

文章编号:1007-130X(2009)08-0004-03

基于图像质量分区的指纹特征提取 Fingerprint Feature Extraction from the Subareas Divided by Image Quality

胡春风,殷建平,祝恩,陈晖

HU Chun-feng, YIN Jian-ping, ZHU En, CHEN Hui

(国防科技大学计算机学院, 湖南长沙 410073)

(School of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

摘 要:低质量指纹图像的特征提取和变形指纹的匹配是当前指纹识别研究中的两个主要问题。很多算法在特征提取时不区分高、低质量区域,结果在高质量区域耗费了过多的运算时间和计算资源。本文提出了一种基于图像质量分区的指纹特征提取方法,先用一种简单的图像区域质量计算方法评价各区域的图像质量,然后对高质量区域直接从灰度图像跟踪纹线、提取节点,对低质量区域执行传统的方向计算、增强、二值化和细化后提取特征。实验结果表明,该方法不仅提高了特征提取的速度,在准确性上也有所提高。

Abstract: How to extract features from low-quality images and match badly deformed fingerprints are two main problems in fingerprint recognition. Most algorithms without any distinguishment between low-and high-quality subareas, use too much computation to extract the features in high-quality image subareas. A new method to extract fingerprint features from the subareas divided by image quality is proposed. The image quality of all subareas is estimated first. Ridges are traced and minutiae are extracted directly from the gray-level images for high-quality subareas. Orientation estimation, enhancement, binarization and thinning are executed for poor-quality subareas, and then minutiae are extracted. Experimental results show that the time of feature extraction is reduced and the accuracy is also improved.

关键词: 指纹识别; 方向计算; 纹线跟踪; 特征提取

Key words: fingerprint recognition; orientation estimation; ridge tracing; feature extraction

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

1 引言

生物特征识别是直接用人所固有的生理特征(如指纹、虹膜、人脸)或养成的行为特征(如签名、步态)来鉴别一个人的身份。指纹由于易于采集、特征具有非常好的区分性且终生不变,因而是目前研究最深入、应用最广泛的生物特征。但是,指纹识别技术并没有完全被解决,低质量图像的特征提取和变形指纹的匹配是当前研究的两个主要问题。

节点包括端点和分叉点,由于具有良好的区分特性和稳定性,是指纹识别中最重要的特征^[1~4]。为了在低质量图像中提取特征,大部分的特征提取方法是先进行图像预

处理;然后进行方向计算、分割、增强、二值化、细化;最后从细化的图像中跟踪纹线,从而提取节点^[3, 5~9]。一般对灰度图像的增强算法都要先进行方向场的计算,由于计算量大,这通常是整个指纹识别系统中时间性能上的瓶颈。增强后经过二值化和细化算法,得到一幅纹线宽度为1像素的图像,该过程不仅耗时,而且损失了一些有用的信息。因此,Maio^[10]提出了一种基于脊线跟踪的直接从灰度图像中提取节点特征的方法,该方法先取垂直于脊线方向上的采样线段上的灰度值,经过多条相邻平行线上灰度的平均和高斯滤波后,获得极大值点作为脊线的中点;然后沿着脊线方向采用固定步长,得到所有的脊线中点,从而跟踪出脊线;最后根据跟踪每条脊线终止时遇到的终点来判断节点

· 收稿日期:2008-05-22;修订日期:2008-11-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60603015, 60373023);高等学校全国优秀博士学位论文作者资助项目(2007B4);湖南省教育厅资助科研项目(湖南省优秀博士学位论文获得者资助项目)

作者简介:胡春风(1980-),男,湖南湘潭人,博士生,研究方向为指纹识别;殷建平,教授,博士生导师,研究方向为算法设计与分析、人工智能和信息安全等;祝恩,博士,研究方向为指纹识别和信息安全等;陈晖,博士生,研究方向为指纹识别。

通讯地址:410073 湖南省长沙市国防科技大学计算机学院博士生队;Tel: (0731)4573659;E-mail: huchfeng@gmail.com

Address: Doctoral Brigade, School of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, P. R. China

