

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G06K 9/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200510090176.1

[43] 公开日 2007年2月14日

[11] 公开号 CN 1912889A

[22] 申请日 2005.8.11

[21] 申请号 200510090176.1

[71] 申请人 中国科学院自动化研究所

地址 100080 北京市海淀区中关村东路95号

[72] 发明人 田捷 陈新建 张阳阳 杨鑫

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 周国城

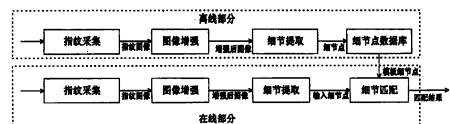
权利要求书4页 说明书13页 附图3页

[54] 发明名称

基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法

[57] 摘要

基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，是根据指纹图像局部区域相对形变有限的特征，用一种模糊特征-局部三角结构特征集来表示指纹，将指纹间整体相似度的计算转化为模糊特征集间的相似度衡量问题。首先，给出了一种两个三角结构间相似度的模糊测量方法，进而构造出一个由所有三角结构的局部相似度组成的特征向量；将这相似度向量映射为一个[0, 1]区间内的归一化数值，来量化指纹图像间的整体相似度，进而得到匹配结果。本发明提出的基于局部三角结构特征的模糊特征匹配算法能够可靠和有效的识别形变较大的指纹图像，提高了自动指纹识别系统的识别效果和性能，拓宽了其应用范围，在生物特征识别领域具有重要的应用价值。



1、一种基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，选取一种模糊特征量——局部细节点三角结构来表示指纹；计算模糊特征量间的相似度来刻画指纹间的整体相似度；选择细节点相对距离、连线角度差及其周围脊线的方向来定义局部三角结构；对两个三角结构引进模糊相似度测量方法，并构造一个包含两幅指纹图像间所有三角结构相似度的矢量；最后，算法把每对相似度矢量映射为一个归一化数值，即将指纹图像的整体相似度量化为一个 $[0, 1]$ 区间内的标量。

2. 按照权利要求 1 所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，包括步骤：

(1) 对指纹图像预处理：对指纹图像进行增强、细化及二值化处理，去除图像中各种噪声的干扰，恢复指纹的脊线结构，使纹理准确清晰，从而使后续操作能够正确有效的进行；

(2) 细节点提取及去伪处理：从预处理后的图像中提取出细节特征点的信息模板，根据伪细节点出现的位置规律，从提取出的细节点集中剔除伪细节点；

(3) 模糊特征表示：基于细节点的分布，定义其局部三角结构特征向量，包括图像中所有三角特征结构的信息模板，每幅指纹图像都可用对应的特征向量集表示；

(4) 在真匹配指纹图像库上，计算对应的形变参数，得到真匹配空间中的形变参数分布；

(5) 模糊特征匹配：利用真匹配空间中的形变参数，计算其与待匹配图像的特征向量集之间的差异，得到能够准确衡量待匹配的指纹间的相关性的特征向量，应用模糊原理，将相似度向量映射成一个 $[0, 1]$ 区间内的标量，表示图像间的整体相似度的量化值。

3. 按照权利要求 2 所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，所述(2)中，根据伪细节点出现的位置规律，是一种简单高效地判断细节点真伪的规则，具体步骤包括：

(1) 判断细节点是否接近指纹图像的边缘：提取出指纹模板，计算

细节点到指纹图像边缘的距离 d ，如果 $d < T_1$ ，判定该点为伪细节点；

(2) 以细节点 i 为圆心，阈值 r 为半径的圆的范围内查找细节点，得到细节点的数量值 n ；

(3) 如果 $n \geq T_2$ ，判定该点 i 为伪细节点，否则，认为是真细节点。

4. 按照权利要求 2 所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，所述(3)中，每幅指纹图像用对应的特征集 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$ 表示，其中 T_k ($k=1, 2, \dots, N$) 为所有从指纹图像上检测出来的局部三角结构的特征量。

5. 按照权利要求 4 所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，所述三角结构的特征量，若细节点构成的三角形各边长度都小于阈值 Thr_d ，则定义局部三角结构的特征量为 $T_k = \{d_{ij}, d_{ik}, d_{jk}, \theta_i, \theta_j, \theta_k, M_i, M_j, M_k, \alpha_i, \alpha_j, \alpha_k\}$ ， d_{ij} 表示两个细节点 i 和 j 之间的距离， θ_i 表示从细节点 i 到 j 的方向与从细节点 i 到 k 方向的夹角； M_i 表示以细节点 i 为中心，边长为 $2r$ 的正方形区域中的各像素与点 i 的方向差均值， α_i 表示细节点 i 的方向和角 i 的内角平分线间的夹角；

M_i 由下式计算，其中， $O(i,j)$ 是像素 (i,j) 的方向场：

$$M_i = \frac{\sum_{i=x_0-r}^{i=x_0+r} \sum_{j=x_0-r}^{j=x_0+r} |O(i,j) - O(x_0, y_0)|}{2r * 2r}$$

6. 按照权利要求 2 所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，所述(4)中真匹配，指的是来自同一手指的指纹图像间的匹配，在真匹配模式下的形变指纹图像集上进行参数训练，四个形变参数向量 $\bar{l}en_{diff}$ ， $\bar{\theta}_{diff}$ ， \bar{M}_{diff} ， $\bar{\alpha}_{diff}$ 组成参数空间，由下式计算：

$$\bar{l}en_{diff} = \{|d_{ij} - d_{ij}'|, |d_{ik} - d_{ik}'|, |d_{jk} - d_{jk}'|\}$$

$$\bar{\theta}_{diff} = \{|\theta_{ij} - \theta_{ij}'|, |\theta_{ik} - \theta_{ik}'|, |\theta_{jk} - \theta_{jk}'|\}$$

$$\bar{M}_{diff} = \{|M_i - M_i'|, |M_j - M_j'|, |M_k - M_k'|\}$$

$$\bar{\alpha}_{diff} = \{|\alpha_i - \alpha_i'|, |\alpha_j - \alpha_j'|, |\alpha_k - \alpha_k'|\}$$

