

# 基于拓扑学及指纹分类的指纹匹配算法

任伟建,雷 声,康朝海,滕 飞

(东北石油大学 电气信息工程学院,黑龙江 大庆 163318)

**摘 要:**随着计算机和网络的迅速发展,基于生物特征识别的智能身份认证技术正受到越来越多的关注。由于指纹识别技术是生物识别领域技术中最成熟的一门应用技术,使得指纹识别成为目前应用最广泛、可信度最高的个人身份认证技术之一。文中依据指纹图像中细节特征点之间的关联性给出了一种指纹识别算法。该算法首先基于指纹分类学的思想,利用中心点和三角点的数量信息对待识指纹图像进行初匹配,然后基于拓扑学思想用可靠性较高的分叉点方向场及其与中心点的方向场差寻找出基准点对,最后利用可变限界盒实现指纹匹配。实验中,该算法使匹配速度提高了40%,误识率和拒识率略有下降,约0.5%。实验结果表明,该算法能快速、准确地定位基准点对,有效地解决提取基准点时的噪声影响,正确有效地实现指纹匹配,同时提高匹配速度及精确度。

**关键词:**指纹分类;拓扑学;分叉点;可变限界盒

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)09-0131-04

## A Fingerprint Matching Algorithm Based on Topology and Fingerprint Classification

REN Wei-jian, LEI Sheng, KANG Chao-hai, TENG Fei

(Electrical Information Engineering Institute, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

**Abstract:** With the rapid development of computer and network technology, the intelligent identity authentication technology based on the recognition of biological features has received the widespread attention. In numerous biological recognition technology, fingerprint recognition technology is the earliest developed and the most widely used. In this paper, on the basis of the characteristics of the fingerprint minutiae in the fingerprint image, a recognition algorithm based on the topological theory and fingerprint classification is given. The algorithm is using the information of the core point and the delta point for fingerprint classification and match at the beginning, and then using the difference of the value of the orientation field between the bifurcation points with high reliability and the core point to find the reference points, at last, using the variable bounding box to match the fingerprint. In the experiments, the algorithm makes the matching speed improved by 40%, and decline the error rate and rejection rate about 0.5%. The results of the experiments show that, the algorithm can quickly, accurately locate the reference points, effectively solve the problem that the noise interferences the reference points screening, correctly and effectively match the fingerprint, and improve the matching speed and accuracy.

**Key words:** fingerprint classification; topology; bifurcation point; variable bounding box

## 0 引 言

在目前的生物识别技术中,以指纹识别技术最为成熟、应用最为广泛<sup>[1]</sup>。它利用每个人指纹纹形特征的惟一性和稳定性识别个人身份。

目前已有指纹特征匹配算法中,有两种应用最为广泛:

第一类是基于脊线和谷线纹形或者细节特征点间

拓扑结构的图形匹配的方式<sup>[2,3]</sup>。这类算法虽然具有一定的容错性,但是对于低质量的录入图像,在解决图像旋转、平移的方面存在缺陷,在少量细节特征点丢失并存在一定数量的伪特征点时,会产生一定的匹配误差。

第二类是基于人工神经网络<sup>[4]</sup>的匹配算法,虽然这类算法的容错性比较好,同时具有解决模糊匹配问题的优势,但依赖于人工神经网络的特性,如果系统不事先经过足够数量的样本训练,便不能快速准确地进行匹配工作,这种算法准备周期较长,不适合用于对实时性要求很高的自动指纹识别系统。

由于指纹细节特征点(端点和分叉点)能够描述指纹的惟一性,且易于检测<sup>[5]</sup>,而相对于端点来说,具

收稿日期:2011-12-26;修回日期:2012-03-27

基金项目:黑龙江省教育科学技术研究项目(12511014)

作者简介:任伟建(1963-),女,博士生导师,教授,研究方向为复杂系统的建模与控制、系统仿真;雷 声(1987-),男,硕士研究生,研究方向为智能控制理论与应用。

有分叉点特性的伪细节特征点出现的概率较低,所以分叉点的可信度远远高于端点。文中利用分叉点的特性给出了一种基于指纹分类学<sup>[6]</sup>及指纹中心点<sup>[7]</sup>和分叉点间拓扑结构特性的指纹匹配算法。首先对待识指纹图像进行基于指纹分类学的初匹配,在初匹配结果的基础上,再对该指纹中每个分叉点与指纹中心点进行拓扑学相似度的计算,相似度高于门限阈值的分叉点对即可被确认为基准点对。基于指纹分类学的初匹配可以一定程度上减少算法的计算量,使匹配速度有显著提高。并且由于本算法采用了可信度更高的分叉点,摒弃了可信度较低的端点对算法准确性的影响,使得整个匹配算法的拒识率和误识率也略有降低。

