

文章编号:1672-3961(2010)05-0154-05

# 基于方向场信息的指纹图像质量评测

李铁军,刘倩,张宇

(山东大学计算机科学与技术学院, 山东 济南 250101)

**摘要:** 指纹图像的质量严重影响指纹识别系统的性能, 指纹图像质量评测在指纹识别系统中的指纹分割、匹配等环节有重要应用, 对指纹识别算法的研究具有重要意义。利用指纹图像的方向场信息, 提出了一种基于指纹方向场信息连续性的指纹图像质量评测方法, 评测结果将指纹图像分成质量较好和较差两类。该评测方法对于指纹图像的每个分块, 分别计算原始方向场信息和低通滤波平滑后的方向场信息, 根据统计的整幅图像低通滤波平滑前后原始方向场的变化率, 评测指纹图像的质量。实验结果表明该方法能够较为有效地提高低质量指纹图像质量评测的正确率。

**关键词:** 指纹图像质量; 质量评测; 方向场连续性; 低通滤波; 变化率

**中图分类号:** TP391.4      **文献标志码:** A

## Quality evaluation for fingerprint image based on the orientation field

LI Tie-jun, LIU Qian, ZHANG Yu

(School of Computer Science and Technology, Shandong University, Jinan 250101, China)

**Abstract:** Fingerprint image quality seriously affects the performance of the fingerprint identification system, and quality evaluation for fingerprint image has important applications in the fingerprint identification system such as the fingerprint segmentation and matching, and is also of great significance on the research of a fingerprint recognition algorithm. Using fingerprint image orientation field information, a quality evaluation method for fingerprint image based on the continuity of the orientation field information was presented. For each fingerprint image sub-block, the original orientation field information and the new orientation field information smoothed through Low-pass filtering were calculated in this method, and the quality of the fingerprint image was evaluated based on the statistics of the rate of orientation change after Low-pass filtering. Experimental results showed that the method proposed can more effectively improve the quality classification accuracy on the fingerprint image with low quality.

**Key words:** fingerprint image quality; quality evaluation; continuity of orientation field; low-pass filtering; the change rate

## 0 引言

基于指纹的独特性和可靠性, 指纹识别已成为最流行的生物特征识别技术之一, 不仅应用于在线识别系统, 还广泛应用于法医调查、访问控制等<sup>[1]</sup>。指纹图像质量严重影响指纹识别系统的性能, 指纹图像的质量评测在指纹识别系统中的指纹分割、匹配等环节有重要应用。指纹图像质量通常被定义为

对脊谷结构的清晰度以及用于识别的指纹特征如细节点、奇异点等的提取难易度的一种度量<sup>[2]</sup>, 质量较好的指纹图像往往方向性好, 脊谷结构清晰, 脊线谷线平滑连续。在指纹获取过程中, 指纹质量受诸多因素的影响<sup>[3-4]</sup>, 如指纹采集设备自身因素(参数设置不当、设备电路噪声等)、被采集者指纹本身情况(干湿程度、污垢、损伤等)以及手指与采集器的接触位置、按压力度等, 这些条件的存在, 通常造成相当比例的指纹图像质量较差。由于目前主流的指

收稿日期: 2010-04-02

作者简介: 李铁军(1970-), 男, 山东济南人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为图像处理、机器人技术. E-mail: litiejun@sdu.edu.cn

