

一种基于局部结构信息的指纹伪特征滤除算法

王建永 郭成安

(大连理工大学电子与信息工程学院, 大连 116023)

摘要 自动指纹识别系统中, 灰度指纹图象经过预处理过程得到细化二值图象, 其中往往含有大量的伪特征, 这将后续的分类、匹配等操作造成不良影响, 导致系统识别率下降。为此首先提出一种新的快速纹线跟踪算法——8邻域编码纹线跟踪算法, 然后提出一种基于局部结构信息的指纹伪特征滤除算法。该伪特征滤除算法是在纹线跟踪的基础上, 提取指纹特征点的若干属性, 并结合特征点的局部结构信息, 对各种伪特征结构进行识别和滤除。实验结果表明, 本方法可以快速、准确、彻底地滤除这些伪特征结构, 效果令人满意。

关键词 计算机图象处理(520·6040) 指纹 特征提取 伪特征 纹线跟踪 后处理

中图分类号: TN919.8 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)12-1467-08

An Elimination Algorithm of False Features for Fingerprints Based on Local Structural Information

WANG Jian-yong, GUO Cheng-an

(College of Electronics and Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023)

Abstract In AFIS (Automated Fingerprint Identification System), the gray fingerprint image is transformed into a thinned binary image in which there are a mass of false features that will affect the follow-up classification and verification and reduce the identification rate of the system. In this paper, a new fast ridge tracing algorithm, 8-neighbour coding ridge tracing, is proposed firstly. Then a post-processing algorithm is presented for eliminating the false features based on local structural information and the attributes of the features that are obtained by the tracking algorithm. Pseudo-structures in fingerprints, such as short lines, break ridges, spurs, forks, isolated islands, bridges, interlinked islands and triangles, can be identified and eliminated by the approach. The validity of the method is confirmed by experiments conducted in the paper.

Keywords Fingerprint, Feature extraction, False feature, Ridge tracing, Post-processing

0 引言

指纹因具有终生的稳定性和特殊的个性已成为个人身份认定的重要手段。计算机技术和图象处理技术的发展促进了指纹识别技术的提高。基于计算机的自动指纹识别系统(AFIS)通常由图象输入、预处理、特征提取、分类和匹配等几部分组成。输入计算机的灰度指纹图象经过分割、增强、二值化、细化等预处理过程, 成为二值的指纹骨架图象。特征提取是在细化二值图象的基础上提取细节点, 用于后续

的分类、匹配等操作。通常主要使用纹线的末梢点和分支点作为特征点。因此, 这两类细节点提取的正确与否直接影响分类、匹配操作的效果。事实上, 由于种种原因, 摄取的指纹通常含有断纹、褶皱、模糊、灰度不均匀等质量问题, 而且预处理算法对各个指纹的适应性和有效性也会不同, 因此得到的细化二值图象往往含有大量的伪特征点。伪特征点的数目达到一定程度, 就会严重影响后续操作, 使分类、匹配等算法复杂度增加, 甚至会影响整个系统的正确率。这样, 尽可能准确地识别伪特征点并滤除它们, 对整个自动指纹识别系统来说将是十分必要的。

基金项目: 辽宁省科学技术基金(20022139)

收稿日期: 2002-10-29; 改回日期: 2003-06-20

前人在细化二值指纹图象的伪特征滤除方面已做了大量的工作。Chen 等人提出了一种适于处理短线和断纹情况的三步后处理方法^[1]；Ratha 等人使用自适应形态滤波器对指纹骨架图象进行处理^[2]，适于滤除断纹、毛刺和边界；Huang 提出把指纹图象分解为谷图象和脊图象^[3]，根据脊图象可以去除图中的毛刺、洞、桥和断纹，同样的算法作用到谷图象上可以去除图中的断纹、交叉及其他特殊结构。该方法能对多种特殊结构进行识别和滤除，但算法复杂，速度较慢。文献[4]提出了细化图象的纹线跟踪技术及基于纹线跟踪的伪特征判别方法，可以准确滤除图中的毛刺、小桥和小孔等噪声。Xiao 等人提出了一种统计和结构相结合的后处理方法^[5]，依次对图中的断纹、叉形、桥、三角、梯形等复杂结构进行循环判断和滤除。该方法是目前较为完善的后处理方法之一，对细化指纹图象中的典型结构也都能识别，但也有一些缺陷，如对异常结构不能识别，循环操作计算量大等。

