

指纹图像质量评估方法

王延年 牛飞婷 刘 婷
(西安工程电子信息学院 西安 710048)

摘 要: 指纹图像质量直接影响指纹识别系统的可靠性,通过评估图像质量可以智能的排除低质量图像从而提高识别系统的准确率。针对指纹图像脊谷结构周期性的交替规律,采用图像共生矩阵与快速傅里叶变换对指纹图像质量从局部纹理和全局结构对进行综合评估,形成局部信息和全局信息相互度量考核的方式。将改进的质量评估算法应用于双指纹识别系统,在FVC2004DB1_B指纹库上进行了实验。实验表明,该方法能够对图像质量进行准确分类,提高了双指纹识别系统的可靠性。

关键词: 图像处理;质量评估;双指纹识别系统

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.2040

Fingerprint image quality assessment

Wang Yannian Niu Feiting Liu Ting

(College of Electronics and information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: The fingerprint image has a direct influence on the reliability of the fingerprint identification system, and the way of evaluating the quality of the fingerprint image effectively can wisely eliminate the low quality of image to improve the correctness of the system. According to the laws of the periodic alternation rule of the fingerprint image, an algorithm using the way of Image co-occurrence matrix and fast Fourier transform to estimate the quality of a fingerprint image is put forward. An image quality score is given by assessing the local and global information. The algorithm is applied in double fingerprint identification system, and the experimental result come from FVC2004DB1_B fingerprint database show that this method can accurately assess the quality of a fingerprint image and improve the reliability of the fingerprint identification system.

Keywords: image processing; image quality; double fingerprint identification

1 引 言

由于指纹本身具有唯一性、不变性、便于采集以及抗干扰等优点,使得成熟的指纹识别技术在武器库、金库门等特殊的领域中更是广泛的应用。数据研究显示,指纹识别系统的可靠性和正确性相当大程度上受输入指纹图像质量的影响^[1],即图像质量和系统的识别率、误识率有很大的关系,质量差的指纹图像会提取出很多伪细节点或者是在处理过程中更容易丢失真实细节点,不能保证信息来源的可靠性额准确性,从而严重影响匹配的结果,而质量较好的图像能够提高识别系统的可靠性和安全性。因此在图像处理过程中对图像质量检测是十分重要的环节^[2]。

传统指纹图像质量测评的研究主要在两个尺度上:一

是基于分块图像的质量测评;二是整幅图像的质量测评。赵联征等人^[3]将指纹分为相同大小的像素块,通过像素块的方向、有效面积、频率等信息来评估图像质量,这类方法的局限性是用到了像素块的局部信息,低质量指纹图像的局部信息本身就不可靠。闫欣等人^[4]提出的基于全局分析的傅里叶谱方法来测量图像质量,这种方法能够很好的反映指纹图像真题质量,但缺乏局部分析。

通过研究和比较大量的图像质量测评方法,本文提出了利用局部信息与全局信息对图像进行综合测评,指纹图像只有同时满足全局指标与局部指标时,其质量才会被分类为合格。实验数据表明,本方案可以对图像质量进行合理的测评。

收稿日期:2015-05

2 面向应用的指纹图像质量评估

2.1 传统的指纹图像质量评估

传统的图像质量测量主要是基于分块图像或者整幅图像两方面进行的,这些传统的方法从图像的某一方面评估其质量,不能度量全局或者子块图像的质量信息,有一定的局限性^[5]。

本文针对指纹图像的特殊性,将分块和全局的图像质量评价联系在一起,对于指纹图像,理想情况下,指纹的子快图和整幅图都体现在脊谷线有规律的相互交替,由此本文提出了全局信息与局部信息相互度量的方法,只有局部和全局纹理都质量符合要求,才能确定指纹信息的可靠性。

$$p_{ij}(m,n) = \frac{\#\{(x,y),(x+m,y+n) \in S \mid I(x,y) = i, I(x+m,y+n) = j\}}{\#S} \quad (1)$$

式中: $\{x\}$ 表示集合 x 中的元素个数; $I(x,y)$ 表示参考点; $I(x+m,y+n)$ 是在 $I(x,y)$ 的 θ 方向上距离为 d 的像素值,和 $I(x,y)$ 组成像素对。本文中取参考点 $I(x,y)$ 距离为 $d=4$ 的 θ 在4个不同方向($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$)的对应像素点位置。