纹匹配算法,如基于细节节点的匹配算法等的性能在很大程度上依赖指纹质量,因此指纹图像质量评测对于研究指纹识别算法以及提高指纹识别系统的性能具有重要意义。

分析现有的指纹图像质量评测方法,大致可以归结为三类<sup>[4]</sup>:基于分块指纹图像的质量评测、基于整幅指纹图像的质量评测以及基于分类的质量评测。指纹质量指标被用来评价指纹图像的质量,不同的指标反映了指纹图像在不同方面的质量好坏情况(如脊线和谷线清晰度、方向一致性等)<sup>[5]</sup>。文献中常用的质量指标有:(1)方向区域面积比<sup>[6-8]</sup>;(2)均值方差<sup>[3-10]</sup>;(3)加博特征偏差值<sup>[3,11]</sup>;(4)方向对比度<sup>[3,12-13]</sup>;(5)方向一致性<sup>[10]</sup>等。指纹方向场描述了指纹的方向信息,根据方向场信息的特征,实际的方向场具有较强的局部方向连续性。但当指纹质量较差时,会有较大的噪声,提取出的方向场信息会有较大的误差,其局部方向连续性会大大降低。针对这一特性,利用方向场信息的局部方向连续性作为质量指标,提出了基于方向场信息连续性的分块指纹图像质量评测方法。

## 1 基于方向场信息的指纹质量评测

### 1.1 算法过程描述

首先,对分块之后的指纹图像提取原始方向场信息,并将方向场信息划分到8个不同的方向范围;其次,利用低通滤波器对原始方向场信息进行平滑,得到局部方向一致性较强的方向场,再将新的方向场信息重新划分到上述方向范围;最后,根据整幅图像平滑前后方向场信息的变化率进行质量评测,将指纹图像分为质量较好和质量较差两类。

(1) 采用文献[14]中基于梯度的方向场估计方法,具体步骤如下:

(a) 将输入指纹图像划分成尺寸为  $w \times w$  的块;

(b) 计算每一块中每一像素  $x$  方向和  $y$  方向的梯度:

将原始指纹图像与索贝尔算子(Sobel operator, Sobel 算子)进行卷积,求出一阶偏导;

(c) 估计每一图像分块  $(i, j)$  的方向:

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v), \quad (1)$$

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)), \quad (2)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \right). \quad (3)$$

式中,  $\partial_x(i, j)$ 、 $\partial_y(i, j)$  分别为点  $(i, j)$  的  $x$ 、 $y$  向一阶偏导;

$\theta(i, j)$  的范围在  $\left(-\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4}\right)$  之间,为满足后续算法的需要,将所求角度调整至  $(0, \pi)$  之间,调整步骤如下:

若  $V_x(i, j) = 0, V_y(i, j) > 0$ , 则  $\theta(i, j) = \frac{\pi}{4}$ ;

若  $V_x(i, j) = 0, V_y(i, j) < 0$ , 则  $\theta(i, j) = \frac{3\pi}{4}$ ;

若  $V_x(i, j) > 0$ , 表明该块的纹线方向为  $\left(0, \frac{\pi}{4}\right)$  或  $\left(\frac{3\pi}{4}, \pi\right)$  之间, 则  $\theta(i, j) = \theta(i, j) + \frac{\pi}{2}$ ;

若  $V_x(i, j) < 0, V_y(i, j) > 0$ , 表明该块的纹线方向为  $\left(\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}\right)$  之间, 则  $\theta(i, j) = \theta(i, j) + \pi$ ;

若  $V_x(i, j) < 0, V_y(i, j) \leq 0$ , 表明该块的纹线方向为  $\left(\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}\right)$  之间, 则  $\theta(i, j) = \theta(i, j)$ ;

(d) 将调整后的整幅图像的方向场信息划分到8个方向范围,每个分块的方向场方向必属于其中一个方向范围。指纹图像方向场信息的角度范围为  $(0, \pi)$ , 将此范围平均分为8块,并将整幅图像每个分块的方向场信息对应到8个方向范围之一。

(2) 对方向场进行平滑,得到局部方向一致性较强的方向场信息,并将新的方向场信息重新划分到上述8个方向范围。将估计的方向场用2维低通滤波器进行平滑,滤波器描述如下:

$$\phi(i, j) = \sum_{u=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} \sum_{v=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} h(u, v)\theta(i-uw, j-vw), \quad (4)$$

式中,  $h$  为二维低通滤波器元件,  $w_\phi \times w_\phi$  是滤波器尺寸, 缺省大小为  $5 \times 5$ , 且该平滑操作基于块水平进行。平滑之后,将新的方向场信息重新划分到上述8个方向范围。