这些形变模式参数构成了形变特征向量 $\vec{f} (\bar{l}en_{diff}, \bar{\theta}_{diff}, \bar{M}_{diff}, \bar{\alpha}_{diff})$ ，得到一个真匹配的形变模式参数空间。

7. 按照权利要求2所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，所述(5)中，在指纹图像匹配中，定义一个相似度矢量来描述指纹图像间的特征差异：令 $T = \{T_i : 1 \leq i \leq a\}$ 表示模板指纹图像， $I = \{T_i : 1 \leq i \leq b\}$ 表示输入指纹图像，

对于每个 $T_i \in T$ ， $l_i^I = \max \{C(T_i - T_i) | i = 1..b\}$ ， $\vec{l}^I = [l_1^I, l_2^I, \dots, l_a^I]^T$

对于每个 $T_i \in I$ ， $l_i^T = \max \{C(T_i - T_i) | t = 1..a\}$ ， $\vec{l}^T = [l_1^T, l_2^T, \dots, l_b^T]^T$

为T和I定义了一个 $(a+b)$ 维的相似度矢量 $\vec{L}^{(T,I)} = [L_1, L_2, \dots, L_{a+b}]^T$ ，其中，

$$L_i = \begin{cases} l_i^I & i \leq a \\ l_{i-a}^T & a < i < a+b \end{cases}, \quad C(\vec{f}) \text{ 是局部三角特征结构的相似度测量函数。}$$

8、按照权利要求 7 所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，所述指纹图像相似度矢量的计算方法，是引进了模糊特征测量方法，定义局部三角特征结构的相似度测量函数，具体步骤包括：

(1) 真匹配的形变模式参数空间中的全部元素组成了模糊特征集 \bar{D} ，定义模糊特征集 \bar{D} 的中心 \bar{d} 为集合中各元素的均值；

(2) 测量矢量 \vec{f} 相对于模糊特征序列 \bar{D} 的隶属程度，采用Cauchy 函数的改进形式，定义隶属度函数 $C: \bar{D} \rightarrow [0, 1]$ 如下：

当 \vec{f} 中的每个元素小于 \bar{d} 中相应的元素时， $C(\vec{f}) = 1$ ；

否则， $C(\vec{f}) = \left[1 + (\alpha * \|\vec{f} - \bar{d}\|)^\beta \right]^{-1}$ ；其中， $\vec{f} \in \bar{D}$ ， β 和 $\alpha \in R$ ， $\beta > 0$ ， $\alpha > 0$ ，

α 与函数的宽度成反比。

9. 按照权利要求2所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其特征在于，所述(5)中，在指纹图像匹配中，把相似度向量 $\vec{L}^{(T,I)}$ 中的各元素加权向量 w 累积，来量化指纹图像间的整体相似度；结合应用了区域最优、中心最优及角度均匀性最优配置，将权向量 \vec{w} 定义为：

$$\vec{w} = p_A \vec{w}_A + p_B \vec{w}_B + p_C \vec{w}_C$$

其中， \vec{w}_A 为输入指纹图像和模板指纹图像的正常区域百分比， \vec{w}_B 与三角

结构到邻近的指纹图像中心点的距离成正比， \bar{w}_C 与三角结构中角度间的均匀性成正比； p_A 、 p_B 、 p_C ($p_A + p_B + p_C = 1$)调整了 \bar{w}_A 、 \bar{w}_B 和 \bar{w}_C 的比重，将模板和输入指纹图像的整体相似度量化为：

$$\text{Sim} = \bar{w} * \bar{L}^{(T,I)}$$

基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法

技术领域

本发明属于生物特征识别领域，涉及图像处理、模式识别、计算机技术等前沿知识，特别涉及到利用局部特征信息和模糊相似度测量方法来实现非线性形变指纹图像的识别。

背景技术

目前，生物特征识别技术的发展使得指纹识别技术越来越成熟，目前已经完全达到实用化。由于自动指纹识别系统价格的大幅度下降，自动指纹识别的应用不再仅局限于法律、公安领域。它可作为计算机确认用户的手段，可作为访问网络资源的信息安全技术，还可用于银行 ATM 卡和信用卡使用的确认、各类智能 IC 卡的双重确认、雇员证明和家用电子门锁等许多方面。

由于指纹具有唯一性和稳定性的优点，而且采集方便，成本低廉，所以非常适合取代传统的口令作为身份认证的手段。将待匹配的指纹图像输入计算机，通过可靠有效的指纹识别算法，可以在短时间内完成任何人的身份识别。随着指纹识别系统在需要身份鉴定的领域的广泛应用，我们对识别算法准确度、适应性的要求也不断提高。指纹识别技术主要包括指纹图像采集、指纹图像增强、指纹图像特征提取、数据储存、指纹特征的比对与匹配等步骤。其中指纹图像特征提取和匹配是识别领域中的两个关键问题。

识别过程中，指纹特征的提取精度和准确度直接决定了指纹匹配性能的好坏，由于噪声的存在和图像质量增强算法的不完备等方面的原因，脊线骨架中必然存在的脊线断裂和毛刺等现象，都造成提取出来的特征中存在一定数量的伪特征信息，必须采取有效、快速、鲁棒的去伪算法将

其从特征集中检测出来。

现有的指纹采集仪大都是按压式的，采集过程中弹性形变不可避免。造成指纹形变有两个主要的原因。其一，指纹的获取是一个从三维到二维的变形转换过程。指纹采集时不同的接触中心会产生不同的形变模型。由于不同的手指尖形状和柔韧程度区别很大，无法建立一个统一的三维模型对这一个过程作复原。其二，人在采集仪上施加的剪切力会引起形变。垂直于采集面的压力大小不同会造成采集的指纹图像的脊线粗细的变化；平行于采集面的力则会导致图像的压缩和拉伸；而沿着接触中心的扭力，则会引起图像的扭曲。非线性形变指纹图像的普遍存在，严重影响了指纹匹配算法的精确度，导致指纹识别系统整体性能的下降