图像的纹理是灰度分布在空间位置上的规律出现而形成的。共生矩阵就是用两个不同像素的联合概率密度来定义的,反映了图像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度的综合信息,是分析图像局部模式结构及其排列规则的基础,作为纹理分析的特征量,通常情况下,在灰度共生矩阵的基础上再提取纹理特征量,称为二次统计量。

共生矩阵能够很全面的诠释指纹图像的纹理特征性能,为了更直观地、定量地描述图像纹理特征,Haralick提出了14个基于图像灰度共生矩阵的纹理特征,文中使用4个最能反映纹理信息的统计参数作为纹理分析依据,式中 $G(i,j)$ 表示 (i,j) 位置的像素值。

1) 方向对比度 CON

度量某个像素在其邻域中亮度的对比情况,表明图像像素是怎样分布和图像局部变化的多少,反映了图像的纹理沟纹的清晰度。对比值大,纹理效果清晰;反之,对比值小,纹理沟纹浅,纹理模糊,计算如式(2)。

$$CON = \sum_{n=0}^{k-1} n^2 \left\{ \sum_{|i-j|=n} G(i,j) \right\} \quad (2)$$

2) 相关性 COR

度量图像纹理的方向一致性,通过测量图像灰度共生矩阵元素在行或列方向上的相似程度来反映图像局部灰度相关性。矩阵元素均匀相等,则其相关性系数就越大,反之,相关性系数越小,计算如式(3)。

$$COR = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{i \cdot j \cdot G(i,j) - u_i u_j}{s_i s_j} \quad (3)$$

式中: u_i, u_j 是均值, s_i, s_j 是标准差,计算如式(4)~(7)。

$$u_i = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k i \cdot G(i,j) \quad (4)$$

2.1.1 基于灰度共生矩阵的图像质量评估

指纹图像是由脊线和脊谷交错的灰度图像,含有丰富的纹理信息。因此基于灰度共生矩阵的纹理特征来评估分块图像的质量。

在 $M \times N$ 图像中任意取一点 (x,y) 以及偏离它的另一点 $(x+m,y+n)$,即可形成一个点对,假设该点对的灰度值是 (i,j) ,也就是说点 (x,y) 的灰度值为 i ,点 $(x+m,y+n)$ 的灰度为 j 。固定 m 和 n ,令点 (x,y) 在整幅图上规律性的移动,则会得到不同值的 (i,j) 灰度矩阵。设灰度值的级数是 L ,因此 i 与 j 的组合共有 L^2 种。对整幅图统计每一种 (i,j) 值的次数,对它们进行归一化后,出现的概率 $P_{(i,j)}$,则称方正 $|P_{(i,j)}|_{L \times L}$ 为灰度联合概率矩阵^[6],如式(1)所示。

$$u_j = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k j \cdot G(i,j) \quad (5)$$

$$s_i^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k G(i,j) (i - u_i)^2 \quad (6)$$

$$s_j^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k G(i,j) (j - u_j)^2 \quad (7)$$

3) 能量 ASM

能量是灰度共生矩阵个元素的平方和,它是图像纹理灰度变化均一的度量,反映了图像灰度分布均匀程度和纹理粗细度。若ASM越小则表明共生矩阵所有元素均匀相等,相反,ASM值越大,表明图像是一种较均匀和规则变化的纹理模式,计算式(8)。

$$ASM = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k (G(i,j))^2 \quad (8)$$

4) 局部均匀性 IDM

局部均匀性度量图像纹理局部变化的多少,其值越大则说明图像纹理的不同区域间缺少变化,局部是非常平滑稳定的。其计算式(9)。

$$IDM = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{G(i,j)}{1 + (i+j)^2} \quad (9)$$

灰度共生矩阵属于统计法领域,通过计算图像中特定方向和特定距离的两像素之间灰度差值出现的次数,得到图像在方向、间隔、幅度变化大小和速度的综合信息,用于将图像灰度值转化为文理信息。

本文计算了44幅指纹图像的灰度共生矩阵的4个标量特征,如表1所示为3幅不同质量程度的特征标量及其标准差。不同质量程度的图像,它们的特征标量大小不同,质量越好,方差 std 越大。