类型。随后一些方法在此基础上进行了改进^[11~14]。Jiang^[11]采用自适应步长跟踪纹线。Liu^[12]根据脊线和纹谷的相邻关系的变化判断端点和分叉点。这些方法都要求先计算方向,然后沿着纹路方向跟踪脊线。进一步有算法对节点类型的判断和伪节点的滤除等后处理做了改进^[14]。事实上,指纹方向是分割和增强的重要基础,而在最后提取出的节点和其它用于匹配的特征中,只需要用到节点等少数局部区域的方向。Chang^[13]不需要计算纹线方向,不求沿脊线的垂直方向统计灰度。直接从灰度图像中提取特征可以避免在增强、二值化、细化过程中产生大量的伪节点特征。但是,上述文献中考虑到的低质量图像实际上相对在指纹增强研究中仍然是比较好的,而在真正低质量区域直接从灰度图像中往往提取不出正确的纹线和节点,这也是这一类方法没有被大部分算法采用的重要原因。

因此,本文提出了一种对不同图像质量的区域采用不同特征提取的算法。首先计算图像质量,分别按行列统计图像的灰度,将图像划分成高质量区、低质量区以及背景区;然后对高质量区直接跟踪纹线、提取节点,只要计算节点处的方向;对低质量区域先计算方向再增强细化后,用已经得到的高质量区的方向等信息来调整低质量区计算的方向,而后跟踪纹线、提取节点;最后给出了实验结果和分析。

2 图像质量计算

指纹图像 I 一般是 256 色灰度图,将其归一化后得到图像 N ,将 N 划分成高度为 d 的水平和竖直条带(d 约等于纹距),对每个条带分别统计灰度分布。下面以水平条带为例,按照公式(1)计算竖直方向上 d 个像素的灰度均值 G_i ,其中 N_{ij} 是当前条带上第 i 列第 j 个像素的灰度值,然后对 G_i 进行高斯滤波。然后计算 G_i 的均值和方差以及各个极大值、极小值。

$$G_i = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d N_{ij}, i = 1, \dots, w \quad (1)$$

图 1 为分行列的灰度极小值点,其中竖直短线代表水平条带上求得的各个极小值点,水平短线代表竖直条带上求得的各个极小值点,灰色条带分别代表水平和竖直方向上求得的极小值数目最多的条带。图 2 为图 1 中水平灰色条带的 G_i 曲线图。

竖直方向也按相同的方法处理后,实际上整个图像被划分成 $d \times d$ 大小的区块,由于 d 的取值约等于纹距,因此理论上每个区块内在水平和竖直方向上各有且只有一个极大值和一个极小值。在理想状态下,极大值是纹谷的中点,极小值是脊线的中点。实际上,由于背景及噪声的影响,可能出现多个极值和极值偏离中点的情况。根据区块内的极值点和 G_i 的方差情况,可以按如下方法判断该区块的图像质量:

(1)高质量区:至少存在一个极小值点,且方差大于阈值 T_1 。当水平或竖直方向上出现多个极小值时,则计算每个极小值与相邻极大值的差值,保留差值较大者,这样可以排除如图 2 中虚线所示的极小值点的干扰。若水平和竖直方向上同时有极小值,则取极小值点与相邻极小值点距离较小者作为最后的脊线中点。

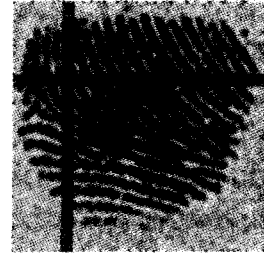


图 1 分行列的灰度极小值点

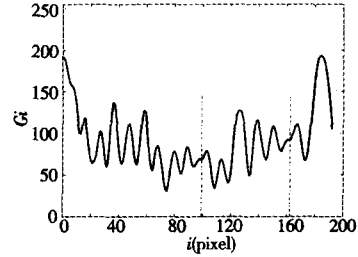


图 2 行灰度统计

(2)低质量区:无极大值点,且方差大于 T_1 ;或有极大值点,但方差小于 T_1 。这些区块若直接从灰度图像中提取特征则往往不准确。

(3)背景区:无极大值点,且方差小于 T_1 。背景区被分割出去,不再用于后面的特征提取。

如图 3 所示,框内加黑的部分为高质量区域,白色部分为背景,其他灰色部分为低质量区域。高质量区将直接跟踪纹线和提取节点,低质量区则经过传统的增强细化后提取特征。

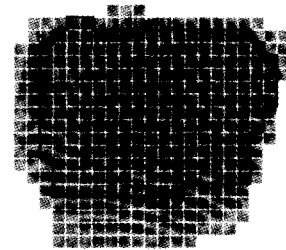


图 3 基于图像质量的分区

3 特征提取

对不同质量的图像区域采用不同的特征提取方法,其流程如图 4 所示。高质量区域直接在灰度图像中利用已经得到的脊线中点跟踪并提取节点,其方法与文献[10]基本相同。低质量区域则先计算方向,接着增强、二值化、细化后提取节点。