(3) 计算整幅图像平滑前后原始方向场的变化率。若指纹图像某一块的方向场信息经低通滤波平滑后,块方向范围由  $i$  变为  $j$  ( $0 \leq i \leq 7, 0 \leq j \leq 7, i \neq j$ , 其中  $i, j$  分别代表划分的8个块方向范围之一), 则认为平滑前后该块的方向场信息发生了改变。统计整幅图像平滑前后原始方向场发生改变的块数,并计算所占整幅图像前景区所有分块的比例,即为整幅图像平滑前后原始方向场的变化率。

(4) 根据质量评测指标经验阈值,进行指纹质

量评测。当某指纹图像平滑前后整幅图像方向场信息的变化率大于此阈值时,说明指纹图像在平滑前后发生方向场信息改变的块数较多,指纹质量较差,因此将该指纹评测为质量较差指纹,否则评测该指纹属于质量较好指纹。

## 1.2 算法有效性分析

指纹方向场描述了指纹的方向信息,根据方向场信息的特征,实际的方向场具有较强的局部方向连续性。当指纹质量较差时,会有较大的噪声,提取出的方向场信息会有较大的误差,其局部方向连续性会大大降低。使用基于梯度方法计算原始方向场信息,并通过低通滤波对原始方向场信息进行平滑,根据整幅图像平滑前后方向场信息的变化率,衡量方向场信息的连续性。整幅图像平滑前后方向场信息的变化率越大,说明指纹方向场信息的连续性越差,指纹图像质量越差。由于方向场的平滑利用周围信息来做调整,因此平滑前后,指纹图像每块的方向场信息均会发生不同程度的改变。因此,为有效统计整幅图像平滑前后方向场信息的变化率,当某块图像平滑前后方向场信息改变超过一定限度时,才视该块方向场信息发生了改变。具体实现时,将方向场信息 $(0, \pi)$ 划分为8个方向范围,当平滑前后该块的方向场信息由第*i*个方向范围变为第*j*个方向范围时( $0 \leq i \leq 7, 0 \leq j \leq 7, i \neq j$ ,其中*i, j*分别代表8个块方向范围之一),则视该块的方向场信息发生了改变。由以上分析可知,无论指纹质量好坏,平滑后指纹图像每块的方向场信息均会发生改变,

但对于质量较好和较差指纹的影响幅度有所不同。对于质量较好的指纹,不会改变每块所属的八方向范围,相应的方向信息发生改变的块的数目较少,因此整幅图像平滑前后方向场信息的变化率较小。但对于质量较差的指纹,由于噪声等的存在,基于梯度方法估计的错误的原始方向场信息较多,因此平滑后相应块的方向场信息角度的改变较大(往往会改变块所属的8方向范围),则整幅图像平滑前后方向信息发生改变的块数较多,导致平滑前后整幅图像方向场信息的变化率较大。通过以上分析可知,整幅图像平滑前后方向场信息的变化率在不同质量的指纹图像间具有一定的区分性,可有效进行指纹质量评测,利用这一特征将指纹图像质量分为较好和较差两类。该质量评测方法简单快速,能较为有效的提高指纹质量评测结果。

为说明整幅图像平滑前后方向场信息在不同质量指纹图像间的不同变化情况,图2展现平滑前后方向场信息的对比图。其中,图1(a),图1(b)为质量较好的指纹平滑前后的方向场图像,由这两幅图可以看出,方向场改变的块数目较少;图1(c)至图1(h)为不同原因造成的低质量指纹(图1(c),1(d)为由于疤痕造成的低质量指纹图像,图1(e),1(f)为干燥的低质量指纹图像,图1(g),1(h)为湿度较大的低质量指纹图像),由这6幅图像可以看出,由于指纹图像质量整体较差,造成平滑之后方向信息发生变化的块数较多。