本文通过对细化二值指纹图象中各种伪特征结构进行深入分析，提出了一种新的伪特征滤除方法。首先，提出了一种新的快速纹线跟踪方法，该方法把8邻域编码技术和查找表法引入到纹线跟踪中，从而提高了跟踪的速度；其次，利用纹线跟踪的结果，提取特征点的各种属性，然后，结合特征点的结构信息，总结出各种伪特征结构，如短线、断纹、毛刺、叉形、孤立岛屿、小桥、连环岛屿、三角等的局部结构特征，进而对其进行识别和滤除；最后，给出实验结果。因为该方法基于快速纹线跟踪技术，并且只对所有特征点进行一次扫描，所以该方法速度快，而且其不仅对典型的伪特征结构进行识别，对典型结构的变异结构也能识别，因此对真特征点保留、伪特征的滤除效果比其他方法要好得多。

1 8邻域编码纹线跟踪算法

纹线跟踪就是从纹线的一点出发，沿着纹线的走向，达到该纹线上的另一点，并对走过的点进行记录。跟踪结果可以用来提取特征点属性、判别伪特征结构，最后达到伪特征滤除的目的。文献[4]提出的纹线跟踪技术是目前常用的方法，它采用 3×3 窗口作为纹线跟踪前进识别器，根据窗口中心点的类型判定下一个待跟踪点。由于每一步都要使用 3×3 窗口获取当前点和上一个被跟踪点的类型，而且需以

一定规则对当前点的8邻域像素逐个进行搜索来推断下一点，所以此算法比较复杂，运行速度较慢。本文深入分析了细化二值指纹图象的特点，在此算法的基础上，用8邻域编码表示当前点的类型和8邻域状态，然后用查找表法判断所要跟踪的下一点。该算法避免了8邻域信息的重复计算，跟踪结果与文献[4]的算法相同，而速度则大大提高了。

8邻域编码是图象处理中一种常用的技术。由于细化二值图象中每个像素点的灰度值只有2种情况，所以只需1比特的数据(0或1；设0表示背景白点，1表示纹线黑点)就可以表示。那么，如果把 P 点8邻域像素数据按一定顺序放入一个字节(8比特)中，就可以用该字节数据来表示 P 点的8邻域信息，称之为点 P 的8邻域编码。对于图1所示的8邻域点，定义8邻域编码顺序如图2所示。

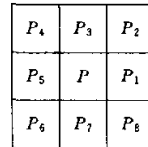


图1 P 点8邻域

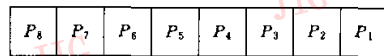


图2 P 点的8邻域编码

则 P 点8邻域编码公式为

$$N_c(P) = \sum_{i=1}^8 2^{i-1} \times p_i \quad (1)$$

其中， p_i 表示 P 点第 i 个8邻域像素点 P_i 的灰度值。虽然8比特的8邻域编码在理论上可能有256种可能值，但由分析可知，对于细化彻底的二值指纹图象，只有60种数值，而且对应于某种特定的模式，则仅对应几个数值。根据该数据，就可以准确识别该点的类型和8邻域状态，然后用查找表法判断下一个待跟踪点。跟踪过程中，每前进一步，就是从当前点 P 的8邻域点中选择一点 P_i 作为下一个待跟踪点。显然，前进的方向只能有8种可能。定义 $D_c = i$ 作为点 P 到点 P_i 的方向编码，定义 $\overline{D_c}$ 作为点 P 到点 P_i 方向编码的补码，即点 P_i 到点 P 的方向编码。 D_c 和 $\overline{D_c}$ 的关系可以表示为

$$\overline{D_c} = \begin{cases} D_c + 4 & \text{当 } D_c \leq 4 \\ D_c - 4 & \text{当 } D_c > 4 \end{cases} \quad (2)$$