由于传统的指纹匹配一般都建立在刚性的坐标体系下，没有或很少找到合适的方法描述指纹的弹性变化。原有的刚性变换仅通过弹性限界盒或可调参数阈值的方法弥补指纹拉伸造成两幅图中同一细节点不对应的损失。由于传统匹配方法无法容忍大量的脊线结构信息变形干扰，匹配准则依赖于脊线提取及其连接信息，匹配性能随输入指纹图像质量的下降而恶化。因此非线性形变指纹图像的匹配问题一直以来是该领域研究的亟待解决的热点问题和难点问题。

近年来逐渐有更多的学者研究指纹特征由压力造成的非线性形变以及随时间序列的动态行为变化，对非线性形变指纹进行匹配。Ratha 等提出直接检测加在扫描仪上的压力和力矩，并在用力过剩时拒绝采集，来减少和控制形变。Dorai 等提出的方法对指纹影像中的形变进行检测并估计。但这两种方法都不能作用于已采集的指纹图像。Maio 和 Maltoni 等提出了一个弹性形变模型来描述指纹在线采集过程中发生的非线性形变，对于理解指纹的形变过程很有帮助。但是由于单独的指纹图像提供的信息有限再加上噪声等因素的影响，要确定该模型中定义的各参数值是很困难的。Senior 等在匹配前调整弹性形变图像，使脊线等间距分布来提高算法的准确率。但是，现实情况中指纹脊线等间距分布的可能性是很小的，而且该方法无法解决由于不同的采集区域引起的不同映射模式导致的形变问题。Kovjács-Vajna 等提出一种三角匹配的算法来处理指纹图像大幅度形变的情况。较小的指纹的局部形变累积下来，导致了

整个图像较大的形变量。但是局部小三角形形变可以组合成各种各样的形变模式，这些形变模式可能完全无法在真实的指纹匹配中实现，却可以符合某些来自不同手指的指纹的匹配情况，造成误识。Bazen 等采用薄板样条模型来描述两个可能匹配的细节点列间的非线性形变。Ross 等基于薄板样条模型计算出同一手指生成的指纹图像的平均形变量来解决弹性形变问题。但应用这个模型对待匹配的指纹进行“纠正”会导致不论两枚指纹是否来自同一个手指，两个指纹都会变得更相似。

综合以上分析研究我们发现，目前关于非线性形变指纹的匹配问题的研究只侧重于寻找和描述局部的配准，但是对于这些局部匹配构成的全局“配准模式”的合理性没有考虑。当应用这些方法对“局部形变”进行“纠正”时，既可以将来自同一个手指的两幅指纹图像作合理的形变恢复，也可能将一部分来自不同手指的相似指纹图像变得更加相似。

发明内容

本发明的目的是针对指纹采集中得到的形变量较大的指纹图像，提出并实现一种自动指纹识别算法，能够对其进行准确、高效、鲁棒的识别，减少由于形变中细节点和脊线的不规则偏移导致的误识和拒识现象。

为达到上述目的，本发明的技术解决方案是提供一种基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其选取一种模糊特征量——局部细节点三角结构来表示指纹；计算模糊特征量间的相似度来刻画指纹间的整体相似度；选择细节点相对距离、连线角度差及其周围脊线的方向来定义局部三角结构；对两个三角结构引进模糊相似度测量方法，并构造一个包含两幅指纹图像间所有三角结构相似度的矢量；最后，算法把每对相似度矢量映射为一个归一化数值，即将指纹图像的整体相似度量化为一个 $[0, 1]$ 区间内的标量。

所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，包括步骤：

(1) 对指纹图像预处理：对指纹图像进行增强、细化及二值化处理，去除图像中各种噪声的干扰，恢复指纹的脊线结构，使纹理准确清晰，

从而使后续操作能够正确有效的进行；

(2) 细节点提取及去伪处理：从预处理后的图像中提取出细节特征点的信息模板，根据伪细节点出现的位置规律，从提取出的细节点集中剔除伪细节点；

(3) 模糊特征表示：基于细节点的分布，定义其局部三角结构特征向量，包括图像中所有三角特征结构的信息模板，每幅指纹图像都可用对应的特征向量集表示；

(4) 在真匹配指纹图像库上，计算对应的形变参数，得到真匹配空间中的形变参数分布；

(5) 模糊特征匹配：利用真匹配空间中的形变参数，计算其与待匹配图像的特征向量集之间的差异，得到能够准确衡量待匹配的指纹间的相关性的特征向量，应用模糊原理，将相似度向量映射成一个 $[0, 1]$ 区间内的标量，表示图像间的整体相似度的量化值。

所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其所述(2)中，根据伪细节点出现的位置规律，是一种简单高效地判断细节点真伪的规则，具体步骤包括：

(1) 判断细节点是否接近指纹图像的边缘：提取出指纹模板，计算细节点到指纹图像边缘的距离 d ，如果 $d < \text{阈值} T_1$ ，判定该点为伪细节点；

(2) 以细节点 i 为圆心，阈值 r 为半径的圆的范围内查找细节点，得到细节点的数量值 n ；

(3) 如果 $n \geq \text{阈值} T_2$ ，判定该点 i 为伪细节点，否则，认为是真细节点。

所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其所述(3)中，每幅指纹图像用对应的特征集 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$ 表示，其中 T_k ($k=1, 2, \dots, N$) 为所有从指纹图像上检测出来的局部三角结构的特征量。

所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其所述三角结构的特征量，若细节点构成的三角形各边长度都小于预先设定的阈值 Thr_d ，则定义局部三角结构的特征量为 $T_k = \{d_{ij}, d_{ik}, d_{jk}, \theta_i, \theta_j, \theta_k, M_i, M_j, M_k, \alpha_i, \alpha_j, \alpha_k\}$ ， d_{ij} 表示两个细节点 i 和 j 之间的距离， θ_i 表示从细节点 i 到 j 的方向与从细节点 i 到 k 方向的夹

角； M_i 表示以细节点 i 为中心，边长为 $2r$ 的正方形区域中的各像素与点 i 的方向差均值， α_i 表示细节点 i 的方向和角 i 的内角平分线间的夹角；

M_i 由下式计算，其中， $O(i,j)$ 是像素 (i,j) 的方向场：

$$M_i = \frac{\sum_{i=x_0-r}^{i=x_0+r} \sum_{j=x_0-r}^{j=x_0+r} |O(i,j) - O(x_0, y_0)|}{2r * 2r}$$

