还得继续判断是否在某一方向太偏。对于已经搜索到脊线的图像  $G[i, j]$ , 计算图像前景图像的质心 $(x, y)^{[3,4]}$ (用它在指纹图像中所在的行数和列数来表示)。 $W$  和  $H$  分别为原始指纹图像的宽和高。

算法步骤:

(1) 通过前面的分割原指纹图像, 使得指纹前景成为重量分布的区域;

(2) 求出指纹图像有效区域的位置 $(x, y)$  和该位置与原指纹图像中心的距离, 即:

$$x = \sum_{(i,j) \in D} if(i,j) / \sum_{(i,j) \in D} f(i,j),$$

$$y = \sum_{(i,j) \in D} jf(i,j) / \sum_{(i,j) \in D} f(i,j)$$

$$d = \sqrt{(i - H/2)^2 + (j - W/2)^2}$$

(3) 如果  $d \leq T_4$ , 说明该指纹图像偏移不大, 可以不用重新采集; 如果  $d > T_4$ , 则有:

- ① 如果  $x/H < T_5$ , 则说明指纹图像向上方偏移;
- ② 如果  $x/H < T_6$ , 则说明指纹图像向下方偏移;
- ③ 如果  $y/W < T_5$ , 则说明指纹图像向左边偏移;
- ④ 如果  $y/W > T_6$ , 则说明指纹图像向右边偏移;

如果同时满足 ①③ 说明图像向左上方偏移, 同时满足 ①④ 说明图像向右上方偏移, 同时满足 ②③ 说明图像向左下方偏移, 同时满足 ②④ 说明图像向右下方偏移。

其中,  $T_4, T_5, T_6$  表示偏移量的阈值。如果出现上述几种情况, 则需要提示用户调整手指按压的位置重新采集指纹图像。

## 2 微观的评测指标及具体算法

微观方面的评测指标主要包括奇异点和细节点, 但是细节点的判断在指纹图像预处理的前期比较难判断, 通过实验, 在微观方面, 只考虑奇异点的判断, 实验效果几乎一样, 而且速度也比较快。奇异点被定义为方向不连续的点, 是描述指纹的关键特征点。中心点

(core) 为最内部弯曲纹线处的最高点或最低点, 三角点(delta) 为三条不同纹线汇合形成的三角区域。如果采集的指纹图像没有 Core 点/Delta 点, 则建议重新采集。迄今为止, 已有大量的指纹奇异点检测方法被提出<sup>[5~7]</sup>。文中采用的是由 Kawagoe 和 Tojo 等人提出的, 用指纹图像的 Poincare 索引(Poincare Index) 来寻找奇异点和判断奇异点的种类。

首先, 将指纹图像分块, 计算块方向图<sup>[8]</sup>。

其次, 标记出奇异点区域。将核心点定义为中心点。核心点检测算法如下:

计算每块的 Poincare index。Poincare index 定义以及计算如下:

$$\delta(k) = \theta(x(k'), y(k')) - \theta(x(k), y(k))$$

$$\text{且 } k' = (k + 1) \bmod N$$

$$\Delta(k) = \begin{cases} \delta(k) & 0 < \delta(k) < \frac{\pi}{2} \\ \pi + \delta(k) & \delta(k) < -\frac{\pi}{2} \\ \pi - \delta(k) & \delta(k) > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\text{Poincare}(i, j) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=0}^{N-1} \Delta(k)$$

其中  $\theta(i, j)$  为每块的方向,  $x(k)$  和  $y(k)$  是最近邻域的  $N$  块的坐标, 那么:

(1) 若 Poincare index 是  $1/2$ , 那么该块是核心块, 该块的中心是核心点;

(2) 若 Poincare index 是  $-1/2$ , 那么该块是三角块, 该块中心是三角点。

如果超过两个核心点或三角点被检测到, 则需重新用一个更大的平滑参数平滑方向图。

## 3 实验结果与结论

文中的算法是一种简单快捷评测算法, 不需要计算指纹图像的方向场, 而是根据指纹图像的灰度特性, 并结合不同性质的指纹图像所具备的特点, 通过多次试验, 设置最佳阈值, 从而将低质量的指纹图像拒之门外, 同时给用户提示拒录指纹图像的原因, 以便重新采集合格的指纹图像(见图 1)。

文中采用的指纹库是 FVC2004DB1-B, 指纹图像大小为  $640 * 480$ 。具体阈值如下, 设  $T_1 = 0.05, T_2 = 0.7, T_3 = 0.7, T_4 = 50, T_5 = 0.45, T_6 = 0.55$ 。由表 1 可见, 图 a 太偏上, 图 b 有效面积太小且没有一条完整的脊线, 是偏手指, 图 c 有点偏上, 图 d 太湿, 也无法检测到奇异点, 图 e 太干, 造成图像不清晰, 图像面积小, 图 f 是一幅质量好的指纹图像。

