

DOI:10.16515/j.cnki.32-1722/n.2020.04.002

基于细节结构特征点的指纹识别

胡 勇, 吴 斯

(金陵科技学院软件工程学院, 江苏 南京 211169)

摘要: 在众多生物识别技术中, 指纹识别因其唯一性、稳定性以及易采集性等特点而成为一种理想的身份认证技术。基于结构特征的指纹识别技术具有识别能力高和抗干扰能力强的优点, 并且具有很高的识别率。提出了一种基于细节结构特征点的指纹识别算法, 在对指纹图像进行预处理之后, 采用模板提取端点及分叉点等细节结构特征点, 通过去除伪特征点提高了系统的识别精度。在国际指纹验证竞赛 FVC2000 数据库上的实验结果证明了该算法的有效性和鲁棒性。

关键词: 指纹识别; 结构特征; 细节特征; 模板匹配; 国际指纹验证竞赛数据库

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1672-755X(2020)04-0006-05

Fingerprint Identification Based on Minutiae Structural Features Points

HU Yong, WU Si

(Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: Among lots of biometric technologies, fingerprint identification has become an ideal identity authentication technology because of its uniqueness, stability and easy collection. The fingerprint identification technology based on structural features points has the advantages of high efficiency, anti-interference, and a high recognition rate. In this paper, a fingerprint identification algorithm based on minutiae structural features points is proposed. After image pre-processing, the minutiae structural features points such as endpoint and bifurcation points are extracted by local template, and the recognition accuracy of the system is improved by removing the pseudo feature points. The experimental results on the international fingerprint verification competition FVC2000 database show that the algorithm is efficient and effective.

Key words: fingerprint identification; structural features; minutiae features points; template matching; international fingerprint verification competition database

指纹识别技术是通过每个人不同手指的指纹来进行身份鉴别的技术。指纹的差异性和稳定性等特征是指纹识别的最大优势——每个人的不同手指之间的指纹各具差异, 指纹相同的概率极低; 人的指纹一旦完全形成理论上是终生不会改变的, 就算儿童成长为成人, 他的指纹也不过是随着成长而放大、增粗, 指纹的形状和纹路的数量等结构特征是保持不变的。随着现代技术的不断发展, 指纹识别已经成为一种最常见的身份识别方式。

指纹识别系统可以分为验证系统(verification system)和识别系统(identification system)。验证类系统是“一对一”进行比对的, 被验证者的指纹必须是已经存在于系统中的数据库内, 并且在经过比对后能够与库中已存在记录的指纹相吻合。而识别类系统则是把已经采集到的指纹图像与系统指纹库中的所有指

收稿日期: 2020-08-05

作者简介: 胡勇(1972—), 男, 安徽霍邱人, 副教授, 博士, 主要从事图像处理和模式识别研究。

纹逐个地进行对比,从中找出与采集到的指纹图像相吻合的指纹,这是一种“一对多”的比对方法,这类系统多被应用于警方鉴定犯罪分子的指纹。

如今运用较多的指纹识别算法主要有基于图像的统计算法和基于细节特征的匹配算法,其中主流的方法是细节特征法^[1-3]。在第一类算法中,指纹图像的内容或频域变换特征等信息可以用来表示和识别不同的指纹图像,例如:运用指纹图像的傅里叶频谱来区别指纹。这种类型的算法的主要疑难点在于图像的特征很难被定义和匹配,因此此类算法造成错误的概率通常较高。而第二种指纹识别算法则是找到指纹图像的某些特征然后对指纹的这些特征进行比对。指纹图像的特征的复杂程度足以用于鉴别不同人的身份,如今很大一部分的指纹识别系统采用的都是第二种算法。

本文提出了一种基于细节结构特征点的指纹识别算法,在对指纹图像进行去噪、分割、增强、二值化和细化等预处理之后,采用运算量较小的模板法提取端点和分叉点等细节结构特征,通过特征点之间的距离以及连接情况或者角度等构造关系特性去除伪特征点,提高系统的识别精度。