所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其所述(4)中真匹配，指的是来自同一手指的指纹图像间的匹配，在真匹配模式下的形变指纹图像集上进行参数训练，四个形变参数向量 \bar{l}_{en_diff} , $\bar{\theta}_{diff}$, \bar{M}_{diff} , $\bar{\alpha}_{diff}$ 组成参数空间，由下式计算：

$$\bar{l}_{en_diff} = \{|d_{ij} - d_{ij}'|, |d_{ik} - d_{ik}'|, |d_{jk} - d_{jk}'|\}$$

$$\bar{\theta}_{diff} = \{|\theta_{ij} - \theta_{ij}'|, |\theta_{ik} - \theta_{ik}'|, |\theta_{jk} - \theta_{jk}'|\}$$

$$\bar{M}_{diff} = \{|M_i - M_i'|, |M_j - M_j'|, |M_k - M_k'|\}$$

$$\bar{\alpha}_{diff} = \{|\alpha_i - \alpha_i'|, |\alpha_j - \alpha_j'|, |\alpha_k - \alpha_k'|\}$$

这些形变模式参数构成了形变特征向量 \bar{f} (\bar{l}_{en_diff} , $\bar{\theta}_{diff}$, \bar{M}_{diff} , $\bar{\alpha}_{diff}$)，得到一个真匹配的形变模式参数空间。

所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其所述(5)中，在指纹图像匹配中，定义一个相似度矢量来描述指纹图像间的特征差异：令 $T = \{T_t : 1 \leq t \leq a\}$ 表示模板指纹图像， $I = \{T_i : 1 \leq i \leq b\}$ 表示输入指纹图像，

对于每个 $T_t \in T$ ， $l_t^I = \max\{C(T_t - T_i) | i = 1..b\}$ ， $\bar{l}^I = [l_1^I, l_2^I, \dots, l_a^I]^T$

对于每个 $T_i \in I$ ， $l_i^T = \max\{C(T_i - T_t) | t = 1..a\}$ ， $\bar{l}^T = [l_1^T, l_2^T, \dots, l_b^T]^T$

为T和I定义了一个 $(a+b)$ 维的相似度矢量 $\bar{L}^{(T,I)} = [L_1, L_2, \dots, L_{a+b}]^T$ ，其中，

$$L_i = \begin{cases} l_i^I & i \leq a \\ l_{i-a}^T & a < i < a+b \end{cases}, c(\bar{f}) \text{ 是局部三角特征结构的相似度测量函数。}$$

所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其所述指纹

图像相似度矢量的计算方法，是引进了模糊特征测量方法，定义局部三角特征结构的相似度测量函数，具体步骤包括：

(1) 真匹配的形变模式参数空间中的全部元素组成了模糊特征集 \bar{D} ，定义模糊特征集 \bar{D} 的中心 \bar{d} 为集合中各元素的均值；

(2) 测量矢量 \bar{f} 相对于模糊特征序列 \bar{D} 的隶属程度，采用Cauchy 函数的改进形式，定义隶属度函数 $C: \bar{D} \rightarrow [0, 1]$ 如下：

当 \bar{f} 中的每个元素小于 \bar{d} 中相应的元素时， $C(\bar{f})=1$ ；

否则， $C(\bar{f}) = \left[1 + (\alpha * \|\bar{f} - \bar{d}\|)^\beta \right]^{-1}$ ；其中， $\bar{f} \in \bar{D}$ ， β 和 $\alpha \in R$ ， $\beta > 0$ ， $\alpha > 0$ ， α 与函数的宽度成反比。

所述的基于局部三角结构特征集的形变指纹识别方法，其所述(5)中，在指纹图像匹配中，把相似度向量 $\bar{L}^{(T,I)}$ 中的各元素加权向量 \bar{w} 累积，来量化指纹图像间的整体相似度；结合应用了区域最优、中心最优及角度均匀性最优配置，将权向量 \bar{w} 定义为：

$$\bar{w} = p_A \bar{w}_A + p_B \bar{w}_B + p_C \bar{w}_C$$

其中， \bar{w}_A 为输入指纹图像和模板指纹图像的正常区域百分比， \bar{w}_B 与三角结构到邻近的指纹图像中心点的距离成正比， \bar{w}_C 与三角结构中角度间的均匀性成正比； p_A 、 p_B 、 p_C ($p_A + p_B + p_C = 1$) 调整了 \bar{w}_A 、 \bar{w}_B 和 \bar{w}_C 的比重，将模板和输入指纹图像的整体相似度量化为：

$$\text{Sim} = \bar{w} * \bar{L}^{(T,I)}$$

本发明的核心思想是基于指纹图像中的局部三角特征结构实现指纹识别。算法选取一种模糊特征量——局部细节点三角结构来表示指纹。计算模糊特征量间的相似度来刻画指纹间的整体相似度。选择细节点相对距离、连线角度差及其周围脊线的方向来定义局部三角结构。对两个三角结构引进模糊相似度测量方法，并构造一个包含两幅指纹图像间所有三角结构相似度的矢量。最后，算法把每对相似度矢量映射为一个归一化数值，即将指纹图像的整体相似度量化为一个 $[0, 1]$ 区间内的标量。

基于上述的思路和目的，将指纹图像的识别处理过程划分为若干个步骤，简要介绍执行每个步骤时需要注意的关键问题，来设计和改进我们的系统，建立最终的弹性形变指纹图像的识别理论框架及系统原型。将研究成果融入现有的算法后得到的该发明的实现流程如下：

指纹图像预处理：对指纹图像进行增强、细化及二值化处理，去除

图像中各种噪声的干扰，恢复指纹的脊线结构，使纹理准确清晰从而使下面的细节点提取、匹配等操作能够正确有效的进行。

细节点提取及去伪处理：从预处理后的图像中提取出细节特征点的信息模板，根据伪细节点出现的位置规律，提出一种简单有效的算法对细节点集进行去伪处理。

模糊特征表示：由于指纹图像局部区域内形变量有限，选择局部三角特征结构集来表示指纹图像，得到每幅指纹对应的特征向量集，包括图像中所有三角特征结构的信息模板。

模糊特征匹配：计算任意三角特征结构同另一幅指纹的最大隶属度，得到能够准确衡量待匹配的指纹间的相关性的特征向量。应用模糊原理，将相似度向量映射成一个 $[0, 1]$ 区间内的标量，表示图像间的整体相似度量数值（1代表完全匹配，0代表完全不匹配）。

