

文章编号: 1000-582X(2012)11-092-07

指纹图像质量的自动评定

杨永明¹, 张祖洸¹, 韩凤玲², 林坤明¹, 孙 豪³

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044; 2. 澳大利亚皇家墨尔本理工大学 计算机科学与信息学院, 澳大利亚墨尔本 3001; 3 南方电网超高压输电公司安宁局, 云南 650300)

摘 要: 针对指纹图像质量差而导致指纹识别系统识别成功率低下的问题, 提出一种基于多影响因子的指纹图像质量自动评定方法。以原始指纹图像的局部纹理、全局纹理、可利用面积大小和干湿状况作为影响因子, 先以梯度相关性计算局部纹理质量分数, 再以分块思想分别计算出后三者的质量分数。然后, 以不同的影响权值将上述 4 个影响因子联系起来, 综合评定指纹质量。最后调节部分影响因子的影响作用, 修正综合评定结果。采用 FVC2004DB2_B 中图像进行算法验证, 实验结果表明: 能合理有效地将指纹图像质量评定为 5 个等级, 而且正确率可达到 97.5%, 能有效提高指纹识别系统的识别成功率。

关键词: 指纹识别系统; 图像处理; 图像质量; 影响因子; 指纹纹理

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

Automatic quality assessment of fingerprint image

YANG Yongming¹, ZHANG Zulong¹, HAN Fengling², LIN Kunming¹, SUN Hao³

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. School of Computer Science and I T, RMIT University, Melbourne VIC 3001, Australia; 3. Anning Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Anning, Yunnan 650300, China)

Abstract: Based on multiple influencing factors, a new method of automatic fingerprint image quality evaluation is proposed for improving the success rate of automation fingerprint identification system (AFIS). At first, the original image's local texture, global texture, available size and dry or wet condition are regarded as quality impact factors, local texture quality score is calculated by local gradient correlation, and then the last three factors' quality scores are obtained by block computation thought. Then, with different influence weights, the above four impact factors are linked together to assess image quality synthetically. Finally, effect of partial impact factor is adjusted to correct the final quality score. FVC2004DB2_B is used for algorithm testing. The results suggest that this method can reasonably classify fingerprint image into 5 grades and the precision can achieve 97.5%, and that shows the method is helpful to success rate of AFIS.

Key words: AFIS; image processing; image quality; impact factor; fingerprint texture

收稿日期: 2012-07-15

基金项目: 国家重点实验室访问学者基金资助项目(2007DA10512709403); 中央高校基本科研业务费资助项目(CDJXS11150014)

作者简介: 杨永明(1958-), 女, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事电气设备状态的在线监测与智能信息处理的研究, (Tel)023-65106977; (E-mail) yangyym@cqu.edu.cn.

随着信息科技的发展,自动指纹识别系统(Automatic fingerprint identification system, AFIS)在身份认证方面得到了广泛的应用。对于 AFIS,由于采集环境和手指状况不同,加上传感器自身原因,采集到的原始指纹图像中有一部分质量较低(如图像过湿、过干、粘连等),若不能合理地筛选出质量较低的图像,在后续的图像处理过程中会增加伪特征或减少真特征,最终导致系统识别成功率低下^[1-4]。若能在图像采集传感器中加入质量评定程序,对质量较差的图像要求重新采集,则能有效地解决上述缺陷。

由于图像质量评价和分类有很重要的研究价值和应用价值,国内外已有大量相关文献致力于此领域的研究,根据评价方法的依据不同,大致可分为以下 3 类^[5]:1)使用指纹图像局部信息的方法^[6-9],此类方法通常将指纹图像分为若干子块,以相应的处理方法得出子块的质量信息,如 Zhu 等人^[9]将局部图像的灰度期望、方差等信息输入 BPNN,计算出局部块图像的质量。2)使用指纹全局信息的方法^[10-12],关于此类方法的文献不多,此类方法一般做一些简单的分类或者将全局信息作为整体质量评定中的一个影响因子。3)使用多影响因子相结合的方法^[13-16],此类方法通常将指纹局部信息、全局信息以及其他信息作为图像质量影响因子,综合全部影响因子评定图像质量,如任群等人^[14]通过边缘高细节点得出全局质量信息,然后结合图像大小、干湿程度、偏移程度等方面的信息对指纹图像进行综合评定。