1 基于细节结构特征点的指纹识别算法

图1 为基于细节结构特征的指纹识别算法流程。

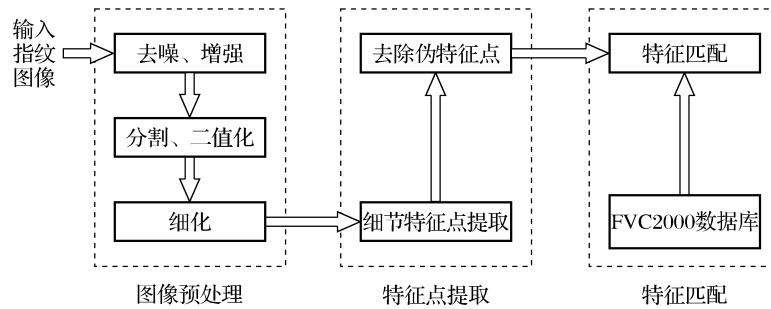


图1 基于细节结构特征的指纹识别算法流程

1.1 指纹图像预处理

受到油脂、水分、污渍的影响,采集到的指纹图像会出现不够清晰、无法被准确地辨识等问题,这对后续的指纹特征提取造成不便。所以在对指纹的结构特征进行提取之前,需要通过预处理来改善这些问题。指纹图像的预处理包括对指纹图像进行去噪、分割、增强等,然后还要对图像进行二值化、细化,让后续的指纹特征的提取变得更加可靠。

关于细化算法的研究成果已经有很多种,比较常用的是模板匹配的方法,如OPTA(one pass thinning algorithm)单联通法^[4]和迭代法^[5]等,这类方法主要是根据某一个像素局部邻域的图像特征进行处理。此外,神经网络、边缘搜索以及外轮廓计算等细化的算法也是目前使用较多的。

图2为一幅原始指纹图像及预处理之后的图像,由经过去噪、区域分割及二值化之后的图像可以看出:经过了简单的预处理,原始指纹图像的多余背景被去除,并且成像变得更加的清晰。由细化之后得到



图2 原始指纹图像及预处理之后的指纹图像

的图像可以看出:在经过去噪、区域分割及二值化后得到的纹理较粗的指纹图像变得更加精细了,这样就可以使指纹图像的各部位特征更加清晰,方便后面的特征提取。

1.2 指纹图像的细节特征点提取

对指纹图像的细节特征点进行提取的方法分为两种:一种是直接从原灰度图像中提取,另一种则是从细化二值后的指纹图像中提取。第二种方法是现在绝大多数系统采用的。从细化的二值图像中提取特征点并进行处理的方法,运用起来很简便,只需要在得到高质量的细化二值图像后,运用一个 3×3 的模板就能够提取出指纹图像中的端点及分叉点。

在细化后的指纹图像基础上,本文采用模板法作为提取特征点的算法。该算法具有较小的运算量和较快的速度,需要提取的主要是指纹图像的端点和分叉点的结构特征。端点和分叉点是以统计判断八邻域为基础而建立的,在八邻域所有的形态之中,有八个条件可以满足端点的特征,有九个条件可以满足分叉点的特征。细化后的二值指纹图像中,0表示背景,1表示纹线点。对于图像上的任意点 p ,交叉数 cn 和八邻域纹线点数 sn 的定义分别为:

$$cn = \sum_{i=1}^8 |p_{i+1} - p_i| \quad (1)$$

$$sn = \sum_{i=1}^8 p_i \quad (2)$$

其中, p_i 表示这个像素点的灰度值, $p_9 = p_1$ 。

在被跟踪点的八邻域中,纹线点数 $sn=1$ 且交叉数 $cn=2$ 的纹线点,被认定为端点;纹线点数 $sn=3$ 且交叉数 $cn=6$ 的纹线点,则被认定为分叉点。通过细化二值图像后提取指纹特征点的方法,找出所有的端点和交叉点,是后续指纹图像匹配工作的重要前提。