我们的指纹图像识别方法能够去除原始指纹图像因噪声影响而得到的伪细节点，尽可能准确地记录指纹的特征信息，对于质量较差的指纹图像也能够进行识别。很明显，在对过度形变指纹图像进行匹配时，仅仅依靠指纹的整体结构来衡量待匹配图像间的相似度是不可行的，因为对应细节点及脊线的不规则偏移可能很大，超出了传统算法的容忍范围。根据指纹图像局部区域形变量较小，累积导致较大形变的特点，选择细节点的局部三角结构作为形变前后近似不变的模糊特征进行指纹配准和识别，保证了算法的准确率。考虑到不同的指纹图像提取的细节点数目不同以及匹配过程的模糊性，可考虑将模糊理论运用到相似度计算中，对应的特征量不可以用单一的阈值来划分，待匹配的图像也不能简单的判定为匹配或不匹配两种情况。

通过对算法性能的评估，我们发现选取的特征量能够很好的区分假匹配和过度形变两种情况下造成的特征点和脊线的不规则偏移，具有很强的鲁棒性。由于局部特征三角结构信息独立于指纹图像的旋转、平移等整体变换，因此我们的识别算法不需要对原始图像进行校准，简化了算法的步骤，提高了算法的效率。

附图说明

图 1 本发明指纹识别处理流程图；

图 2 低质量图像的伪细节点示意图：(a) 是原始图像；(b) 是 (a) 图像增强后的细化图像；(c) 和 (d) 是原始图像；(d) 是 (c) 的增强后的细化图像；伪细节点附近经常有其它的伪细节点出现，如椭圆区域所示，伪细节点还经常出现在图像边缘，如长方形区域所示；

图 3 形变很大的一对指纹图像：(a) 是原始图像 a；(b) 是原始图像 b；(c) 是图像 (a) 和 (b) 中的细节点对应关系；(d) 是将图像 (a) 进行人工最优校准后叠加到图像 (b) 上，在上部的椭圆区域内对应细节点基本吻合，可在下部的椭圆区域内对应的细节点偏移超过了 100 像素；

图 4 指纹图像的局部三角结构示意图；

图 5 真匹配模式参数训练示意图：(a) 模板指纹图像；(b) 输入指纹图像；(c) 真匹配模式；

图 6 本发明方法在 NIST24 指纹数据库上的实验结果；

图 7 本发明方法在 FVC2004 DB1 指纹数据库上的实验结果。

具体实施方式

下面对本发明提出的基于局部三角特征结构的形变指纹识别算法包含的各个步骤，尤其是图像特征提取和局部特征匹配两部分进行介绍。首先我们引进一些假定，在此基础上进行识别算法的研究和分析：不区分末梢点和分叉点，把他们都看作点的特征；点特征在指纹中均匀分布，但是，不同细节节点的未定区域可能重叠；细节节点的相关性是独立，各个相关是同等重要的；指纹图像质量在模型中没有明确考虑。详细步骤如下：

1) 指纹图像预处理

具体的处理操作有：1. 灰度的均衡化，这可以消除不同图像之间对比度的差异。2. 使用简单的低通滤波算法消除斑点噪声和高斯噪声。3. 计算出图像的边界，进行图像的裁剪。这样可以减少下一步的计算工作量，提高系统的速度。4. 方向场的估计，计算出指纹图像每个像素的方向。5. 二值化，根据每个像素点的方向来对指纹图像处理为只有黑白二种像素的图像。6. 细化，根据二值化的图像，把指纹的脊线宽度细化至

只有一个像素，生成指纹细化图。7. 细化后处理，清除细化图像中一些明显的断线，脊线间明显的桥、脊线上的毛刺、过短的脊线和单个斑点等不良脊线结构。

2) 细节特征点提取及去伪处理

从预处理后的指纹骨架中，跟踪提取细节点，依照我们的经验，两个真细节点间的距离一般大于某个阈值，而伪细节点附近一般存在另外的伪细节点。并且在指纹图像的边缘地区经常能提取到伪细节点。图2显示了在低质量的指纹图像中进行伪细节点提取的例子。

下述的算法用来提取伪细节点。在这个过程中，少数几个真细节点会被认为是伪细节点，但是这并不影响以后的匹配过程。

1. 判断细节点是否接近指纹图像的边缘。提取出指纹模板，计算细节点到指纹图像边缘的距离 d 。如果 d 小于阈值 $T1$ ，则该点为伪细节点。

2. 在以细节点 i 为圆心，阈值 r 为半径的圆的范围内查找，得到细节点的数量为 n 。

3. 如果 n 大于阈值 $T2$ ，则该点为伪细节点，否则，该点为真细节点。

其中 $T1$ 、 $T2$ 、 r 是经验值，可依据指纹图像的情况进行选取。这是一个简单高效的检测伪细节点的方法，所有的被检测出来的伪细节点都不会参与后来的匹配过程。

3) 指纹的模糊特征表示

选择一种模糊特征量—细节点局部三角结构来刻画指纹的特征，首先选取能反映指纹局部特征参数对三角结构进行定义。在提出的算法中，指纹局部三角结构特征是匹配的基元。将局部三角点结构的特征量 T_k 定义为 $T_k = \{d_{ij}, d_{ik}, d_{jk}, \theta_i, \theta_j, \theta_k, M_i, M_j, M_k, \alpha_i, \alpha_j, \alpha_k\}$ ， d_{ij} 表示两个细节点 i 和 j 之间的距离， θ_i 表示从细节点 i 到 j 的方向与从细节点 i 到 k 方向的夹角； M_i 表示细节点 i 区域内的方向差， α_i 表示细节点 i 的方向和角 i 的内角平分线间的夹角。以细节点 i 为中心，半径为 r 的区域中的象素构成了细节点 i 的区域。 M_i 由下式计算：

$$M_i = \frac{\sum_{i=x_0-r}^{i=x_0+r} \sum_{j=x_0-r}^{j=x_0+r} |O(i, j) - O(x_0, y_0)|}{2r * 2r}$$