在前人研究基础之上,笔者提出基于多影响因子的指纹图像质量自动评定新方法。首先,引入梯度相关性衡量图像局部质量;其次,给出归域化的定义,对方向场归域化并以此衡量图像全局质量;再次,定义图像可利用大小并计算其质量分数以及干湿质量分数;最后,引入影响权值,计算图像综合质量分数并调整。实验结果表明该方法是有效可行的。

1 指纹图像的预处理

为了提高算法的效率,首先对指纹灰度图像预处理,预处理的主要内容是将前景图像从背景中分离出来。以图 1(a)为例,预处理的具体方法如下:首先,通过边缘检测得到指纹纹理的边缘图像,如图 1(b),此操作很清晰地将图像前景、背景分离出来。其次,将边缘图像分为 $w \times w$ 的块,以块中包含边缘点的数目 S 判断该块是否属于背景,也即是以 T 为

判断阈值,当 $S < T$ 时,该块图像属于背景,反之,该块图像则属于前景。笔者将此处 w 取值为 20, T 取值为 36(w, T 是根据图像最佳切割效果而选定的经验值),预处理后的指纹灰度图像如图 1(c)所示。

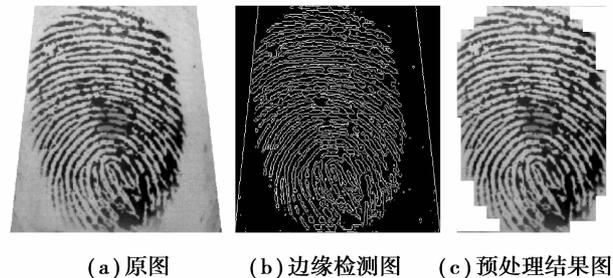


图 1 预处理过程

2 指纹图像的质量检测

2.1 局部纹理清晰度的检测

指纹图像局部纹理清晰度与其局部梯度相关性有密切的关系。从理论上讲,对于存在噪声或被污染的图像区域,其梯度相关性较差,方向场可靠性也较低;而对于图像质量较好的区域,其梯度相关性较好,方向场可靠性也较高。因此,可通过梯度的相关性检测局部纹理的清晰度,计算公式^[17]如下:

$$r_{ij} = \frac{\left| \sum_w (G_{i,x}, G_{j,y}) \right|}{\sum_w |(G_{i,x}, G_{j,y})|} = \frac{\sqrt{(G_{xx} - G_{yy})^2 + 4G_{xy}^2}}{G_{xx} + G_{yy}}, \quad (1)$$

式中: $(G_{i,x}, G_{j,y})$ 为块梯度; (G_x, G_y) 代表图像的局部梯度,且有 $G_{xx} = \sum_w G_x^2, G_{yy} = \sum_w G_y^2, G_{xy} = \sum_w G_x \cdot G_y$ 。

前人通常以块质量衡量局部信息^[6-9],为提高精度,笔者以像素点代替块,具体检测过程如下:

1)使用 Sobel 梯度算子计算指纹图像中每一点 X, Y 方向的梯度 ∂_x 和 ∂_y ,从而获得图像梯度场。

2)将步骤 1)所得梯度场划分为互不重叠大小为 $w \times w$ 的块,由式(1)计算出每块的梯度相关性,如图 2(b)所示。由图易见,图中灰暗的区域为纹理质量较差区域,明亮区域为纹理质量较好区域,此现象与上述理论分析较吻合。参考文献^[17],笔者实验中此处 w 取值为 11。

3)由梯度相关性图计算图像局部纹理清晰度的质量分数。根据灰度阈值 TH 判断梯度相关性图中每个像素点是否为质量较好区域的点或无关点(未去除干净的背景区域),并将梯度相关性图中的像素