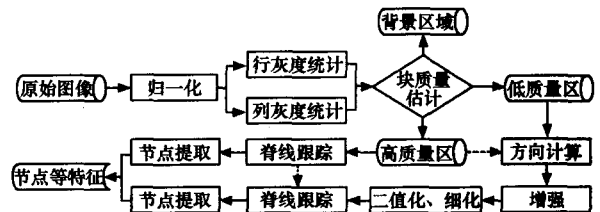


图 4 基于质量分区的指纹特征提取流程图

高质量区域,前面已经提取到了脊线中点,把同一脊线上的中点连接起来即得到了细化的脊线。首先,将水平和竖直方向上极小值点最多的两个条带(如图1所示的两个灰色条带)的交叉的方块作为跟踪的起始点,开始跟踪第一条脊线。从起始点开始,分别考察其8个邻域的区块,按照顺时针方向,将8个邻域分别定义成0~7。若相邻区块为未被跟踪过的高质量区块,则计算当前区块中的脊线点与该相邻区块的脊线点的连线上的灰度均值。考虑到脊线的宽度,本文计算以该连线为中线、宽度为5个像素的矩形内的灰度均值。若均值小于给定的阈值 T_2 ,则认为这两个极小值点在同一条脊线上,这两个点被赋予相同的脊线编号,同时两个极小值连线的角度代表这段脊线的大致方向,该区块的8邻域关系(0~7编号)作为当前跟踪的方向 θ 。一般情况下,起始点是脊线上的中间点,因此存在两个符合条件的相邻区块。采用深度优先算法,沿着其中一个方向继续向前跟踪,直到满足脊线终止的条件,然后沿另一个方向跟踪(如果存在的话),从而得到第一条脊线。沿着当前方向继续向前跟踪,一般根据 θ 判断下一个区块是否也在当前脊线上,若不在,则取 $\theta \pm 1$ 方向,若仍然不在,再考虑8邻域中其他高质量区块。由于纹路方向具有渐变性,下一区块基本都在 θ 或 $\theta \pm 1$ 方向上,因此用这些启发式方向信息有利于减少计算量。如果找到下一个脊线上的点,则更新当前方向 θ ,继续跟踪。若考察8邻域所有未跟踪的高质量区块,其脊线点都不在当前纹线上,则当前脊线终止。

跟踪完第一条脊线后,然后依次跟踪其相邻纹线,直到跟踪完高质量区域的所有区块。现在假定已经跟踪完第 k 条脊线,则将当前高质量区中已跟踪与未跟踪区域的界线向未跟踪区域推进一个区块,依次判断这些区块是否属于同一脊线 $k+1$,方法与第一条脊线的判断相同,直到遇到终止条件。对同一脊线上的块赋予相同的编号,直到高质量区内所有块都被跟踪完。

跟踪完所有脊线后,可以判断终点(包括起点)的类型:

(1)如果该终点所在区块位于高质量区域的边缘,即沿着当前方向的下一区块属于低质量区域或者背景区,或者已经到了图像区域外,那么该终点是脊线的中间点,不是特征点。

(2)如果该终点所在区块在高质量区域的内部,且与8邻域中其它编号的脊线点不在同一脊线上,则该终点为脊线端点。

(3)如果该终点所在区块在高质量区域的内部,且与8邻域中其它编号的脊线点在同一脊线上,则该终点为分叉点。

若该脊线终点是端点或分叉点,则在该点所在区块内用机器学习的方法计算方向^[15],然后用与低质量区域内相同的方法,准确提取该节点的坐标和方向。

本文方法与文献[10]方法的不同之处在于:

(1)跟踪起始点的选择,该点位于高质量区,纹路清晰,特征的准确性高。

(2)跟踪不需要纹路方向,而是根据跟踪的结果,判断大致的脊线方向,因此不需要以计算方向为前提,减少了计算量。

(3)已经跟踪的脊线,可以指导相邻脊线的跟踪。由于指纹中相邻纹线大致平行(不会出现纹线交叉的现象),方向相差较小,因此按照相邻脊线的方向来跟踪当前脊线,从而减少了计算量。

对于低质量区域,则按照传统的方法,先计算方向^[15],然后增强^[7]、二值化、细化。根据高质量区域纹路方向信息,对低质量区的纹路方向进行修正。首先从高质量区域的边缘开始,考察相邻的高质量区块内的大致方向和低质量区块的平均方向,若差值小于阈值 T_3 ,则认为该区块方向可靠性较高,保留该低质量区块,并进行后续处理,否则舍弃该区块,从而减少了可能检测出的错误节点。