## 1 算法描述

中心点的特征为周围指纹纹形呈半圆或半椭圆分布,三角点的特征为周围指纹纹形为三部分呈双曲线分布的区域<sup>[8]</sup>。不同的指纹纹形包含的中心点和三角点数量通常不同,但是在一幅指纹图像中最多包含的中心点与三角点数量都为2。计算指纹图像中心点与三角点信息的工作量要比计算细节特征的工作量少得多。所以利用中心点与三角点信息首先将待识图像进行指纹类型的划分,可以大大减少计算量并提高匹配速度。

指纹配准特征点模型的描述:

配准特征点的要素包括两方面的内容:特征点距中心点的距离和该特征点与中心点方向场值之差。

配准的原理是:基于拓扑学原理,分别位于两幅指纹图像中的特征点,若其为相同的两点,则无论图像经过任何形式的旋转和拉伸,特征点与中心点的距离(跨越脊线条数)相同;特征点与中心点方向场值之差变化不大。

(1) 配准特征点的完整模型。

以指纹的中心点作为中心 $O$ 点,记录该点的方向场值,以一定的距离 $R$ 为半径做圆,记录圆内所有特征点相对于 $O$ 点的距离以及各特征点的方向。

(2) 配准特征点的简化模型。

以指纹的中心点作为中心 $O$ 点,遍历指纹图像所有的分叉点,记录指纹模式域内分叉点相对于 $O$ 点的距离以及各点方向。

(3) 特征点配准原理。

记录 $O$ 点(中心点)的方向场,记录 $A$ 、 $B$ 等分叉点的方向场及距离 $O$ 点的脊线条数,若任意 $(A, A')$ 对应两点为相同点,那么两点距离 $O$ 点的脊线条数必然相同,两点的方向场值与 $O$ 点的方向场值之差必然相同。利用这个结论可以作为图像配准的依据,图1所示为该模型的示意图。

## 2 指纹分类过程与指纹匹配

### 2.1 指纹分类过程

指纹纹形通常分为3大类,即箕形、斗形及弓形。文中基于这3大类型的中心点和三角点数量不同的特点,对待识图像进行三角点和中心点的检测并进行指纹类型的划分。



图1 指纹配准特征点模型

#### 2.1.1 三角点和中心点的检测

由于中心点周围指纹纹形呈半圆形或半椭圆形分布,三角点周围指纹纹形为三部分呈双曲线分布的区域,利用此几何特点,文中通过计算像素周围的庞加莱值来得到三角点和中心点,若庞加莱值为 $1/2$ ,则此点是中心点,若庞加莱值为 $-1/2$ ,则此点是三角点。

中心点和三角点的检测算法:

对待识图像中任意一像素点 $(i, j)$ ,则 $(i-1, j-1)$ 、 $(i-1, j)$ 、 $(i-1, j+1)$ 、 $(i, j-1)$ 、 $(i, j+1)$ 、 $(i+1, j-1)$ 、 $(i+1, j)$ 、 $(i+1, j+1)$ 为此点的八邻域像素点。设点 $(i, j)$ 的方向场值为 $O(i, j)$ ,则点 $(i, j)$ 的庞加莱值见公式(1)与(2):

$$\text{Poincare}(i, j) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=0}^N \Delta(k) \quad (1)$$

$$\Delta(k) = \begin{cases} \pi - \Delta(k) & \Delta(k) \geq \frac{\pi}{2} \\ \pi + \Delta(k) & \Delta(k) \leq -\frac{\pi}{2} \\ \Delta(k) & |\Delta(k)| < \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\Delta(k)$ 是待测像素点周围八像素中,相邻两像素方向场值之差,遍历方向为逆时针方向, $N$ 取值为8。

若 $\text{Poincare}(i, j)$ 等于 $1/2$ ,此点为中心点。若 $\text{Poincare}(i, j)$ 等于 $-1/2$ ,此点为三角点。

#### 2.1.2 分类

① 若中心点数目为0或1,且三角点的数目均为0,则认为指纹纹形是弓形;

② 若中心点数目为1或2,且三角点的数目为2,则认为指纹纹形是斗形;