取图象的左上方的起始点作为坐标参照系的原点，以向右的方向为 x 轴的正方向，以向下的方向为 y

$Dc1_i$ 或 $Dc2_i$. 跟踪时, 拿上一个被跟踪点 P_{i-1} 选中方向 SDc_{i-1} 的补码 $\overline{SDc_{i-1}}$ 与当前点 P_i 的可选方向 $Dc1_i$ 和 $Dc2_i$ 进行比较, 选择不等于 $\overline{SDc_{i-1}}$ 的那个可选方向作为当前点 P_i 的选中方向 SDc_i , 然后从表 1 中读取该方向的坐标增量 $(\Delta x, \Delta y)$, 则下一个被跟踪点 P_{i+1} 的坐标就是当前点 P_i 的坐标 (x_i, y_i) 与坐标增量 $(\Delta x, \Delta y)$ 的和, 即 $(x_{i+1}, y_{i+1}) = (x_i + \Delta x, y_i + \Delta y)$. 这时将 P_{i+1} 的纵横坐标及其类型作为链表的一个单元加进链表末尾. 这样, 纹线跟踪便前进一步.

2 特征点的属性

末梢点和分支点作为细化二值指纹图象的特征点, 分别记为 $Mend$ 和 $Mbif$. 在每幅图象数以百计的特征点中含有大量虚假特征点, 称之为伪特征. 要想识别并滤除这些伪特征, 需要首先提取特征点的一些属性.

文献[5]中用到的坐标 (x, y) 和类型 t 是特征点最直接的属性, 也是最容易得到和最有用的属性. x, y 分别表示特征点在细化二值图象中的横、纵坐标值. t 代表特征点的类型: $t=1$ 为末梢点; $t=3$ 为分支点.

根据观察, 可以发现构成伪特征结构的特征点之间的距离一般小于纹线间的平均距离. 分别以每一个特征点为起点, 对末梢点作 1 个方向的纹线跟踪, 对分支点作 3 个方向的纹线跟踪, 最大跟踪步长设为 λ . λ 即纹线间的平均距离, 可以根据指纹采集系统而定, 这里取 $\lambda=6$. 在每一个方向的跟踪过程中, 当遇到了末梢点或分支点以及跟踪步长达到阈值 λ 时, 该方向跟踪即可停止. 把纹线跟踪的结果保存起来, 它们不仅直接参与伪特征结构的识别, 而且对下面方向属性的提取也起到关键性作用. 纹线跟踪的结果是: 纹线跟踪最后一点的坐标 (x_{LP}, y_{LP}) 和类型 t_{LP} . 对于末梢点, 只有 1 组这样的数据, 而分支点则有 3 组这样的结果. 其中类型 t_{LP} 可以有 3 个值: $t_{LP}=1$ 表示最后一点为末梢点; $t_{LP}=2$ 表示此点为连续点, 即跟踪步长达到 λ 而停止; $t_{LP}=3$ 表示跟踪到一个分支点而停止.

对于分支点, 可以取它的 3 条纹线的方向作为一种结构属性. 定义纹线的方向为纹线跟踪最后点指向特征点的方向, 则分支点第 i ($i=1, 2, 3$) 条纹线方向 D_i 为

$$D_i = \arctan \frac{y_{Mbif} - y_{LP}}{x_{Mbif} - x_{LP}} \quad (3)$$

如图 5(a) 所示, D_1, D_2, D_3 分别表示纹线①、②、③的方向.

特征点的方向 MD 对于末梢点和分支点定义不同. 对于末梢点, 特征点方向就是纹线的方向, 如图 5(b) 所示. 对于分支点, 取相邻最近的两条纹线方向的平均值作为特征点的方向. 如图 5(a) 中, 纹线①和纹线②相邻最近, 取纹线方向 D_1 和 D_2 的平均值作为分支点 $Mbif$ 的方向 MD .

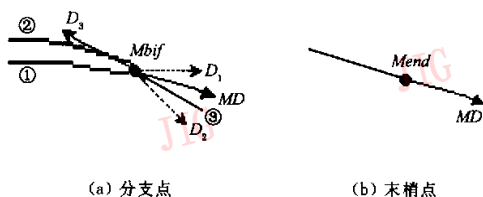


图 5 纹线方向及特征点方向

特征点间的距离 R 用特征点坐标的欧氏距离来衡量. 特征点 M_1 和 M_2 的方向差 β 为

$$\beta(MD_{M_1}, MD_{M_2}) = \min(|MD_{M_1} - MD_{M_2}|, 2\pi - |MD_{M_1} - MD_{M_2}|) \quad (4)$$

如果 $\beta > \pi/2$, 称特征点 M_1 和 M_2 为对面特征点对.