4 实验结果

FVC数据库是指纹研究领域通用的测试库之一,其中FVC2004包含四个不同采集仪的指纹图像,每个库有110个手指,每个手指8幅图像。本文在Celeron 1.70GHz、512M的台式机上分别对四个库进行特征提取实验,结果如表1所示,其中高质量区、低质量区和背景区所占的比例分别是其包含的区块数与整个图像区块数之比,后两列是两种方法的运算时间(其中增强细化算法应用于FVC2004的参赛算法P050)。

表1 FVC 2004 上的实验结果

| FVC 2004 | 图像 尺寸 | 高质量 区(%) | 低质量 区(%) | 背景区 (%) | 增强细 化*(s) | 本文方 法(s) |
|-------------|-----------|-------------|-------------|------------|--------------|-------------|
| DB1 | 640 * 480 | 18.6 | 22.1 | 59.3 | 3.7 | 2.8 |
| DB2 | 328 * 364 | 37.6 | 39.0 | 24.4 | 1.6 | 1.0 |
| DB3 | 300 * 480 | 32.2 | 41.3 | 26.5 | 2.0 | 1.2 |
| DB4 | 288 * 384 | 32.4 | 46.9 | 20.7 | 1.5 | 0.9 |

由表1可知,图像的尺寸是影响特征提取时间的最重要的因素。这是由于增强细化方法要对图像每个像素进行点方向计算,准确的方向计算的运算量大,耗时多。经过分割后,背景区域并不继续处理,故特征提取时间与图像尺寸并不是简单的正比例关系。本文提出的基于图像质量进行分区后,低质量区域采用与增强细化方法相同的算法来处理,高质量区域由于不需要在每个像素上计算方向而减少了运算量。另外,直接从灰度图像中提取特征要比增强细化方法的处理简单,运算量少,从而本文方法的时间更短。

5 结束语

本文基于图像质量进行分区,对高质量的区域直接跟踪纹线提取节点,仅计算节点处的方向,对低质量区域先计算方向、增强再提取特征。这种图像质量计算方法简单快速,虽然对图像质量刻画简单,但对高质量区和背景区的区分准确,同时高质量区方向等特征准确性高,可以用于指导低质量区的方向计算。该方法既克服了直接从灰度图像中低质量区域不能准确提取特征的不足,同时又避免了高质量区域的方向计算、增强、二值化和细化等的大量运算。实验表明,该算法不仅提高了特征提取的速度,在准确性上也有所提高。

(下转第48页)

统并不实用。静态策略则通常由用户决定自己的角色,做出决定的时机一般是登录时刻,但应用系统必须提供角色转换的机制,便于用户以不同的角色使用系统。

权能传递是指一个用户可以将自己具有的权能复制或赠送给另一个用户。权能的传递可以进一步提高授权管理的效能,用户之间权能的传递可以形成一种自组织的动态安全结构,减轻了授权管理员的工作负担(这是图3中存在于 User-Capability 表的主要原因,这个表需要有一个特殊的“符号”列,以区分是增权还是减权)。但是,这种机制容易造成系统的安全隐患,权能的泛滥最终导致所有用户拥有所有权能。因此,权能对象本身也应该纳入到访问控制系统中,对于权能 Object 的 Operation 集合通常是{Copy, Transfer},具有权能 C 的用户 A 可以将 C 传递用户 B,而用户 B 可以将 C 传递用户 A,等价于权能 C 的返还。

因为 SC 与 Role 和 Object 强烈相关,而且在允许权能传递的环境下,SC 也依赖于 User,因此在数据库表 Role-Capability 和 User-Capability 中的 SC 相关属性应该是一组表达式(用字符串的形式存储)。SC 的实现关键在于 Role 属性和 Object 属性的匹配关系,参与匹配操作的属性类型应该相同,通常情况下是数值类型和字符串类型,数值类型的匹配主要是算术比较和位操作,字符串类型的匹配则是子串匹配关系。至于获得 Role 对象和 Object 对象的属性值的方法可以利用 Java 的 Reflect 机制来完成。