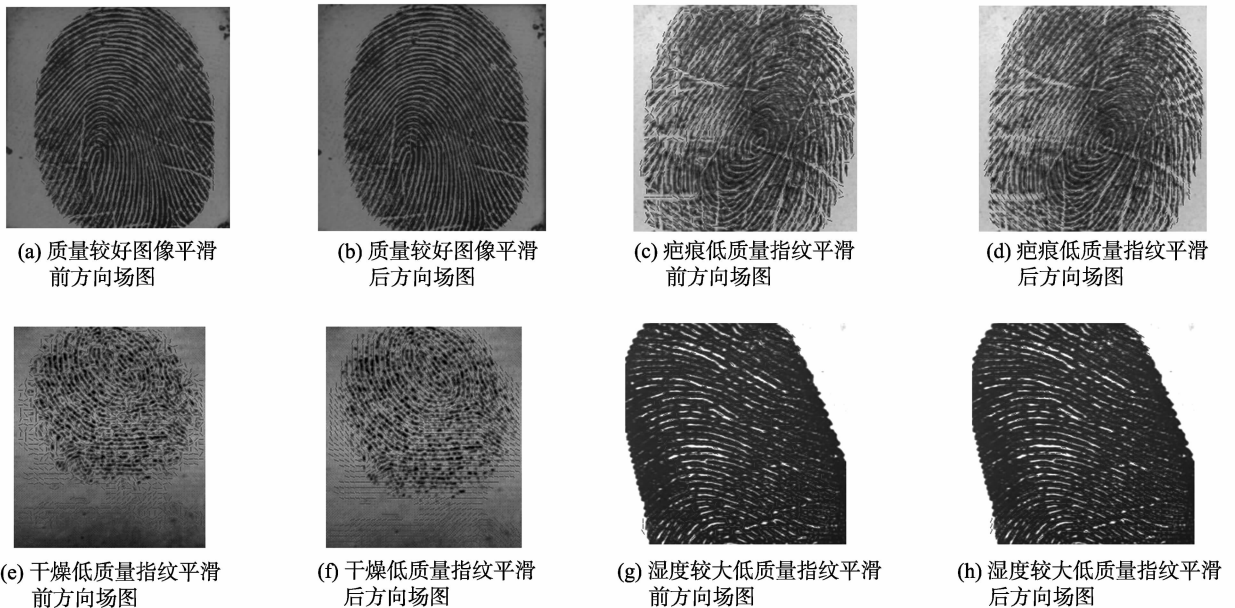


图1 不同质量指纹平滑前后方向场信息对比图

Fig. 1 The orientation field information comparison chart before and after smoothing of fingerprints of different quality

## 2 实验结果及分析

实验使用 200 幅指纹图像,质量评测结果将指纹图像分为质量较好和质量较差两类。建库时采用人工主观判断的方案进行指纹选择,其中,质量较好的指纹数为 125 幅,质量较差的 75 幅。实验分为两部分:实验一展示了本文方法提出的质量评测指标在建立的指纹库中不同质量指纹图像上的可区分性;实验二对本文方法与文献[5]中的两种指纹图像质量评测方法(基于支持向量机(support vector machine, SVM)的质量评测方法和采用了合成少数类过采样算法(synthetic minority over-sampling technique, SMOTE)算法的改进的基于 SVM 的质量评测方法)在库中指纹图像上的质量评测正确率进行对比,并对实验结果进行分析。

实验一的实验过程设计如下:

**步骤 1** 对指纹图像进行分割,并标记出前景块;

**步骤 2** 基于梯度方法计算指纹图像中每个前景块的原始方向信息,并将原始方向信息划分到 8 个方向范围;

**步骤 3** 使用低通滤波器对原始方向场进行平滑,并将新的方向信息划分到 8 个方向范围;

**步骤 4** 对比平滑前后的方向场信息,统计整幅图像原始方向场改变的块的数目;

**步骤 5** 计算整幅图像平滑前后方向场信息的变化率;

**步骤 6** 根据阈值对指纹图像的质量进行标记(本实验以 15% 作为经验阈值)。

表 1 为部分指纹图像方向场改变的块数目与前景块数目的比值及整幅图像平滑前后方向场信息的变化率。质量评测规则如下:当整幅图像平滑前后方向场信息的变化率大于等于 15% 时,则指纹被评测为质量较差的指纹,否则被评测为质量较好指纹。