1.3 伪特征点的去除

提取指纹的过程中,提取到的指纹图像经常会存在不同问题,如指纹图像模糊、存在褶皱、灰度不均匀、纹路被截断。即使指纹图像在经过预处理后质量有所提高,得到的细化二值图像也会产生许多的伪特征点。研究者经过不断的实践后证明,伪特征点的数量在总特征点数量中往往占据了一半以上,可见去除伪特征点的必要性。

去除伪特征点的算法应该满足以下几点:①应该处理全部的细节点,留下当中的真实细节点,然后删掉伪细节点;②有针对性地处理每一个伪细节点的结构从而将算法的复杂性降低;③之前的处理步骤不能损坏后续的处理步骤所必需的信息;④后续处理步骤应该剔除之前处理时新产生的伪细节点。

可以通过特征点相互之间的距离、连接情况或者角度方向等构造的联系来判定它是否是伪特征点,本文采用了特征点间的距离和特征点方向差的算法:用公式(3)和(4)计算特征点 p_1 和 p_2 之间的距离和方向差。

$$d(p_1, p_2) = \sqrt{(x_{p_1} - x_{p_2})^2 + (y_{p_1} - y_{p_2})^2} \quad (3)$$

$$\theta(p_1, p_2) = \min(|O_{p_1} - O_{p_2}|, 2\pi - |O_{p_1} - O_{p_2}|) \quad (4)$$

其中, (x_{p_i}, y_{p_i}) 是特征点的坐标, O_{p_i} 是特征点的方向。

图3给出了指纹图像在提取端点、提取交叉点以及去除伪特征点之后的结果,通过提取端点和提取交

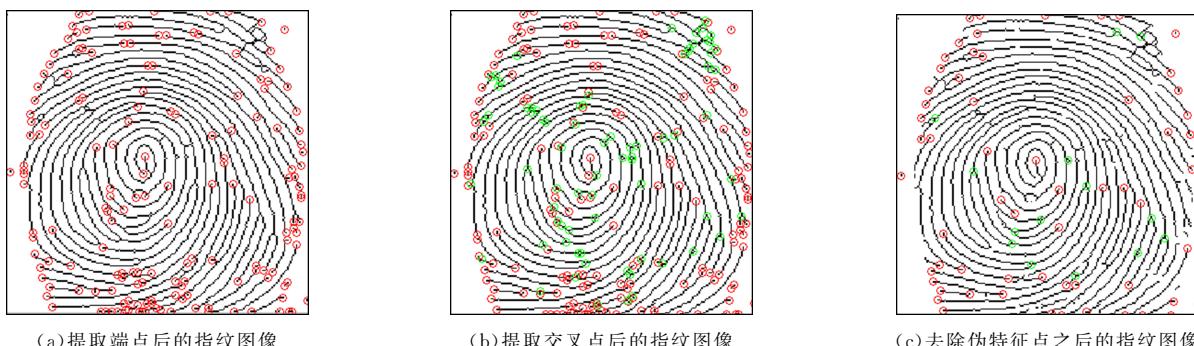


图3 提取端点、交叉点以及去除伪特征点之后的指纹图像

叉点之后的指纹图像可以看出,特征点提取的过程不仅能提取出有效的特征点也提取到了许多伪特征点,在去除伪特征点之后,留下的就是这枚指纹的真特征点了。

1.4 特征匹配算法

指纹图像的匹配是将指纹进行认证的过程,是指纹识别系统的关键部分。一般来说,指纹匹配方法可以分为模板匹配法^[6]和特征匹配法^[7]。特征匹配算法采用指纹图像中的细节结构特征信息进行匹配,依据两个指纹图像的某些特征来分析它们是否属于同一个指纹,此类方法包括基于指纹图像细节点的匹配法、基于指纹图像纹线特征相关性的匹配法、基于指纹图像脊线特征的匹配法等。

本文采用了基于指纹图像细节特征点的匹配法。指纹的局部特征点和它们相互之间的关系是通过结构特征点的数量、位置以及方向等参数来考量的。结构特征点的集合会构成一个拓扑结构,指纹匹配的过程其实就是两个拓扑结构之间互相进行对比的问题。如果两个指纹图像的特征点最终相似到了一定程度,则判定它们来自同一枚指纹。