式中 r 为区域的半径， $O(i, j)$ 是点 (i, j) 处的方向场。

参数 $\{d_{ik}, d_{jk}, \theta_j, \theta_k, M_j, M_k, \alpha_j, \alpha_k\}$ 的含义与 $\{d_{ij}, \theta_i, M_i, \alpha_i\}$ 相似。显然，局部三角点特征量 T_k 相对于指纹的旋转和平移具有独立性。图 4 显示了指纹局部三角点结构。

在构建局部三角点的过程当中有一个约束条件：三角形中细节点之间的距离最大长度小于 Thr_d 。形变较大的指纹图像由于细节点间的各区域的形变量积累，导致图像整体较大的形变。

由此得到每幅指纹图像对应的特征集 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$ ，其中 T_k ($k=1, 2, \dots, N$) 为所有在指纹图像上检测出来的局部三角结构的特征量。将模板和输入指纹图像间的整体相似度衡量问题转化为它们对应的两个特征量集间的相似度计算问题。

然后，通过一系列的真匹配（真匹配指的是来自同一手指的指纹图像间的匹配）训练得到真形变模式的参数空间，用于下面指纹特征匹配时选取合适的阈值进行判别。

假设 $I_k = \{d'_{ij}, d'_{ik}, d'_{jk}, \theta'_i, \theta'_j, \theta'_k, M'_i, M'_j, M'_k, \alpha'_i, \alpha'_j, \alpha'_k\}$ 是输入指纹的局部三角点特征， $T_k = \{d_{ij}, d_{ik}, d_{jk}, \theta_i, \theta_j, \theta_k, M_i, M_j, M_k, \alpha_i, \alpha_j, \alpha_k\}$ 为指纹模板中的局部三角点特征。四个形变形式参数向量 $\bar{l}en_{diff}, \bar{\theta}_{diff}, \bar{M}_{diff}, \bar{\alpha}_{diff}$ 由下式计算：

$$\bar{l}en_{diff} = \{|d'_{ij} - d_{ij}|, |d'_{ik} - d_{ik}|, |d'_{jk} - d_{jk}|\}$$

$$\bar{\theta}_{diff} = \{|\theta'_i - \theta_i|, |\theta'_j - \theta_j|, |\theta'_k - \theta_k|\}$$

$$\bar{M}_{diff} = \{|M'_i - M_i|, |M'_j - M_j|, |M'_k - M_k|\}$$

$$\bar{\alpha}_{diff} = \{|\alpha'_i - \alpha_i|, |\alpha'_j - \alpha_j|, |\alpha'_k - \alpha_k|\}$$

这些形变形式参数组成了形式特征量 \bar{f} ($\bar{l}en_{diff}, \bar{\theta}_{diff}, \bar{M}_{diff}, \bar{\alpha}_{diff}$)。为了研究真匹配模式参数，我们在形变指纹图像集上训练得到一个真形变模式的参数空间。这个图像集从FVC2004 DB1的B库中提取。指纹图像通过“CrossMatchV300”光学采集仪获得。图像的大小为 640×480 像素，在 500DPI 的条件下。指纹库B含有从10个不同手指捕获的80个指纹图像，每个手指8幅图像。在这个指纹库中，从同一个手指得到的指纹图像间的

形变是很大的。图3显示了FVC2004 DB1中的一对形变较大的指纹图像。对来自相同手指的形变指纹图像进行匹配，计算出真形变模式对应的参数空间中的形变参数。图5显示了在FVC2004 DB1中的两幅指纹图像的一个真形变模式。

4) 模糊特征匹配

对于两个三角特征结构引进了模糊相似度测量方法，并构建一个包括两个指纹间的所有三角结构相似度的矢量。真形变模式的参数空间中的全部元素组成了模糊特征集 \tilde{D} ，定义模糊特征集 \tilde{D} 的中心 \bar{d} 为集合中各元素的均值。

\bar{d} 实际上就是特征集中全部元素的平均值，有可能不是特征集之中的元素。特征集中的全部元素的平均能增加模糊特征的鲁棒性，与此同时，有用信息的丢失也被隐藏在连续的过程当中，因为一个特征向量集被绘制成单一的特征向量。

假设 $T_k = \{d_{ij}, d_{ik}, d_{jk}, \theta_i, \theta_j, \theta_k, M_i, M_j, M_k, \alpha_i, \alpha_j, \alpha_k\}$ 表示模板指纹的局部三角结构， $I_k = \{d'_{ij}, d'_{ik}, d'_{jk}, \theta'_i, \theta'_j, \theta'_k, M'_i, M'_j, M'_k, \alpha'_i, \alpha'_j, \alpha'_k\}$ 表示输入指纹的局部三角结构，用下述方法来衡量 T_k 和 I_k 间的相似度。首先，计算形变模式的特征矢量 $\vec{f}(\bar{l}en_{diff}, \bar{\theta}_{diff}, \bar{M}_{diff}, \bar{\alpha}_{diff})$ ；然后，测量矢量 \vec{f} 相对于模糊特征序列 \tilde{D} 的隶属程度。

构造或选择一个合适的隶属函数取决于其应用的领域。最常用的隶属函数的类型有锥型，指数型和Cauchy型。在本算法中，我们采用了Cauchy函数的改进形式，它具有很好的表达形式且计算效率较高。

定义隶属度函数 $C: \tilde{D} \rightarrow [0, 1]$ 如下：

当 \vec{f} 中的每个元素小于 \bar{d} 中相应的元素时， $C(\vec{f})=1$ ；

否则， $C(\vec{f}) = \left[1 + (\alpha * \|\vec{f} - \bar{d}\|)^\beta \right]^{-1}$ 。其中， $\vec{f} \in \tilde{D}$ ， β 和 $\alpha \in R$ ， $\beta > 0$ ， $\alpha > 0$ ，

α 与函数的宽度成反比。 β 决定函数的平滑程度。对于确定的 α ，模糊度随 β 值的减少而增加。对固定的 β ，模糊度随 α 值的增大而下降。很明显，特征矢量距离矢量串的中心越远，模糊特征的相关程度就越低。