表1 不同质量图像的4个特征标量

Image #	CON	COR	ASM	IDM	Std
差	0.131 9	0.077 9	0.012 3	0.009 3	0.058 7
较好	0.331 5	0.020 7	0.006 0	0.021 5	0.157 9
好	0.878 1	0.060 2	0.015 4	0.029 5	0.421 9

2.1.2 傅里叶频谱能量的图像质量评估

傅里叶变换是分析图像全局的方向和频率结构的有效方法,由于指纹图像脊线纹理具有方向连续性(奇异点区域除外),相互之间保持一定的距离^[7],另外指纹图像具有周期性较强的脊谷结构,图像空间的均匀脊谷线会出现几乎相等的频率峰值,这样的空域脊谷模式在频域中表现出明显的环形结构,因此可以用环形谱来测量指纹图像质量^[8]。

一幅 $M \times N$ 大小的图像,在空间频率范围 $(\frac{2\pi k}{M}, \frac{2\pi l}{N})$ 中二维的离散傅里叶(DFT)变换计算如式(10)。

$$F(k, l) = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} f(i, j) e^{-j2\pi(ki/N + lj/M)}, \tau = \sqrt{-1} \quad (10)$$

式中: $f(i, j)$ 是图像在 (i, j) 处的像素值,为了避开 DFT^[11] 的复杂输出,通过 $p(k, l) = |F(k, l)|^2$ 来观察经过傅里叶变换后的指纹图像的结构信息。

通过对 44 幅不同质量程度的指纹图像进行傅里叶变换并观察其纹理结构信息图,实验结论,质量较好的图像会出现一个相对清晰的具有高亮中心点的亮环,而质量较差的指纹图像,不会产生亮环,也没有高亮的中心点。如图 1 和 2 所示分别为质量好和质量较差的指纹图像的环形频谱。



图1 质量好指纹及其频谱

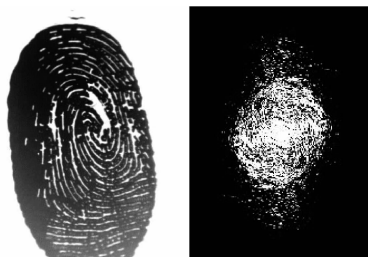


图2 质量差指纹及其频谱

2.2 改进的指纹图像的质量评估

针对传统质量评估方法的局限性,从指纹图像的特殊性出发,提出了全局信息和局部信息的相互制约来评估图像的质量,实现了从全局信息度量图像局部质量,又从局部信息考核全局信息的方式,综合度量指纹图像质量,具体步骤如下:

1) 将整幅指纹图像以中心点分成 $w \times w$ 的不重叠的图像子块,一般 $w = 32$ 。

2) 并对子块图像按式(1)计算 4 个方向上的灰度共生矩阵,取级别 $L = 8$,生成 4 个方向上 8×8 矩阵。

3) 求子块图像的每个方向上的灰度共生矩阵,按照式(2)~(9)分别计算方向对比度、相关性、能量、熵、局部均匀性 4 个统计纹理特征的标量。

4) 计算子块图像中 4 个标量特征的方差,再由子块图像的方差得到整幅图像的 4 个标量特征方差 $V_{(i,j)}$,并求均值 m ,标记为子块图像的质量得分。

5) 对整幅图像进行 DFT 变换,按式(10)求其环形频谱 $p(k, l)$ 。并进行巴特沃斯带通滤波,并求其滤波方差 s ,标记为全局质量的得分。

6) 综合 m, s 与阈值 T 进行比较,大于 T ,认为是质量较好的,相反,小于 T 则是质量差指纹图像。

如图 3 是对 44 幅不同质量的指纹图进行了准确分类,图中方块表示质量差,星表示质量好。

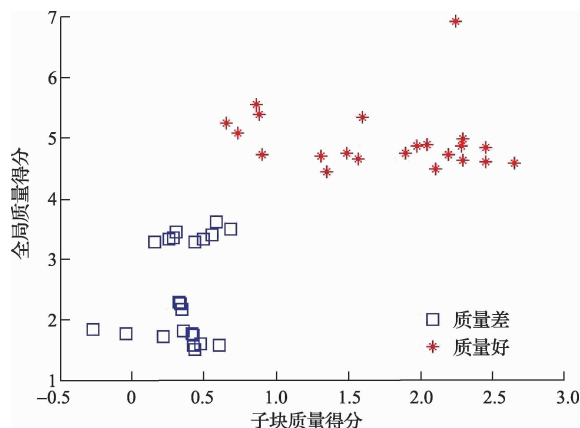


图3 图像质量分类

2.3 与传统图像质量方法比较

原始指纹图像一般都包含背景区,因此需要通过图像分割法预分割出指纹前景区,通过计算有效的前景区与原始图像的面积比值 Q_s ,值越小表明有效面积越小,将其与给定的阈值 T_s 比较来考察图像的质量^[9]。如图 4 和 5 所示,分别是不同质量图像有效面积的计算。