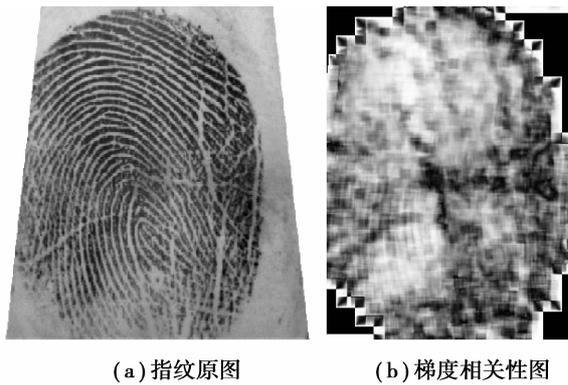


图 2 梯度相关性图

点分为两个集合：

$$\begin{aligned}
 bpset &= \{p \mid p < TH \& \& p \geq 0\}, \\
 gpset &= \{p \mid p \geq TH \& \& p < 0.99\}.
 \end{aligned}$$

集合 $bpset$ 、 $gpset$ 分别为质量较差和较好区域点的集合,其元素个数分别记作 bp 、 gp 。由 bp 、 gp 可计算出图像局部质量分数,公式如下：

$$ls = gp / (gp + bp) - \alpha, \quad (2)$$

其中 ls 为图像局部纹理清晰度的质量分数。因对于各种类型的指纹图像,阈值判断不可能总是正确的,加上奇异点周围区域局部梯度场连续性差,总被判定为质量较差区域,故 ls 会有一定的偏差。式中修正系数解决了上述偏差问题,修正后的局部质量分数 ls 更符合人类视觉评定结果,笔者实验中 TH 取经验值为 0.43。

2.2 全局纹理清晰度的检测

在具体叙述本节之前,首先给出一组相关定义：

定义 1 (同质区域^[18]) 将指纹图像中点 (x, y) 处的方向记为 $O(x, y)$, 则同质区域 $\Omega(\alpha, \beta)$ 即为所有满足 $\alpha \leq O(x, y) < \beta$ ($0 \leq \alpha, \beta \leq \pi$) 点的集合。

定义 2 (归域化) 将指纹图像方向场归域化为若干个同质区域的过程。

指纹图像的方向场代表了指纹纹理走向的本质特性,全局纹理清晰度的检测是基于方向场实现的。笔者方向场的计算基于梯度场实现,利用笔者 2.1 节梯度相关性计算中步骤 1) 所得的 $\partial_x(i, j)$ 和 $\partial_y(i, j)$, 通过公式(3)、(4)、(5)即可计算出图像方向场,公式^[4]如下：

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-w}^{i+w} \sum_{v=j-w}^{j+w} (2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v)), \quad (3)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-w}^{i+w} \sum_{v=j-w}^{j+w} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)), \quad (4)$$

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \arctan \frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)}, \quad (5)$$

式(3)、(4)中 w 取常数 8, 参考文献[4], 实验中其取值为 8。

将上述所得方向场归域化为 8 个同质区域, 即 $\Omega_{(0, \pi/8)}, \Omega_{(\pi/8, \pi/4)}, \Omega_{(\pi/4, 3\pi/8)}, \dots, \Omega_{(7\pi/8, \pi)}$, 如图 3 (b)、(d) 所示。由图 3 易见, 质量较好指纹图像的方向场归域化后的同质区域分布较为规律; 指纹图像质量较差的方向场归域化后的同质区域分布杂乱无章。从理论上分析, 其原因是: 质量较好的图像其纹理清晰度高, 其方向场计算准确性较高, 方向变化表现较为有序; 而质量较差的图像因受噪声、断痕等影响, 其纹理清晰度较差, 而且方向场计算较易出错, 因此其归域化后的方向场比较混乱。根据这一特性, 接下来检测全局纹理清晰度, 具体过程如下：