③ 若中心点的数目为1或2,且三角点的数目为1,则认为指纹纹形为箕形。

## 2.2 指纹匹配

### 2.2.1 初匹配

在对待识指纹图像进行了指纹纹形分类后,对待识图像进行初匹配,如果待识图像与模板图像属于同一大类,则初匹配成功并进行最终匹配。如果待识图像与模板图像类型不同,则给出两枚指纹不匹配的结果,在指纹模板数据库中三类指纹纹形均匀分布的前提下,初匹配可以将匹配的搜索区间缩小至三分之一。

### 2.2.2 最终匹配

图像细化<sup>[9]</sup>结束后,首先对指纹分叉点进行提取<sup>[10]</sup>,然后根据提取到的分叉点与中心点进行拓扑学相似度的比对,进行指纹的匹配。

具体过程如下:

①图像方向场计算:设 $(i,j)$ 为图像中的一点,方向场为 $\theta(i,j) = \frac{1}{2} \tan^{-1}(\frac{V_x(i,j)}{V_y(i,j)})$ ,其中 $V(i,j)$ 代表该点的梯度场,计算方法如下:以 $(i,j)$ 为中心,半径为 $r$ ( $r$ 的值根据情况自行选择)的区间进行连续采样 $(i-r, j-r), (i-r+1, j-r) \cdots (i,j) \cdots (i+r, j+r)$ ,对每个点用索贝尔算子分别计算 $x,y$ 两个方向的梯度场 $(p_{x1}, p_{x2}, \cdots, p_{xr \times r}), (p_{y1}, p_{y2}, \cdots, p_{yr \times r})$ 为:

$$V_x(i,j) = \frac{1}{r \times r} \sum_{i=1}^{r \times r} P_{xi} \quad (3)$$

$$V_y(i,j) = \frac{1}{r \times r} \sum_{i=1}^{r \times r} P_{yi} \quad (4)$$

②中心点选取:对于斗形或箕形指纹,选定其方向场值较大的一个中心点;对于弓形指纹,如果中心点数目为0,则选取庞加莱值最大的点作为中心点。

③中心点的方向计算及记录:在指纹图像中,以中心点为中心,计算 $3 \times 3$ 及 $5 \times 5$ 包含的8个方向相互之间差值的和,最小的方向就为中心点的方向,如果有两个方向的和相同,可以取方向的平均值作为中心点的方向,将指纹图像中心点方向记录为 $C(k)$ 。

④分叉点方向场值的记录:遍历指纹图像所有的分叉点,记录下每个分叉点方向场值和中心点方向值之差 $\Delta D(k_i)$ 。

⑤中心点方向和中心点至特征点方向的夹角:设中心点坐标为 $(A,B)$ ,特征点坐标为 $(a,b)$ ,则夹角计算公式为 $\theta(k_i) = \tan^{-1} \frac{b-B}{a-A} - C(k)$ 。

⑥中心点到特征点的距离记录:为了减少指纹图像大小不同以及拉伸畸变造成的距离影响,距离用两点之间的脊线条数来描述,算法如下:在已经完成二值化和细化的指纹数字图像中模拟一条连接特征点和中心点的线段,并顺序读取线段上的点,得到像素的变化次数 $N$ ,则理论上两点之间的脊线条数为 $\frac{N}{2} - 1$ ,在指纹

匹配过程中距离可用 $N(k_i)$ 表示。

⑦特征点匹配:在模板指纹和样板指纹的匹配过程中,需要两点的 $\Delta D(k_i)$ 、 $\theta(k_i)$ 、 $N(k_i)$ 均匹配,考虑到误差影响,使用可变限界盒来确定误差阈值,考虑到指纹图像的角度畸变通常为线性,角度阈值采用固定的值 $\Delta\theta$ ,而长度畸变通常为非线性,采用如下公式计算:

$$\Delta N = \begin{cases} r\_small & \frac{N(k)}{\alpha} \leq r\_small \\ \frac{N(k)}{\alpha} & r\_small < \frac{N(k)}{\alpha} \leq r\_large \\ r\_large & \frac{N(k)}{\alpha} \geq r\_large \end{cases}$$

其中 $r\_small, r\_large, \alpha$ 的值依情况自行定义。

对于两个分叉点 $l_1, l_2$ ,如果同时满足:

$$\Delta D(k_1) = \Delta D(k_2) \pm \Delta\theta;$$

$$\theta(k_1) = \theta(k_2) \pm \Delta\theta;$$

$$N(k_1) = N(k_2) \pm \Delta N.$$

则认为这两个特征点匹配成功,对于两幅指纹图像,如果匹配的特征点大于某值 $K$ (通常是12)则可认为两幅指纹匹配成功。

## 3 实验结果与分析

为验证文中所给出自动指纹识别系统的整体性能,在内存为2G、主频为2.4G双核的PC机上测试程序,使用了从100个不同人的不同手指采集的500幅图像进行匹配测试,每个手指采集5个样本,指纹图像为256像素×256像素的8位灰度图。