实验二,3 种指纹图像质量评测方法在实验库上的评测正确率。

表 2 为 3 种质量评测方法的正确率对比,表格第 1 列为本文提出的方法,第 2、3 列为选择的对比方法。

由实验二结果可以看出,基于方向场信息的指纹图像质量评测方法对于质量较好的指纹图像质量评测正确率较低,低于选择的两种对比方法,但对于质量较差的指纹图像质量评测正确率高于其他两种方法。分析原因如下:由于模式区的存在,平滑后模

表 1 部分指纹图像方向场改变的块数目与前景块数目的比值及变化率  
Table 1 The ratio and change rate of number of direction changed blocks and number of foreground blocks of some fingerprint images

序号	质量好的图像的改变率/%	质量差的图像的变化率/%
1	13.4	34.4
2	11.0	40.6
3	13.2	22.5
4	12.7	13.8
5	10.8	18.9
6	13.9	29.6
7	12.4	18.6
8	12.4	20.2
9	8.0	25.0
10	17.2	12.2
11	10.6	15.1
12	16.3	27.0
13	16.7	17.8
14	19.0	46.0
15	13.1	45.7
16	13.5	48.7
17	15.4	51.6
18	19.9	45.5
19	15.9	40.2
20	13.6	35.5

式区内各块的方向会发生较大变化,改变了模式区内各块所属的 8 方向范围,因此增加了整幅图像块方向变化的块数。对于质量较好的指纹,这意味着整幅图像平滑前后方向场信息的变化率增大,因此增加了质量好的指纹被分为质量差指纹的风险;但对于质量较差的指纹,模式区的存在则对这些指纹的评测为质量较差的指纹做出了贡献。因此,模式区的存在,在一定程度上会降低质量较好指纹评测的正确率,提高质量较差指纹的评测正确率。然而,在实际处理指纹质量评测问题(是属于质量较好指纹还是质量较差指纹)的过程中,我们更关心质量较差的图像能否被正确评测,因此基于方向场信息的指纹图像质量评测方法的正确率符合指纹图像质量评测的要求,能够有效地对指纹图像进行评测。

表 2 各质量评测方法的正确率  
Table 2 The correctness of different quality evaluation methods

图像质量	基于方向场信息的质量评测方法/%	基于 SVM 的质量评测方法 <sup>[5]</sup> /%	SMOTE + SVM 质量评测方法 <sup>[5]</sup> /%
质量较好	70.0	92.5	90.0
质量较差	93.0	80.0	91.7
总正确率	83.3	87.1	90.7

同时,实验中发现不同原因的低质量指纹图像方向改变的情况有所不同。疤痕图像的方向场信息只在疤痕处改变较多,整幅图像平滑前后方向场信息的变化率约在20%~40%;干湿等整体较差的指纹图像的方向场信息全局改变较多,变化率多在40%以上。例如,图2所显示的两幅图片,图2(a)为疤痕造成的低质量,其变化率为34.4%;图2(b)为干燥造成的低质量,其变化率较高,为51.4%。因此,可以通过整幅图像平滑前后方向场信息的变化率大小对质量较差的指纹进行粗略的进一步划分。



(a) 疤痕低质量指纹

(b) 干燥低质量指纹

平滑前后方向场变化率: 34.4%    平滑前后方向场变化率: 51.4%

图2 不同原因造成的低质量指纹图像平滑前后方向场信息的变化率

Fig. 2 The direction change rate of low quality fingerprints due to different causes after smoothing

### 3 结束语

通过分析不同质量指纹图像平滑前后方向场的变化情况,提出以整幅图像平滑前后方向场信息的变化率作为质量评价指标的基于分块的指纹质量评测算法。使用基于梯度方法计算原始方向场信息,并通过低通滤波对原始方向场信息进行平滑,根据整幅图像平滑前后方向场信息的变化率,衡量方向场信息的连续性。整幅图像平滑前后方向场信息的变化率越大,说明指纹方向场信息的连续性越差,指纹质量也就越差。由实验结果可知,该方法能有效提高低质量指纹图像的评测结果。另外,指纹图像的方向场信息在指纹识别系统中多次用到,不需要进行额外的指纹特征提取算法,因此该方法具有速度快,计算量小等优势。