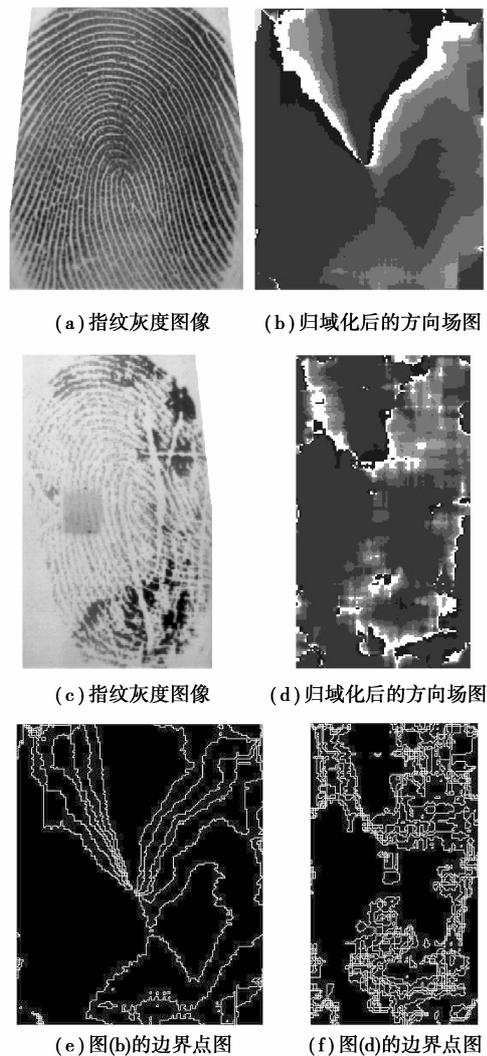


图 3 全局纹理质量检测过程图

1) 方向场归域化。方法较为简单, 即是同质区域中所有像素点的灰度值设为同一固定值。

2) 提取任意两同质区域之间的边界点, 将边界

点设为前景白点,除边界点外的所有点设为背景黑点,如图 3(e)、(f)所示。

3)将边界点图分为互不重叠大小为 $W \times W$ 的块,计算每块中边界点的数目。若边界点数目超过阈值 lim ,则该块被判定为质量较差的块,反之亦然。由于指纹纹理边界受背景影响,其方向场变换无规律,对全局质量分数会造成影响,故沿边界图四条边去除宽度为 W 个像素点的矩形以消除上述影响。笔者实验中 W 取值为 30,将每块中边界点数目赋值给块中每个像素点,以 256 级灰度图像显示,如图 4 所示。由图 4 易见,图中较亮的块为质量较差的区域,实验中的阈值 lim 取经验值为 115。

4)计算全局纹理清晰度质量分数。先计算出较差块的数目 bbv 以及全图总块数 tbv ,通过如下公式即可得出全局纹理清晰度质量分数:

$$as = (1 - bbv/tbv) \times 100. \quad (6)$$

2.3 其他影响因子质量检测

指纹图像质量的其他影响因子主要有图像的可利用大小和干湿状况。指纹图像过小将可能导致提取不到足够的细节点;指纹图像过干则脊线不够连续,将可能导致提取出较多的伪细节点;指纹图像过湿则嵴峪界线不清晰,甚至图像模糊漆黑,将可能导致提取不到真实的细节点。

指纹图像的大小通常是指图像前景区域的大小^[14],笔者将图像可利用大小定义为图像前景区域中可利用区域的大小,也即是去除前景区域中过干、过湿、断痕等质量较差区域所剩区域的大小,如图 5(b)所示。实验结果表明,本定义对图像大小质量的衡量更加准确。

指纹图像的过干和过湿通常是通过灰度均值和灰度方差来确定的。指纹图像的正常区域因指纹嵴峪交替出现,故其灰度均值在一定范围内,而且灰度方差较大。若某区域的灰度均值不在上述范围内,而且灰度方差小于某阈值,则说明此区域过干或过湿。假设指纹图像是 I ,宽度是 W ,高度是 H ,而 $I(i,j)$ 表示在第 i 行 j 列的灰度值,则指纹图像的灰度均值和灰度方差定义^[17]如下:

$$M(I) = \frac{1}{W \times H} \sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} I(i,j), \quad (7)$$

$$VAR(I) = \frac{1}{W \times H} \sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} (I(i,j) - M(I))^2. \quad (8)$$

前人以整幅图像的灰度均值和灰度方差衡量图像的干湿质量^[14],由于背景图像的影响,此方法所

得干湿质量不是十分准确。为了提高精度,本方法将图像分为较小的块,以块的灰度均值和方差衡量该块干湿质量,然后由块的个数信息得出图像大小质量,最后根据图像中每块的干湿质量衡量整幅图像的干湿质量。其具体步骤如下:

1)将给定指纹图像分为互不重叠大小为 $d_w \times d_w$ 的块,根据实验, d_w 取 10 较妥当。

2)使用公式(7)、(8)分别计算每一块的灰度均值 M_0 和灰度方差 N_0 。

3)设定阈值。为判断给定块为过干块还是过湿块,首先设定阈值 t_1, t_2, t_3, t_4 ,然后利用给定块 $block$ 的灰度均值 M_0 和灰度方差 N_0 进行判定。经过逐块的判定,全部指纹图像块分为以下两个集合:

①过湿图像块:

$$mgset = \{block \mid M_0 < t_3 \& \& N_0 < t_4 \mid M_0 < 50\}.$$

②过干图像块:

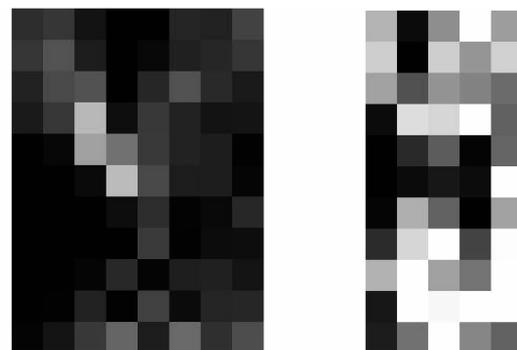
$$dgset = \{block \mid M_0 > t_1 \& \& N_0 < t_2\}.$$

在本文实验中 t_1, t_2, t_3, t_4 分别取经验值为 160、200、80、1 000。

4)计算图像大小质量分数。首先计算出上述集合 $mgset, dgset$ 的元素个数为 p, q ,其次计算出指纹图像块的总数目(暂设为 k),然后易得可利用图像块数目 $s = k - p - q$ 。由于预处理后的图像大小不再相同,数据库 FVC2004DB2_B 中图像预处理后前景面积最大值为 300×330 ,而本法以 $d_w \times d_w$ 的块衡量图像可利用大小(实验中 d_w 取 10),为方便对比,故本实验中统一给定一个图像大小基准 $base = 33 \times 32$ 。综上所述,易得图像大小质量分数 $sqs = s / base \times 100$ 。

5)计算图像干湿质量分数。利用步骤 4 中所求得的数据,易得图像干湿质量分数:

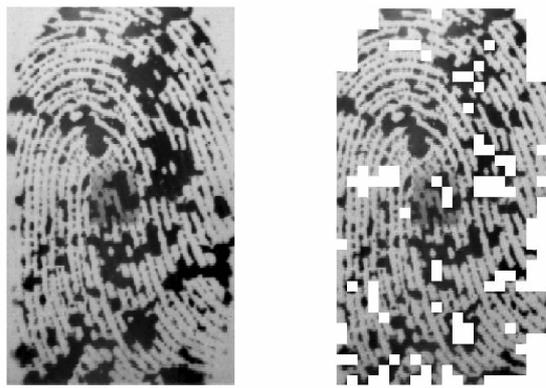
$$dmqs = s/k \times 100.$$



(a) 对应图3(a)

(b) 对应图3(c)

图 4 全局纹理质量图



(a) 原图

(b) 可利用区域大小

图 5 图像可利用大小

2.4 指纹图像质量综合评定

指纹图像质量通常以人的主观判决作为评价准则,局部纹理清晰度、全局纹理清晰度、图像大小和干湿状况是主观判决图像质量的主要影响因素。上述内容已经给出每种单一影响因子的质量分数。接着,以不同的影响权值将这些独立的质量分数联系起来即可得到图像质量的总体评定,如下式:

$$\text{totals} = \partial_1 \cdot ls + \partial_2 \cdot as + \partial_3 \cdot sqs + \partial_4 \cdot dmqs, \quad (9)$$

式中 $\partial_1, \partial_2, \partial_3, \partial_4$ 为影响权值; $ls, as, sqs, dmqs$ 分别为上述局部纹理清晰度质量分数、全局纹理清晰度质量分数、指纹图像大小质量分数、指纹图像干湿质量分数。经过多次实验结果与视觉评判结果对比,取 $\partial_1 = \partial_2 = \partial_3 = 0.2, \partial_4 = 0.4$ 。