分析纹线跟踪结果, 如果每个方向上的跟踪是因为遇到了另外的末梢点或分支点而停止, 即纹线跟踪结束点的类型 t_{LP} 为 1 或 3, 则称该起始特征点与纹线跟踪终止特征点为连接特征点对. 对于末梢点, 最多只能有 1 个末梢点或分支点与之连接; 对于分支点, 最多可有 3 个与之连接的特征点.

3 伪特征结构的判别

特征点及其属性提取出来以后, 模仿指纹专家手工判别伪特征的行为, 在文献[5]提出的结构识别方法基础上, 对特征点与其周围其他特征点构成的局部结构进行分析, 提出了新的典型伪特征结构及其变异结构的识别方法, 判别哪些是需要保留的真特征, 哪些是必须滤除的伪特征点.

分析细化二值指纹图象可以发现, 通常认定的真特征是这样一些特征点: 对于真末梢点, 在它的周围半径 R ($\lambda < R < 2\lambda$) 范围内没有与之对面的其他特征点; 对于真分支点, 在它的周围半径 R 范围内没

有与之连接的其他特征点. 可以以此作为判断特征点真伪的准则, 但这只是真特征的充分条件, 因为不符合这一准则的特征点也可能是真特征.

对于每一个特征点, 以它为中心, 在其周围半径 R 范围内搜索其他特征点, 设其他特征点的个数为 N . 若 N 等于 0, 则该特征点肯定符合准则, 是真特征. 若 N 不为 0, 则需要分析中心特征点与这 N 个特征点之间的结构关系: 如果也符合准则, 则是真特征; 如果不符合, 情况就比较复杂. 把这些复杂情况分为如下几种伪特征结构: 以末梢点为中心的短线、断纹、毛刺和叉形; 以分支点为中心的独立岛屿、小桥、连环岛屿和三角.

3.1 以末梢点为中心的伪特征结构

以末梢点为中心的伪特征结构如图 6 所示.

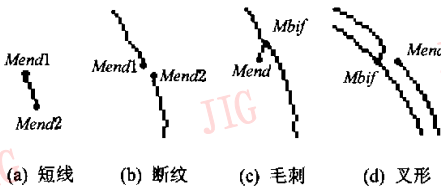


图 6 以末梢点为中心的典型伪特征结构

(1) 短线

图 6(a) 所示是由于输入噪声等原因造成的伪特征短线结构, 表现为与中心末梢点 $Mend1$ 连接的特征点是另一个末梢点 $Mend2$. 这两个特征点都是伪特征, 需要滤除.

(2) 断纹

典型的断纹结构如图 6(b) 所示, 它是由于指纹褶皱、疤痕等原因造成的, 表现为邻域内存在一个与中心末梢点 $Mend1$ 对面的末梢点 $Mend2$. 实际情况往往比此典型结构复杂一些, 当中心末梢点在邻域内有多个对面末梢点时, 就需要判断哪一个末梢点与之构成对面特征点对更合适. 如图 7(a) 所示, 中心末梢点 A 有两个对面末梢点 C 和 D , 显然 A 与 C 构成对面末梢点对比 A 与 D 合理. 为了对这些对面末梢点进行评价, 就需要引入其他参量. 定义中心末梢点 $Mend1$ 指向对面末梢点 $Mend2$ 的方向为它们连线 L 的方向 CD