在指纹智能滤波增强部分,文中采用改进的Gabor小波滤波算法对指纹图像进行智能增强,然后去除伪特征点。在初匹配阶段,与不对指纹进行纹形分类的算法<sup>[11]</sup>相比,本算法的匹配时间仅为原来的60%,为了验证系统的拒识率,共进行了 $(10 \times 9) \times 50 = 4500$ 次实验。为了验证系统的误识率,在来自于相同手指的指纹模板间进行匹配运算,共进行了 $100 \times 450 = 45000$ 次实验,对这500枚指纹进行比对的实验结果为:拒识次数为844次,拒识率为1.9%;误识次数为121次,误识率为0.27%。与谭台哲,宁新宝,尹义龙<sup>[12]</sup>给出的算法比较,拒识率降低0.2%;误识率降低0.04%。以上的测试结果充分反映该算法可以略微提高识别系统的准确率,并大大提高系统运行速度。

指纹匹配过程如图2~图5所示。

## 4 结束语

在大量研究传统匹配算法的基础上,文中提出了一种基于指纹分类学及拓扑学的指纹匹配算法,文中





图 2 原始指纹图像



图 3 经预处理之后的图像



图 4 指纹特征点提取



图 5 指纹的匹配点

给出的指纹匹配算法,使用指纹类型分类在初匹配中

很大程度上缩短匹配时间,取用了可信度较高的分叉点进行采样,提高了采样的可靠性,又减少了采样数据的存储量。在确定基准点时,采用与中心点结合的方向场计算,摒弃了可信度低的端点,极大地减少了匹配算法的计算量,提高了计算速度,并使匹配结果更加准确。

将算法使用 VC++MFC 实现后,大量的实验数据已经证明本算法的有效性和快速性。但是如果输入指纹的图像质量很差<sup>[13]</sup>,可提取的分叉点较少时,就会出现拒识现象,因此,如何在保证识别准确率的基础上,尽可能减小拒识率是需要进一步研究的内容。

#### 参考文献:

- [1] Lee H C, Gaensslen R E. Advances in Fingerprint Technology [M]. New York: Elsevier, 1991.
- [2] 邢艳丽, 付兴斌, 项学智. 基于图像特征的鲁棒水印算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(2): 193-197.
- [3] Jang B K, Chin R T. Analysis of Thinning Algorithm Using Mathematical Morphology [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(6): 541-551.
- [4] Jain A K, Hong L, Bolle R. On-line Fingerprint Verification [J]. IEEE Trans on Pattern and Machine Intell, 1997, 19(4): 302-314.
- [5] Ratha N K, Bolle R M. Effect of controlled acquisition on fingerprint matching [C]//Proc. of the 14th Int'l Conf. on Pattern Recognition. Brisbane: IEEE Computer Society, 1998: 1659-1661.
- [6] 杨利敏, 杨杰, 李钢. 基于指纹分类的模式匹配[J]. 电子学报, 2003, 31(7): 1030-1034.
- [7] Vinod V V, Ghose S. Point Matching Using Asymmetric Neural Networks [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(8): 1207-1214.
- [8] 毛雁明, 杨慧玲. 一种新的立体匹配算法[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 105-108.
- [9] Lin H, Wang Y, Jain A K. Fingerprint Image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8): 777-789.
- [10] 尹义龙, 宁新宝. 改进的指纹细节特征提取算法[J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(12): 1302-1306.
- [11] 王秋平. 自动指纹识别系统的设计与实现[D]. 扬州: 扬州大学, 2006.
- [12] 谭台哲, 宁新宝, 尹义龙, 等. 一种基于指纹中心点的匹配算法[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2003, 39(4): 483-490.
- [13] 周海徽, 李吉成. 低质量指纹图像分割算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(8): 1-5.

## 基于拓扑学及指纹分类的指纹匹配算法

作者: [任伟建](#), [雷声](#), [康朝海](#), [滕飞](#)  
作者单位: [东北石油大学 电气信息工程学院, 黑龙江 大庆 163318](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)  
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2012(9)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjz201209035.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201209035.aspx)