由式(9)所得的综合质量分数不一定总是合理的,因为影响权值不可能对每幅图像都合适,故还需要对综合质量分数进行调整。调整可以从图像大小和干湿两方面入手,若是 sqs 小于阈值 y_1 , totals 减去固定值 b_1 , 若 sqs 小于更小阈值 y_2 , totals 再减去固定值 b_2 , 以此类推。图像干湿质量方面的调整亦是如此。试验结果表明:通过以上调整后,针对各种不同类型的指纹图像,综合质量分数更加合理。实验中 y_1, y_2, b_1, b_2 分别取经验值为 60、50、4、8。

3 实验结果及分析

笔者从指纹纹理清晰度、图像大小、干湿状况等角度出发,将指纹图像评定为极差、较差、一般、较好、优秀 5 个等级。采用 FVC2004DB2_B 中的图像进行验证,如图 6 所示,按百分制输出每幅图像的综合质量分数,分数分布在 36~94 之间,基本呈正态

分布,实验结果如表 1、表 2、表 3 所示。

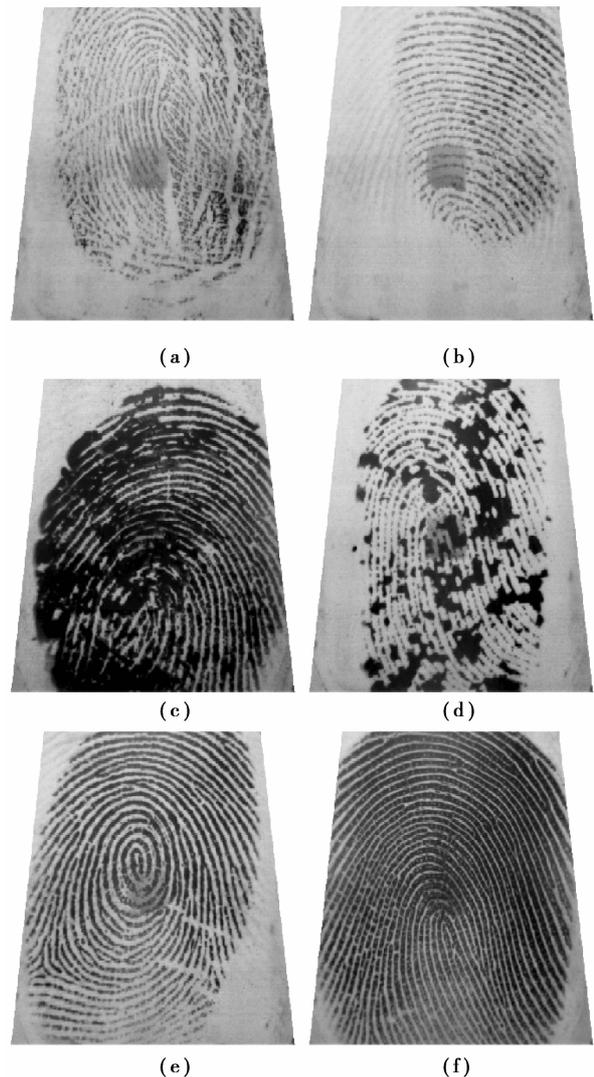


图 6 质量评定图例

指纹图像质量评定主要作用是在图像采集过程中给出正确的质量评价,以便选择质量较好图像作为模板,故准确的指纹图像质量评定对提高 AFIS 的识别成功率有很大的帮助。为检测本算法的性能,使用 Verifinger SDK 6.2^[19] 对实验图像进行识别匹配验证。FVC2004DB2_B 中采集有 10 个手指的图像,每个手指共 8 幅图像,在识别匹配验证实验中,将每一个手指的 8 幅图像作为一组,注册时选择每组图像中综合质量分数最高的作为存储模板,剩余的图像与模板进行识别匹配,可得到各自相应的匹配分数,被本算法评定为不合格图像(包括较差和极差两个等级的图像)的匹配分数如表 4 所示。经多次匹配实验对比,可将 650 作为合格匹配分数线,由此可得出本算法只对 FVC2004DB2_B 中 104_3 和 109_3(表 4 中序号为 4.3 和 9.3)两幅图像的评