$$CD = \arctan \frac{y_{Mend2} - y_{Mend1}}{x_{Mend2} - x_{Mend1}} \quad (5)$$

并且从以下 3 个方面对所有与之对面的末梢点进行打分: (1) 如果中心末梢点方向 MD_{Mend1} 与连线方向

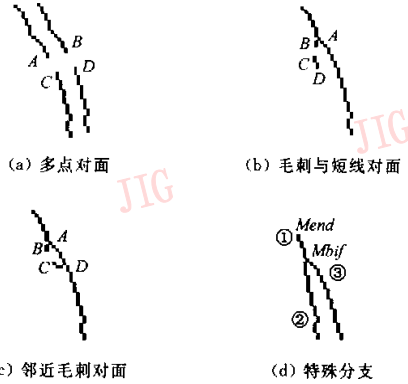


图 7 断纹和毛刺特殊情况示例

CD 的差值 $\beta(MD_{Mend1}, CD) < \pi/2$, 即中心末梢点所在纹线与连线大约在同一直线上, 则加 1 分; (2) 如果连线方向 CD 与对面末梢点方向 MD_{Mend2} 的差值 $\beta(CD, MD_{Mend2}) > \pi/2$, 即对面末梢点所在纹线与连线大约在同一直线上, 则加 1 分; (3) 中心末梢点 $Mend1$ 与对面末梢点 $Mend2$ 的距离 $R(Mend1, Mend2) < \lambda/2$, 即两点间的距离小于纹线平均距离的一半, 则加 1 分. 打分之后, 还要对一些特殊情况进行处理. 例如如图 7(b) 所示, 本来是一个短线和一个毛刺, 很容易误判为 B 与 C 为断纹, 而造成伪特征 A 和 D 的滤除失败. 同理, 图 7(c) 中的两个毛刺会误判为 B 与 C 为断纹, 不能滤除 A 和 D . 针对前者, 当判断中心末梢点与分支点相连, 而对面末梢点与末梢点相连时, 将该对面末梢点的分数减为 0; 针对后者, 当中心末梢点和对面末梢点都与分支点相连, 而且这两个分支点为相连特征点对时, 则分数减为 0. 打分结束后, 分数越高说明该对面末梢点与中心末梢点构成的断纹结构越合理. 因此, 对大于 1 的分数进行比较, 记下分数最高的对面末梢点. 当出现两个或多个相同最高分时, 可以选择 $\beta(MD_{Mend1}, CD)$ 更小的, 即连线更平滑的对面末梢点. 最后滤除中心末梢点和该对面末梢点.

(3) 毛刺

由于指纹纹线不够平滑, 毛刺在细化二值图象中十分常见, 如图 6(c) 所示, 表现为中心末梢点 $Mend$ 与分支点 $Mbif$ 构成连接特征点对. 另外, 图 7(d) 所示为一种特殊的分支结构, 虽然 $Mend$ 与 $Mbif$ 构成了连接特征点对, 但是这显然不是毛刺结构. 为了防止对类似情况的误判断, 增加一个条件: 连接分支点的另外两条纹线②和③的方向差 $\beta(D_2,$

$D_3) > \pi/2$, 即要求另外两条纹线大约在同一直线上. 这样就保护了类似图 7(d) 的结构. 当两个条件都得到满足时, 滤除 $Mend$ 和 $Mbif$.

(4) 叉形

图 6(d) 是典型的叉形结构, 它是由一条纹线断开而与相邻的纹线相连形成的, 表现为中心末梢点 $Mend$ 与分支点 $Mbif$ 构成对面特征点对. 中心末梢点在邻域内可以有多个对面分支点, 因此可以采用与断纹判断相似的过程对叉形进行判断: 打分、特殊情况减分、根据分数选取最合理结构. 这里打分的条件只要一个即可: 中心末梢点 $Mend$ 与对面分支点 $Mbif$ 的距离 $R(Mend, Mbif) < \lambda/2$, 即两点间的距离小于纹线平均距离的一半, 则加 1 分. 也就是说, 与中心末梢点很近的对面分支点构成叉形结构最合理. 特殊情况判断比较苛刻: 如果分支点的 3 条纹线中任一纹线跟踪最后一点的类型不是连续点, 即分支点与末梢点或分支点连接, 就减分为 0. 最后选取分数最高的对面分支点与中心末梢点构成叉形结构. 当出现两个或多个相同最高分时, 可以选择 $R(Mend, Mbif)$ 更小的, 即距离更近的对分支点. 滤除中心末梢点和该对面分支点.

3.2 以分支点为中心的伪特征结构

以分支点为中心的伪特征结构如图 8 所示.

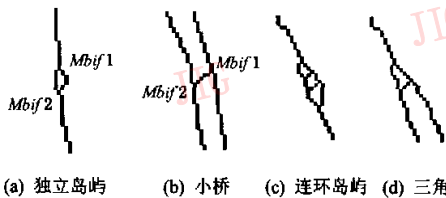


图 8 以分支点为中心的典型伪特征结构

(1) 独立岛屿

图 8(a) 所示是由于纹线空洞等原因造成的独立岛屿结构, 表现为与中心分支点 $Mbif1$ 连接的特征点中至少有 2 个是分支点, 而且这两个连接分支点实际上是同一个分支点 $Mbif2$. 这两个特征点都是伪特征, 需要滤除.