2 实验结果与分析

为验证本算法的有效性和稳定性,本文在国际指纹验证竞赛(fingerprint verification competition)FVC 2000 数据库^[8]上进行了实验,并与文献[9]的算法进行了对比。FVC 2000 数据库包含 4 个子库,每个子库有 10 人,每人 8 幅,分别通过不同的指纹采集设备和方式获取,其中 DB-2 子库采用电容式采集仪器获取。图 4 显示的是 DB-2 子库中的部分指纹图像,分别是 10 个人的第一幅指纹图像,子库图像均为 tiff 格式,分辨率为 256×364,256 级灰度。



图 4 FVC 2000 DB-2 指纹图像库部分指纹图像

为了量化说明本算法的实际效果,本文采用了评估指纹识别算法性能的两个重要参数:错误拒绝率 FRR(false rejection rate)和错误接受率 FAR(false acceptance rate),公式(5)和(6)给出了两个参数的计算方法。

$$FRR = \frac{\text{错误拒绝的指纹数量}}{\text{指纹总数量}} \times 100\% \quad (5)$$

$$FAR = \frac{\text{错误接受的指纹数量}}{\text{指纹总数量}} \times 100\% \quad (6)$$

实验中,本文首先对原始指纹图像进行预处理(包括去噪、分割、二值化及细化处理),然后提取指纹的

细节结构特征点(包括端点和分叉点),在去除伪特征点之后进行指纹匹配。对于指纹库中的每一个指纹,都要与其他指纹进行匹配,总的匹配次数达到3 160次,并由此计算出FRR和FAR。本文算法和对比算法的结果见表1,其中识别准确率(A_{cc})由式(7)计算得出。

表1 两种算法在FVC 2000 DB-2部分指纹图像上的实验结果

算法	FRR	FAR	识别准确率/%
本文算法	0.143	0.112	87.2
文献[9]算法	0.205	0.194	80.1

$$A_{cc} = \left(1 - \frac{FAR + FRR}{2}\right) \times 100\% \quad (7)$$

从表1可以看出,相对于对比算法,本文算法具有更好的匹配效果,错误拒绝率FRR和错误接受率FAR都降低,系统的识别准确率上升,说明了算法的有效性和鲁棒性。

3 结语

本文对基于结构特征点的指纹识别算法进行了研究,提出了一种基于细节结构特征点的指纹识别算法,在对指纹图像进行预处理后,采用模板法提取端点及分叉点等细节结构特征点,通过去除伪特征点提高了系统的识别精度,在国际指纹验证竞赛FVC 2000数据库上的实验结果证明了该算法的有效性和鲁棒性。

参考文献:

- [1] 王曙光. 指纹识别技术综述[J]. 信息安全研究, 2016(4): 343–355
- [2] URMI A S, MAHESH M G. A survey on state of the art methods of fingerprint recognition[J]. International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, 2018, 4(2): 189–200
- [3] 任向飞. 基于细节特征点的自动指纹识别算法与系统研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2016
- [4] 陈刚, 陈宁, 曾勇. 基于邻域搜索的OPTA指纹细化改进算法[J]. 计算机仿真, 2012, 29(9): 300–303
- [5] 计春雷, 冯伟, 黎明, 等. 一种动态阈值加填补的指纹图像二值化算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7): 258–261
- [6] 许秋旺, 张雪锋. 基于细节点邻域信息的可撤销指纹模板生成算法[J]. 自动化学报, 2017, 43(4): 645–652
- [7] 袁姮, 王志宏, 姜文涛. 基于复合梯度向量的指纹匹配算法[J]. 电子学报, 2017, 45(4): 912–921
- [8] MALTONI D, MAIO D, JAIN A K, et al. Handbook of fingerprint recognition[EB/OL]. (2009–12–13)[2020–07–21]. <http://bias.csr.unibo.it/fvc2000/>
- [9] MOUAD M H, VIVEK H M, PRAVIN Y, et al. Fingerprint recognition for person identification and verification based on minutiae matching[C]. Bhimavaram: IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC), 2016: 332–339

(责任编辑:湛江)