虽然该文的评测算法没有考虑噪声、光照不均等

因素对指纹图像质量的影响,但对指纹库FVC2004

表 1 各评测指标统计表

	均值	方差	有效面积 $Q_1$	干湿度 $Q_2$	奇异点	偏移量		
						d	x/H	y/W
图 a	241.56	1.80e+003	0.0506	0.51	有	151.87	0.18	0.47
图 b	246.08	1.28e+003	0.0367	0.59	有	59.89	0.39	0.45
图 c	241.30	1.66e+003	0.0449	0.72	有	99.68	0.46	0.35
图 d	228.81	4.39e+003	0.1177	0.78	无	12.55	0.52	0.49
图 e	250.60	410.2800	0.0285	0.86	有	28.68	0.46	0.47
图 f	223.00	3.77e+003	0.1322	0.43	有	7.47	0.51	0.49



图 a

图 b

图 c

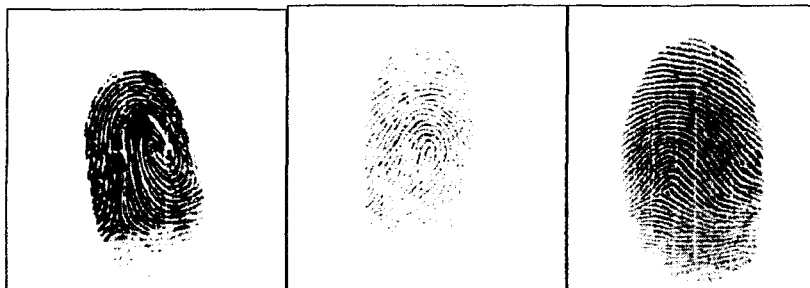


图 d

图 e

图 f

图 1 指纹图像

DB1\_B 中 80 幅指纹图像进行测试的结果证明,该算法可以有效、快速地确定指纹图像的质量,其质量评测的准确性可以达到 95% 以上,具有一定的准确性。

### 参考文献:

- [1] Jain A K, Hong L, Pankanti S. Biometrics Identification[J]. Comm. ACM, 2002(2): 91-98.
- [2] Ling Hong, Wan Yifei, Jain A K. Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8): 777-789.
- [3] 林国清. 指纹识别中的图像处理研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2003.
- [4] 曾京文, 汪庆宝, 胡 健. 指纹自动识别中心的搜索和特征分块抽取方法[J]. 北京工业大学学报, 1996, 22(4): 115-121.
- [5] 谭台哲, 宁新宝, 尹义龙, 等. 一种指纹图像奇异点检测的方法[J]. 软件学报, 2003, 14(6): 1082-1088.
- [6] Srinivasan V S, Murthy N N. Detection of singular points in fingerprint images[J]. Pattern Recognition, 1992, 25(2): 139-153.
- [7] 沈 伟, 陈 霞. 指纹图像奇异点提取的一种鲁棒方法[J]. 计算机工程, 2003, 29(2): 45-48.
- [8] 田 捷, 杨 鑫. 生物特征识别技术理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

(上接第 124 页)

- trian Conf. on AI. Heidelberg: Springer - Verlag, 2001: 396-408.
- [10] Sure Y, Angele J, Erdmann M, et al. OntoEdit: Collaborative ontology engineering for the semantic Web[C]//In: Horrocks I, Hendler J A. Proc. of the ISWC 2002. Heidelberg: Springer - Verlag, 2002: 221-235.
- [11] Bozsak E, Ehrig M, Handschuh S, et al. KAON - Towards a large scale semantic web[C]//In: Bauknecht K, Mintjoa A, Quirchmayr G. Proc. of the 3rd Int'l Conf. on E-Commerce and Web Technologies. Heidelberg: Springer - Verlag, 2002: 304-313.
- [12] 孙 瑾. 本体编辑工具的分析与研究—Protégé2000 对中文本体编辑的适用性探析[J]. 图书情报工作, 2006, 50(12): 26-29.
- [13] 范 轶, 牟冬梅. 本体构建工具 Protégé 和 KAON 的比较研究[J]. 现代图书情报技术, 2007(8): 19-21.
- [14] 杜文华, 董 慧. 本体建设工具比较研究[J]. 情报杂志, 2005(2): 5-7.
- [15] 陶 皖, 廖述梅. 当前本体编辑工具的分析与研究[J]. 计算机工程与设计, 2005(3): 761-763.
- [16] 李 景. 主要本体构建工具比较研究\_上[J]. 情报理论与实践, 2006(1): 109-111.
- [17] 李 景. 主要本体构建工具比较研究\_下[J]. 情报理论与实践, 2006(2): 222-226.
- [18] Noy N F, Musen M. PROMPT: Algorithm and tool for automated ontology merging and alignment[C]//In: Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI2000). Austin, Texas, USA: [s. n. ], 2000.