(2) 小桥

典型的小桥结构如图 8(b) 所示, 它是由于指纹纹线间的噪声导致纹线错误连接等原因造成的, 表现为中心分支点 $Mbif1$ 有一个连接的分支点 $Mbif2$, 而且这两个分支点的另外两条纹线分别在同一直线上, 因此可以用两条纹线的方向差是否大

于 $\pi/2$ 来判断. 滤除伪特征 $Mbif1$ 和 $Mbif2$.

(3) 连环岛屿与三角

图 8(c) 和 (d) 所示为典型的连环岛屿和三角结构, 它们是由于噪声等原因造成的较为复杂的伪特征结构, 表现为多个分支点构成连环的连接特征点对. 图 9(a) 和 (b) 分别为连环岛屿和三角的拓扑结构示意图, 它们都是以 M_{10} 为中心分支点. 如果用 n 来表示它们的级数, 则图 9(a) 为 $n=3$ 的连环岛屿, (b) 为 $n=2$ 的三角结构. 对于连环岛屿, $n \geq 1$ ($n=0$ 则为独立岛屿); 对于三角, $n \geq 1$ ($n=0$ 则为真分支点). 可以看出这两种结构具有相似性, 都是在两条纹线 ① 和 ② 上有多个分支点并行连接, 区别只在于连环岛屿中的第 n 级分支点 M_{1n} 和 M_{2n} 与同一个分支点连接, 而三角不是. 因此可以用同一个算法——双轨连续跟踪算法, 来对这两种结构进行识别. 如图 10 所示, 该算法分为初始化、循环跟踪和结果分析 3 个阶段.

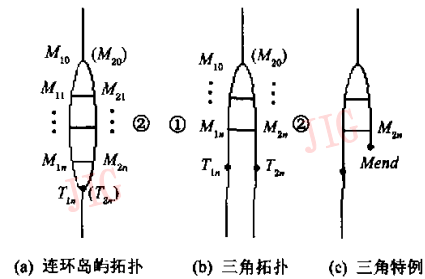


图 9 连环岛屿与三角的拓扑结构及特例

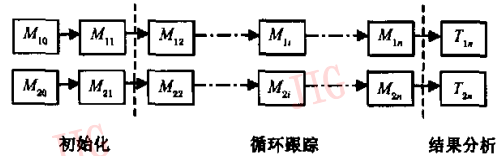


图 10 双轨连续跟踪算法示意图

① 初始化

当中心分支点 M_{10} 至少有 2 个连接特征点是分支点, 并且这两个分支点 M_{11} 和 M_{12} 是一个连接特征点对时, 进入该算法, 并初始化 $M_{20} = M_{10}$, 记录 M_{11} 和 M_{21} , 当前级数 $i=1$.

② 循环跟踪

对第 i 级第 ① 条纹线上的分支点 M_{1i} , 从它的 3 个纹线跟踪最后点中, 找出既不是第 $i-1$ 级第 ① 条纹线上的分支点 $M_{1(i-1)}$, 也不是第 i 级第 ② 条纹线上的分支点 M_{2i} 的那个点 T_{1i} ; 同理, 对第 i 级第 ② 条

纹线上的分支点 M_{2i} , 也可以找到这个点 T_{2i} . 如果 T_{1i} 和 T_{2i} 都是分支点, 而且这两个分支点构成了一个连接分支点对, 则更改当前级数 $i=i+1$, 记录 M_{1i} 和 M_{2i} , 继续循环跟踪; 否则, 进入结果分析阶段.

③ 结果分析

如果 T_{1n} 和 T_{2n} 都是分支点, 而且这两个分支点是同一个点, 则该结构是连环岛屿伪特征结构, 滤除 M_{11} 到 M_{1n} 、 M_{21} 到 M_{2n} , 以及 M_{10} (M_{20}) 和 T_{1n} (T_{2n}), 因为它们都是伪特征点. 如果 T_{1n} 和 T_{2n} 都是连续点或者都是末梢点, 而且分支点 M_{1n} 和 M_{2n} 在 T_{1n} 和 T_{2n} 所在纹线上的方向之差小于 $\pi/2$, 即 T_{1n} 和 T_{2n} 所在纹线是平行的, 则该结构是典型的三角结构, 滤除 M_{11} 到 M_{1n} 、 M_{21} 到 M_{2n} , 而保留 M_{10} (M_{20}), 因为它是真分支点. 图 9(c) 是比较常见的一种类似三角的伪特征结构, 它的特点是 T_{1n} 和 T_{2n} 中有一个是连续点而另一个是末梢点 $Mend$, 应该滤除 M_{11} 到 M_{1n} 、 M_{21} 到 M_{2n} , 同时滤除 M_{10} (M_{20}) 和 $Mend$.