通过实验结果的分析发现,模式区的存在会对质量评测产生一定的影响,因此该方法存在较大改进空间。由图1(a)、图1(b)两幅图像可以看出,即使指纹图像质量较好,由于模式区本身方向变化比较剧烈,平滑之后原本正确的方向信息也会改变,因此在一定程度上增大了方向场变化率,降低了质量较好的指纹图像的质量评测结果。因此,如果能对

指纹模式区单独处理,所得实验结果会更符合实际情况。此外,不同原因的低质量指纹图像平滑前后方向场改变的情况存在较大差别:例如,疤痕图像平滑前后方向场信息只在疤痕处改变较多,干湿等整体较差的指纹图像则全局改变较多,为此可以考虑使用模板计算局部块的方向一致性,对造成低指纹图像质量的原因定性地进一步细分。

### 参考文献:

- [1] JAIN A K, ROSS A, PRABHAKAR S. An introduction to biometric recognition[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Tech, 2004, 14(1):4-20.
- [2] CHEN Y, DASS S, JAIN A K. Fingerprint quality indices for predicting authentication performance[C]// Proceedings of Audio-and Video-based Biometric Person Authentication. Heidelberg, Germany: Springer, 2005:160-170.
- [3] TABASSI E, WILSON C L. A novel measure of fingerprint image quality using fourier spectrum[C]// Proceedings of SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2005: 105-112.
- [4] ALONSO-FEMANDEZ F, FIERREZ-AGUILAR J, ORTEGA-GARCIA J, et al. A comparative study of fingerprint image-quality estimation methods[J]. IEEE Trans on Information Forensics and Security, 2007, 2(4):734-743.
- [5] 张宇,尹义龙,骆功庆,基于支持向量机的指纹图像质量分类方法[J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22(1): 130-135.  
ZHANG Yu, YIN Yilong, LUO Gongqing. Quality classification method for fingerprint Image based on support vector machine[J]. PR&AI, 2009, 22(1):130-135.
- [6] BOLLE R M, PANKANTI S U, YAO Y S. System and method for determining the quality of fingerprint images; United State, US596356 [P]. 1999-10-05.
- [7] ALONSO-FEMANDEZ F, FIERREZ-AGUILAR J, ORTEGA-GARCIA J. A review of schemes for fingerprint image quality computation [C]// Proceedings of 2nd COST-275 Workshop on Biometrics on the Internet. Vigo, Spain: COST, 2005: 3-6.
- [8] LIU L H, TAN T Z, ZHAN Y W. Based on SVM automatic measures of fingerprint image quality [C]// Proceedings of the 2008 IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application. [S. l.]: IEEE Computer Society Press, 2008: 575-578.
- [9] YUN E K, CHO S B. Adaptive fingerprint image enhancement with fingerprint image quality analysis [J]. Image and Vision Computing, 2006, 24: 101-110.
- [10] ZHAN X S, MENG X X, YIN Y L, et al. A method combined on multi-level factors for fingerprint Image

- quality estimation [C]// Proceedings of IEEE Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. [S. l.]: IEEE Computer Society Press, 2008: 31-36.
- [11] SHEN L L, KOT A, KOO W M. Quality measures of fingerprint images [C]// Proceedings of the Third International Conference on Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication. Halmstad, Sweden: Springer-Verlag, 2001: 182-271.
- [12] KANG H, LEE B, KIM H, et al. A study on performance evaluation of fingerprint sensors [C]// Proceedings of the 4th International Conference on Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication. Guildford, UK: Springer, 2003: 574-583.
- [13] CANDELA G T, GROTHOR P J, WATSON P J, et al. Pcasys-a pattern level classification automation system for fingerprints [R]. Washington: Technical Report NISTIR 5647, 1995.
- [14] RAO A R. A taxonomy for texture description and identification [M]. New York: Springer-Verlag, 1990.

(编辑:陈燕)