接着将相似度矢量映射成一个 $[0, 1]$ 区间内的标量，表示图像间的整

体相似度量数值。

指纹图像整体相似度由局部三角结构的相似度构成。令 $T = \{T_i : 1 \leq i \leq a, a \text{ 表示从模板指纹图像中检测出来的所有的三角点的数量}\}$ 表示模板指纹图像, $I = \{T_i : 1 \leq i \leq b, b \text{ 表示从输入指纹图像上检测到的所有三角点的数量}\}$ 表示输入指纹图像。对于每个 $T_i \in T$, 我们定义相似度方法, I 作为

$$l_i^I = \max \{C(T_i - T_j) | i = 1..b\}$$

将 l_i^I 结合在一起, 得到一个向量

$$\vec{l}^I = [l_1^I, l_2^I, \dots, l_b^I]^T$$

同样的, 对于每个 $T_i \in I$, 我们定义相似度方法, T 作为

$$l_i^T = \max \{C(T_i - T_j) | i = 1..a\}$$

将 l_i^T 结合在一起, 得到一个向量

$$\vec{l}^T = [l_1^T, l_2^T, \dots, l_a^T]^T$$

显然, \vec{l}^I 描述了 T 中的个体模糊特征与 I 中全部模糊特征间的相似度, \vec{l}^T 显示了 I 中个体模糊特征与 T 中全部模糊特征间的相似度。因此, 我们为 T 和 I 定义了一个 $(a+b)$ 维的相似度矢量 $\vec{L}^{(T,I)} = [L_1, L_2, \dots, L_{a+b}]^T$, 其中

$$L_i = \begin{cases} l_i^I & i \leq a \\ l_{i-a}^T & a < i < a+b \end{cases}, \text{ 所有元素都取值为 } [0, 1] \text{ 区间内的实数。}$$

算法把相似度向量 $\vec{L}^{(T,I)}$ 中的各元素加权累积来衡量指纹图像间的整体相似度。FFM算法计算权向量 \vec{w} 和相似度向量 $\vec{L}^{(T,I)}$ 的内积。有很多种选择来挑选权向量 \vec{w} 。我们可以考虑三角结构的位置并给临近指纹图像中心 (中心最优配置, 假设邻近图像中心的三角结构更可信) 的三角结构分配较高的权值。另一个选择是区域配置, 利用三角结构覆盖的区域面积来确定权值, 理论依据是所占区域面积合适的三角结构更可信。我们还采用了三角结构中角度间的均匀性作为加权依据。权向量 \vec{w} 定义为:

$$\vec{w} = p_A \vec{w}_A + p_B \vec{w}_B + p_C \vec{w}_C$$

其中, \vec{w}_A 包括输入指纹图像和模板图像的正常区域百分比, \vec{w}_B 包括正常的权值 (邻近图像中心的感兴趣的三角点), \vec{w}_C 与三角结构中角度间的均匀性成正比。 p_A 、 p_B 、 p_C ($p_A + p_B + p_C = 1$) 调整了 \vec{w}_A 、 \vec{w}_B 和 \vec{w}_C 的比重。

最后，算法将模板和输入指纹图像的整体相似度量化为：

$$Sim = \bar{w} * \bar{L}^{(T,I)}$$

在真匹配模式库上训练参数，观察参数空间内的样本点，找到其集中分布区域对应的取值作为阈值，进行判别。

在指纹库上的试验结果显示，本算法很好的解决了非线性形变问题。即使来自于同一个手指的指纹图像发生了过度形变，算法也能较好的将其和假匹配区分开，具有很好的准确率和鲁棒性。

实施例

我们将此方法应用到我们自行设计实现的指纹图像处理系统中。我们研制开发的指纹图像处理系统是基于 Window98/95，采用面向对象的设计方法和软件工程规范，用 C++ 语言实现的、面向指纹识别领域的图像处理与分析系统。本发明指纹识别处理流程如图 1，本系统具有丰富的图形图像处理与分析功能，不仅具有完善的二维图像处理分析功能，而且可以动态加载各种指纹识别算法。系统提供了图像输入、图像存储、图像处理、算法加载、文件转换、FVC 测试工具等一系列功能。

将算法在 NIST24 和 FVC2004 的指纹库中进行测试，并采用国际指纹识别竞赛的识别算法标准进行评估。由于库中的指纹存在显著的弹性形变，可以用来判定系统对于显著弹性形变的适应程度。实验结果如图 6、7 所示。