图4 $Q_s=93.4\%$ 的指纹

图5 $Q_s=29.2\%$ 的指纹

通过图像纹理跟踪法对不同质量图像提取特征点,如表2所示。

表2 图像的特征点正确率

Image #	提取点	伪点	保留点	正确率
差	540	147	393	72.8%
较好	658	91	567	86.2%
好	561	33	528	94.1%

图像特征点的正确率、前景区保留块的数目与图像质量密切联系,质量较好的图像提取特征点的正确率高,而且保留的前景区面积更大;相反,特征点错误率高,有效的前景区面积小。

采用特征点的正确率与指纹图像的有效面积的比率之积来衡量图像的质量^[10]。

1) 将整幅指纹图像以中心点分成 $w \times w$ 的不重叠的图像子块,一般 $w = 32$,并求出子块图像的灰度均值 $m(i, j)$ 和方差 v ;分别将 $m(i, j)$ 和 v 与给定阈值 T_1, T_2 相比较,小于阈值的记为图像的背景区,计算前景面积与整幅图像面积的比值 s ,设置阈值 T ,对子块图像的有效面积进行分析。但子块图像质量评比只考察了区域的灰度情况,没有综合区域的纹理结构,具有不完整性。而本方案的共生矩阵中 ASM 与 IDM 判断因子中结合了纹理结构和灰度值来判断子块图像的质量,能够综合完整的考核子块图像的质量。

2) 通过纹理跟踪法提取特征点,利用其正确率来考察整幅图像的质量,分别计算图像特征点数、漏点数以及伪特征点数,并求出特征点数所占比例,但没有考察特征点结构分布,具有局限性。本方案的环形频谱利用纹理方向和频率,全局性的评估了图像的结构分布。

采用本文方法和文献中的方法分别对指纹库 FVC2004DB1_B 中的 80 幅图像分别进行质量评估,评估结果分别如图 6 和 7 所示。

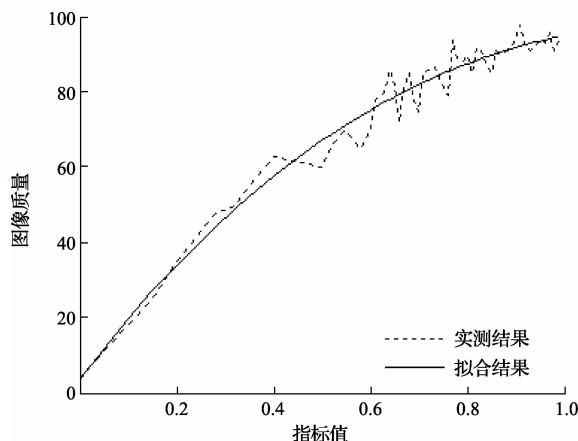


图6 本文方法

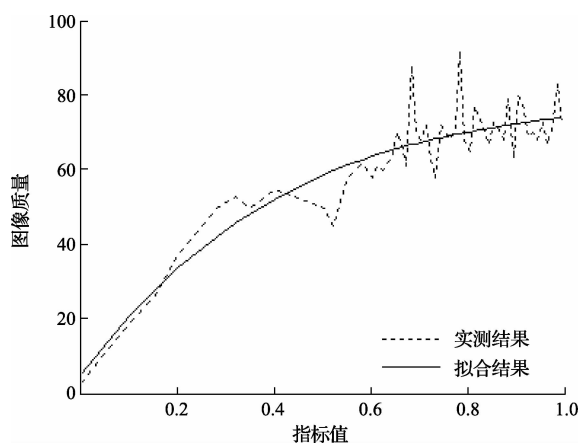


图7 特征点评估方法

由曲线图可得到,相对文献中的图像质量测评方法,本方案实测的指标值与拟合曲线更接近,显然其实测指标值更精确,因此本方案可以准确的对不同质量的图像进行分类。

2.4 基于质量检测的双指纹识别系统

指纹图像的质量和系统的识别率以及误识率有很大的关系,质量较好的图像能够提高识别系统的可靠性和安全性,先利用指纹图像的质量评估输入指纹的信息可靠性,再进一步通过识别匹配验证身份真伪^[11]。