定结果不准确,因此,本算法的准确率可达到 97.5%,将文献[7]、[15]中算法在本实验数据库中进行测试,然后与本算法对比,结果如表 5 所示。

表 1 图 6 中图像各项质量分数

序号	项目				
	可用大小	干湿质量	局部纹理	全局纹理	综合质量
图 6(a)	42	68	57	67	54
图 6(b)	32	84	75	80	65
图 6(c)	39	49	75	81	56
图 6(d)	50	80	51	35	49
图 6(e)	72	98	87	81	85
图 6(f)	89	99	91	95	94

表 2 图 6 中图像评定结果

序号	结果
图 6(a)	极差。可用区域少,污染严重,纹理混乱
图 6(b)	较差。可用区域少
图 6(c)	极差。可用区域少,图像过湿
图 6(d)	极差。可用区域少,污染严重,纹理混乱
图 6(e)	较好
图 6(f)	优秀

表 3 实验统计结果

质量等级	极差	较差	一般	较好	优秀
	<60	60~70	70~80	80~90	>90
图像数目(幅)	15	10	29	24	2

表 4 质量不合格图像的匹配分数

序号	分数	序号	分数	序号	分数
2.5	339	6.7	420	8.6	176
2.7	603	6.8	0	8.8	0
2.8	390	7.1	159	9.2	435
3.4	153	7.3	0	9.3	884
4.3	848	7.4	0	9.8	126
4.8	320	7.5	0	10.2	639
5.2	180	7.6	201	10.7	0
5.7	525	7.7	0		
5.8	351	7.8	143		

注:分数为 0 表示匹配不成功或提取不到足够的细节点。

表 5 笔者算法与其他算法对比

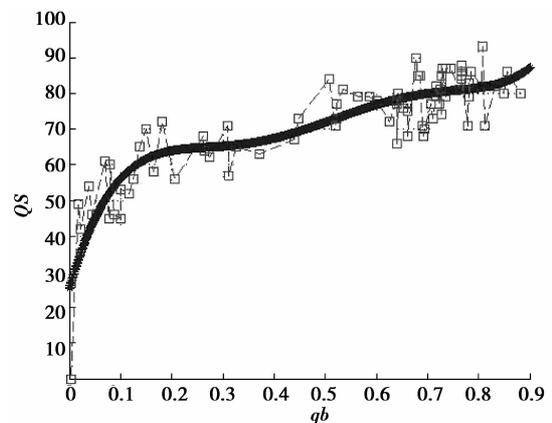
算法	本文	文献[7]	文献[15]
准确率	97.5%	95%	94.8%

为进一步检测笔者算法,参考文献[12]中方法,使用特征点正确率和前景有效区域大小之积(qb)与图像质量得分的关系来衡量笔者算法, qb 可由下式^[12]得出:

$$qb = \frac{c}{c+d+f} \times \frac{BN - BN_d}{BN}, \quad (10)$$

其中, c 、 d 、 f 分别为 Verifinger SDK 6.2^[19]所提取的正确细节点数目、漏检点数目、误检点数目。 BN 为指纹区域大小, BN_d 为因过干或过湿而被去除的区域大小。

以 qb 为横轴,质量分数 QS 为纵轴,实验数据库中 80 幅图像的 qb - QS 关系曲线如图 7 所示。图中较粗拟合曲线是 5 次多项式拟合结果,复回归系数 R^2 为 0.771 1,理想情况下,该曲线应该呈逐点上升趋势。本算法实测的 QS 随 qb 的变化与拟合曲线还有一定的差距,但基本趋势是呈单调上升的,从一定程度上说明本算法能够正确评定指纹图像质量的优劣等级。

图 7 本算法所得 qb - QS 关系曲线

4 结 语

为提高 AFIS 的识别成功率,笔者提出一种融合多个影响因子综合评定指纹图像质量的方法。该方法针对单一的采集图像进行评定,首先,以分块思想为基础,引入梯度相关性和方向场归域化进行指纹纹理质量评价;定义图像可利用大小并衡量其质量及图像干湿质量。其次,引入影响权值,融合各个影响因子的作用,综合评定图像质量。最后调整修正综合质量分数。实验并与其他算法对比,结果表