4 伪特征滤除算法

在前述纹线跟踪、特征点属性提取和伪特征结构识别的基础上, 给出细化二值指纹图象特征提取和伪特征滤除的算法.

(1) 预处理

上面提到, 一幅细化彻底的指纹图象上只有末梢点、连续点和分支点 3 类纹线点, 纹线跟踪技术是建立在这个条件基础上的. 但实际的细化二值指纹图象往往因为各种原因造成细化不够彻底, 出现少数几个特殊情况, 譬如孤立点、不规则分支点等. 特殊点虽然数目很少, 但是会导致纹线跟踪错误, 使伪特征结构识别失败. 因此, 必须首先对细化二值图象扫描一遍, 去除这些特殊点.

(2) 特征提取

基于特征点的属性, 本文定义特征点向量 $MV = ((x, y), t, (x_{LP}[3], y_{LP}[3]), t_{LP}[3], D[3], MD)$. 其中 (x, y) 为该特征点在图象中的坐标, t 为该特征点的类型, $(x_{LP}[3], y_{LP}[3])$ 为纹线跟踪最后点在图象中的坐标, $t_{LP}[3]$ 为纹线跟踪最后点的类型, $D[3]$ 为纹线的方向, MD 为该特征点的方向.

三维数组 $x_{LP}[3], y_{LP}[3], t_{LP}[3]$ 中, 当 $t=3$ 时, 3 维都有意义, 当 $t=1$ 时, 只有第 1 维有意义. 三维数组 $D[3]$ 中, 只有 $t=3$ 时, 3 维都有意义.

扫描预处理后的细化二值图象, 对每个像素点

进行 8 邻域编码, 并保存, 这个参数将在后面反复用到. 根据 8 邻域编码, 查找像素的类型, 提取末梢点和分支点作为特征点, 并且从每个特征点出发, 利用上述 8 邻域编码纹线跟踪算法进行纹线跟踪, 由跟踪结果计算特征点的各项属性, 构造特征向量, 建立特征向量链表.

(3) 伪特征识别和滤除

对每一个特征点, 进行以下局部处理:

① 若半径 R 内无相邻特征点, 则此特征点是真特征;

② 若半径 R 内有 N 个相邻特征点, 则按第 3 节给出的方法判断是否存在伪特征结构:

对末梢点, 分别判断是否存在短线、断纹、毛刺、叉形等伪特征结构, 如果都没有, 则其是真特征, 如果存在其中的一种或几种, 则按优先级: 断纹 > 短线 > 叉形 > 毛刺的顺序进行滤除;

对分支点, 分别判断是否存在独立岛屿、小桥、连环岛屿、三角等伪特征结构, 如果以上结构都不存在, 则其是真特征, 如果存在以上结构中的一种或几种, 则按优先级: 独立岛屿 > 小桥 > 连环岛屿 > 三角的顺序进行滤除.

(4) 滤除边缘特征点

采集的指纹总是有大小的, 它的边缘部分不可避免地含有大量伪特征点, 去除之.

5 实验结果

将上述伪特征滤除方法用于指纹细化二值图象的特征提取过程中, 通过指纹图象处理实验表明, 伪特征滤除效果是令人满意的. 图 11 是两个指纹细化二值图象的局部, 其中, (a)、(b) 是一个拱形指纹, (c)、(d) 是一个环形指纹. (a)、(c) 分别表示伪特征滤除前特征提取的效果, 其中较大的黑点表示该点被判断为特征点; (b)、(d) 分别是伪特征滤除后的效果, 其中, 区域①是一个特殊的小桥结构, 经本文算法处理, 在图 11(b) 中小桥两端的分支点被去除了, 而未梢点仍被保留; 区域②是一个典型的短线结构, 处理后, 两头的末梢点都被去除; 区域③是一个复杂的区域, 包含两个特殊的三角结构和两个断纹结构, 处理后, 两个三角的顶点被保留, 两个断纹的对面末梢点也被去除了; 区域④是一个典型的疤痕造成的断纹区域, 在本例中亦被很好地处理了; 区域⑤是一个典型的连环岛屿结构, 结果所有的分支点