访问控制机制的实现不仅在服务层,J2EE 表现层的访问控制不容忽视。J2EE 的应用控制器通常映射为 URL,因此权能对象的 Object 为 URL 字符串。但是,复杂应用为 URL 定义了时限,而且在 Request 和 Session 中存储了一些访问控制信息,因此也需要使用 TC 和 SC 进行描述。而 HTML 交互组件的访问控制还没有一个优雅的(Elegance)解决方案,我们采用的策略主要有四种:(1)在 JSP 中使用 Custom Tag 控制交互组件的可见性;(2)尽量为不同的角色编写不同的 JSP;(3)将具有共性的交互组件封装成共享的 JSP,在展示页面中 include 这些共享 JSP;(4)在大量使用 AJAX 技术的应用中,使用 AOP(Aspect-Oriented Programming,简称 AOP)对交互组件进行访问控制。

4 结束语

我们通过对 NIST RBAC 参考模型和权能机制的研究,对 J2EE 应用的特殊结构给出了一种可行的访问控制机制,就权能表的维护和持久化问题以及角色冲突和权能的空间约束问题进行了讨论。

我们使用了“类用户组”的模型,以满足大批量用户的角色变更需要;使用关系数据管理系统进行的权能表持久化,可以满足授权频繁变更的性能需求;使用静态策略和角色动态切换机制解决了角色冲突问题;使用权能传递机制提高了授权管理的效能;使用 Java 的 Reflect 机制实现空间约束,这些方法的结合较好地保证了应用的访问控制能力,可以满足 J2EE 中业务管理的安全需求。

参考文献:

[1] Joshi J B D, et al. Security Models for Web-Based Applica-

tions[J]. Communications of the ACM, 2001, 44(2): 38-44.

- [2] DoD National Computer Security Center, Department of Defense Trusted Computer Systems Evaluation Criteria[Z]. DoD 5200. 28-STD, 1985.
- [3] Sandhu R, Ferraiolo D, Kuhn R. The NIST Model for Role-Based Access Control: Towards a Unified Standard[C]//Proc of the 5th ACM Workshop on Role-Based Access Control, 2000: 26-27.
- [4] Ferraiolo D F, Kuhn D R, Chandramouli R. Role-Based Access Control[M]. ARTECH HOUSE, 2003.
- [5] Tari Z, Chan S. A Role-Based Access Control for Intranet Security[R]. IEEE Internet Computing, 1997: 24-34.
- [6] Lampson B. Protection[J]. ACM Operating System Reviews, 1974, 8(1): 18-24.

(上接第6页)

参考文献:

- [1] Feng J. Combining Minutiae Descriptors for Fingerprint Matching[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(1): 342-352.
- [2] Jie Y, Fang Y Y, Renjie Z, et al. Fingerprint Minutiae Matching Algorithm for Real Time System[J]. Pattern Recognition, 2006, 39(1): 143-146.
- [3] Yager N, Amin A. Fingerprint Verification based on Minutiae Features: A Review[J]. Pattern Analysis and Applications, 2004, 7(1): 94-113.
- [4] Qi J, Yang S, Wang Y. Fingerprint Matching Combining the Global Orientation Field with Minutia[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(15): 2424-2430.
- [5] Hong L, Wan Y, Jain A. Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8): 777-789.
- [6] Ross A, Jain A, Reisman J. A Hybrid Fingerprint Matcher[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(7): 1661-1673.
- [7] Zhu E, Yin J, Zhang G. Fingerprint Enhancement Using Circular Gabor Filter[C]//Proc of Int'l Conf on Image Analysis and Recognition, 2004: 750-758.
- [8] 傅景广, 许刚, 王裕国. 基于二值图像的指纹细节点提取[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(4): 720-727.
- [9] Ji L P, Yi Z. Fingerprint Orientation Field Estimation Using Ridge Projection[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(5): 1491-1503.
- [10] Maio D, Maltoni D. Direct Gray-Scale Minutiae Detection in Fingerprints[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(1): 27-40.
- [11] Jiang X, Yau W Y, Ser W. Minutiae Extraction by Adaptive Tracing the Gray Level Ridge of the Fingerprint Image[C]//Proc of IEEE ICIP'99, 1999: 852-856.
- [12] Liu J, Huang Z, Chan K L. Direct Minutiae Extraction from Gray-Level Fingerprint Image by Relationship Examination[C]//Proc of IEEE ICIP'00, 2000: 427-430.
- [13] Chang J, Fan K. Fingerprint Ridge Allocation in Direct Gray-Scale Domain[J]. Pattern Recognition, 2001, 34(10): 1907-1925.
- [14] 王芙蓉, 程鹏, 邹璇. 直接提取指纹特征算法的优化研究[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(5): 557-564.
- [15] 祝恩, 殷建平, 张国敏, 等. 一种基于机器学习的指纹纹路方向计算方法[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(12): 2051-2057.