为了验证本文算法的先进性,将此方法与双指纹识别系统相结合,系统流程如图 8 所示。评估输入的指纹图像,指纹质量得分不合格,则直接被放弃。成熟的指纹识别技术主要过程包含了指纹图像的预处理、特征提取以及特征匹配,不再赘述了。

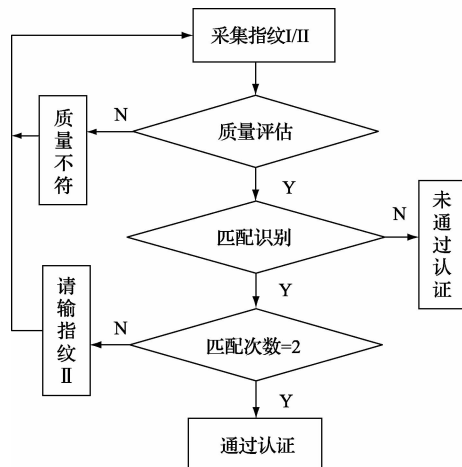


图8 双指纹识别系统流程

对 FVC2004DB1_B 指纹库中 80 幅图像进行识别,分别验证对引入质量评估的双指纹识别系统的准确率与未引入质量评估的双指纹识别系统的识别数据进行,比较数据如表 3 所示。

表 3 比对结果

Image #	未检测	检测后
差	83.58%	88.43%
较好	91.15%	94.62%
好	94.59%	97.84%

3 结 论

在改进的质量检测算法中,根据指纹图像的纹理的特殊性,提出采用全局信息与局部信息相互考核的方式,图像共生矩阵的方向对比度(CON)、相关性(COR)、能量(ASM)、局部均匀性(IDM)的 4 个标量度量指纹的局部信息的可靠性,并与度量全局信息的环形频谱进行联合,综合评估图像质量。将该质量评估算法应用于双指纹识别技术中,在一定程度上提高了双指纹识别系统的可靠性,更加适用于武器库、金库门等特殊领域。

本方案的创新点为:针对指纹图像脊谷结构规律交替的周期特性,通过计算图像共生矩阵度量图像局部信息和使用巴士带通滤波器图像环形频谱进行滤波检测全局信息的综合质量评估方式,实现了图像质量的准确分类。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 罗尖. 基于特征参数的指纹质量分类方法及应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013: 24-35.
- [3] 赵联征. 指纹图像质量评估方法与应用研究[D]. 山东: 山东大学, 2012: 15-23.
- [4] 闫欣, 张东波. 基于多指标的指纹图像质量综合评估研究[J]. 计算机工程, 2011, 37(11): 234-236.
- [5] 牛涛, 沈为, 张之江, 等. 基于图像间相关性的光场压缩感知[J]. 电子测量技术, 2014, 37(3): 58-61.
- [6] 安冯竞, 丁红发, 程小平. 基于脊谷线特征的指纹图像质量评估方法[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 38(9): 106-109.
- [7] 刘莲花, 谭台哲. 多指标融合的指纹图像质量测评方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(9): 226-228.
- [8] 李俊峰, 方建良, 戴文战. 基于色彩感知的无参考图像质量评价[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(2): 339-350.
- [9] 刘明生, 吴小培, 项明. 一种基于指纹图像特征的图像分割算法[J]. 电子测量技术, 2009, 32(8): 92-94.
- [10] TIWARI K, GUPTA P. No-Reference Fingerprint Image Quality Assessment[M]. Intelligent Computing Methodologies Lecture Notes in Computer Science, 2014: 846-854.
- [11] 毕雪琴, 苏艳娟, 王琪. 嵌入式指纹识别系统的设计及试验研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(2): 50-53.

作 者 简 介

王延年, 1963 年出生, 教授, 电子信息学院副院长。主要研究方向为工业控制信息系统。

牛飞婷(通讯作者), 1989 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为数字图像处理, 控制网络与工程。

E-mail: 370128925@qq.com