明本算法是一种合理、有效的算法,正确率可以达到 97.5%。若应用到 AFIS 的图像采集传感器中,可以基本确保所采集图像能达到质量要求,对提高 AFIS 的识别成功率会有很大帮助,这也是下一步的研究方向。

参考文献:

- [1] Jain A K, Nandakumar K, Nagar A. Biometric template security[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, 2008: 1-17.
- [2] Uludag U, Pankanti S, Prabhakar S, et al. Biometric cryptosystems: issues and challenges[J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(6):948-960.
- [3] 张腾,李见为,王玮,等. 指纹图像增强及无效区域的提取[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2004,27(9):29-32.
ZHANG Teng, LI Jianwei, WANG Wei, et al. Fingerprint enhancement and segmenting[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2004, 27(9):29-32.
- [4] Hong L, Wan Y F, Jain A K. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8):777-789.
- [5] Fernando A F, Julian F, Javier O G, et al. A comparative study of fingerprint image-quality estimation methods [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2007, 2(4):734-743.
- [6] Tabassi E, Wilson C L, Watson C I. Fingerprint image quality [R]. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7151, 2004.
- [7] Shen L L, Kot A C, Koo W M. Quality measures of fingerprint images [C] // Proceedings of the 3rd International Conference on Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication, June 6-8, 2001, Halmstad, Sweden. [S. l.]: Springer-Verlag, 2001: 266-271.
- [8] 赵衍运,蔡安妮. 指纹图像质量分析[J]. 计算机辅助设计及图形学学报,2006,18(5):644-650.
ZHAO Yanyun, CAI Anni. Fingerprint image quality analysis [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006,18(5):644-650.
- [9] Zhu E, Yin J P, Hu C F, et al. Quality estimation of fingerprint image based on neural network[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- [10] Yun E K, Cho S B. Adaptive finger print image enhancement with fingerprint image quality analysis[J]. Image and Vision Computing, 2006,24(1):101-110.
- [11] Chen Y, Dass S C, Jain A K. Fingerprint quality indices for predicting authentication performance[C]// Proceedings of the 5rd International Conference on Audio-and Video-based Biometric Person Authentication, July 19-21, 2005, NY, USA. [S. l.]: Springer, 2005,3546:160 - 170.
- [12] LIM E, JIANG X, YAU W. Fingerprint quality and validity analysis [C] // Proceedings of IEEE 2002 International Conference on Image Processing, September 22-25,2002, NY, USA. Piscataway: IEEE Press, 2002,1:469-472.
- [13] Hartwig F, Klaus K, Josef B, et al. Fingerprint image-quality estimation and its application to multialgorithm verification [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008, 3(2):331-338.
- [14] 任群,张晓鹏,田捷. 指纹图像自动评测方法[EB/OL]. (2010-07-30)[2012-07-15]. <http://www.doc88.com/p-70870387405.html>.
- [15] 胡敏,李大超. 指纹图像质量测评方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2010,20(2):125-128.
HU Min, LI Dachao. A method for fingerprint image quality estimation [J]. Computer Technology and Development, 2010,20(2):125-128.
- [16] 赵玉兰,武增光,孟祥萍,等. 指纹图像质量评估的研究与应用[J]. 计算机应用,2008,28(11):2904-2907.
ZHAO Yulan, WU Zengguang, MENG Xiangping, et al. Research and application of fingerprint image quality estimation[J]. Computer Applications, 2008, 28(11):2904-2907.
- [17] 田捷,杨鑫. 生物特征识别理论与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [18] 梅园,孙怀江,夏德深. 一种有效的指纹奇异点提取方法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(28):1-3,12.
MEI Yuan, SUN Huaijiang, XIA Deshen. Effective method for detection of fingerprints' singular points[J]. Computer Engineering and Applications, 2008,44(28): 1-3,12.
- [19] Verifier. NeurotechnologijaLtd [EB/OL]. [2012-05-21]. <http://www.neurotechnologija.com>.

(编辑 王维朗)