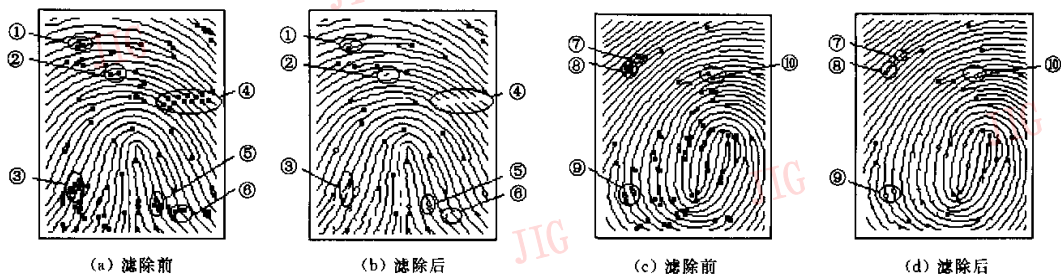


图 11 实验效果示例

都被去除了;区域⑦是一个典型的小桥结构;区域⑧是一个典型的三角结构,只有顶点被保留;区域⑨是两个典型的独立岛屿结构,两端的分支点都被去除;区域⑩是一个典型的叉形结构,对面的末梢点和分支点都被去除。可以看出,该方法对本文所定义的几种伪特征结构都进行了准确、彻底的识别和滤除。在该拱形指纹的整幅图象中,滤除前共提取特征点 226 个,滤除后只保留了 44 个;在该环形指纹的整幅图象中,滤除前共提取特征点 194 个,滤除后只保留了 33 个。这将大大方便后续的分类、匹配等操作,提高了整个系统的性能。而且,由于该方法采用快速纹线跟踪技术,只对特征向量链表进行操作,并且只需进行一次循环判断,所以速度很快,完全可以满足实时系统的要求。

6 结 语

针对自动指纹识别系统中预处理后的细化二值指纹图象含有大量伪特征的情况,本文提出了一种新的伪特征滤除方法。它是基于 8 邻域编码纹线跟踪技术,提取特征点的若干结构属性,并在此基础上总结出中心特征点与邻域内特征点之间的几种局部结构关系,提出了伪特征结构识别和滤除的算法。实验结果表明,该方法快速、准确、有效,可为自动指纹识别系统中后续的分类、匹配等环节得以顺利进行提供有力的保障,邻域编码跟踪算法和基于局部结构信息判别伪特征方法的思路对解决其他相关的图象处理与识别问题亦有借鉴作用。

参 考 文 献

1 Chen Z, Kuo C H. A topology-based matching algorithm for fingerprint authentication [J]. In: Proceedings of 25th Annual 1991 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology[C] Taipei, 1992; 84~87.

2 Ratha N K, Chen S, Jain A K. Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images[J]. Pattern Recognition, 1995,28(11):1657~1672.
 3 Huang D C Douglas. Enhancement and feature purification of fingerprint images [J]. Pattern Recognition, 1993, 26 (11): 1661~1671.
 4 刘文星, 王肇圻, 母国光. 纹线跟踪及其在细化指纹后处理中的应用[J]. 光电子·激光, 2002,13(2):184~187.
 5 Xiao Qinghan, Raafat Hazem. Fingerprint image postprocessing: A combined statistical and structural approach [J]. Pattern Recognition, 1991,24(10):985~992.



王 永 1978 年生,2000 年于大连理工大学获电子工程专业学士学位,2003 年于大连理工大学获信号与信息处理专业硕士学位。主要研究方向为数字图象处理与识别。



郭成安 1955 年生,1999 年于美国夏威夷大学获电子工程系博士学位,现为大连理工大学电子与信息工程学院教授,信息技术研究所所长。主要研究方向为数字图象处理与识别、智能信息处理技术。

李建华 1960 年生,硕士,现为大连理工大学电子与信息工程学院副教授。主要研究方向为数字信号/图象处理、视频编码压缩技术。