大量的实验证明，本算法很好的解决了非线性形变问题。针对形变指纹，相对于传统的匹配方法，该算法给出了相当准确的判别结果，具有高可靠性、实用性和可采纳性。

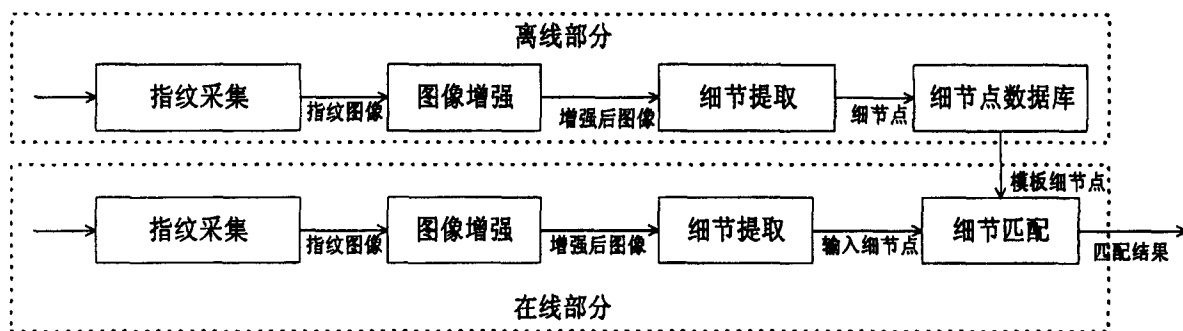


图 1



图 2

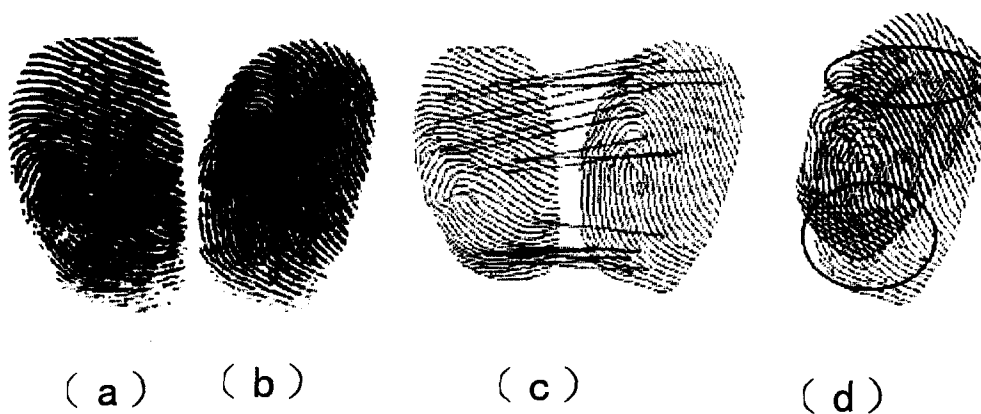


图 3

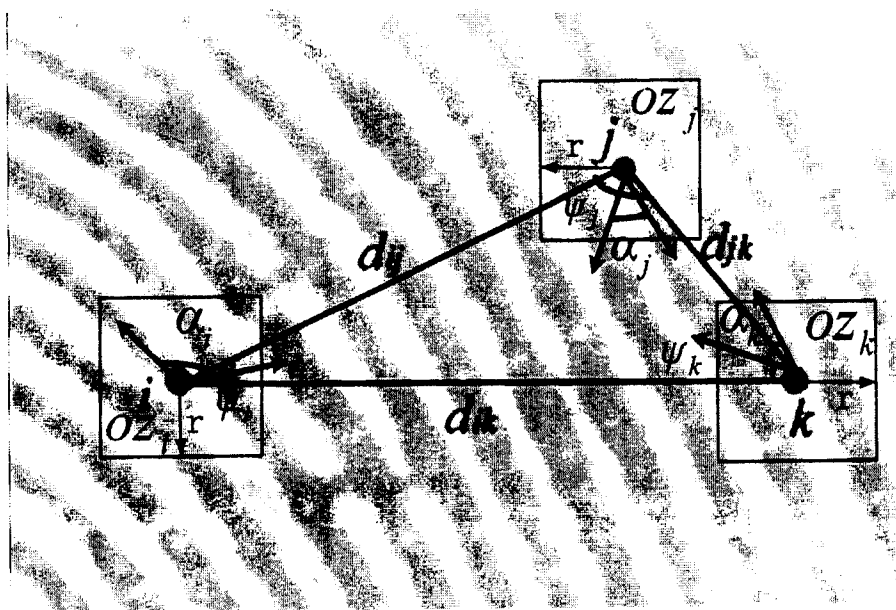


图 4



图 5

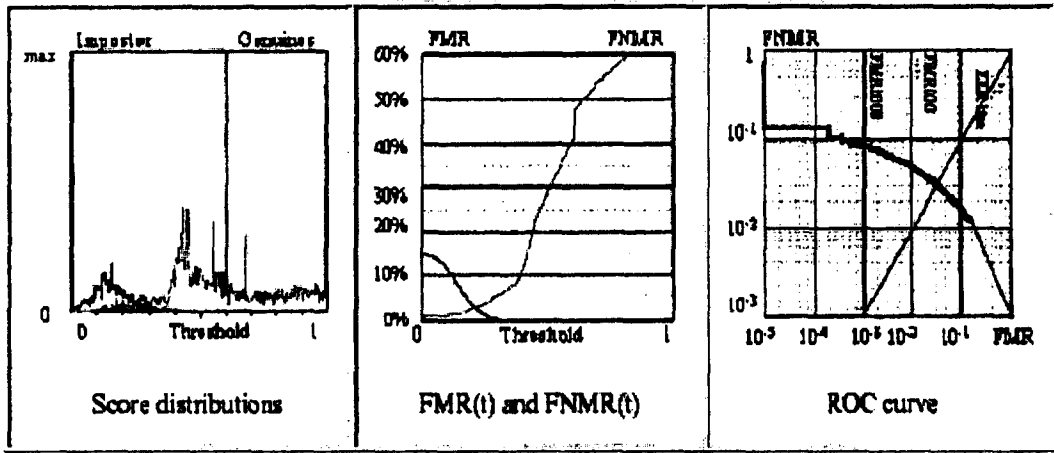


图 6

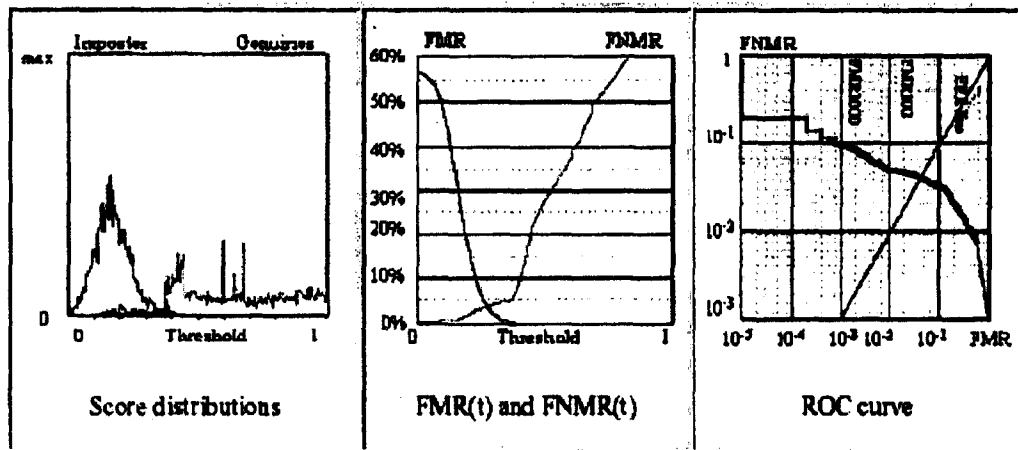


图 7