

指纹识别的原理及关键算法的研究

生物特征识别技术（Biometric Identification Technology），是指通过对人体身上的某些生物特征进行识别和认证，从而实现身份识别的一种专门的技术。其主要包括人脸的识别、语音的识别、虹膜的识别、手掌形状的识别、指纹的识别等多个识别技术。生物特征识别技术包含以下几个特点：普遍性、唯一性、安全性、可采集性、可接受性等。由于生物特征识别技术有着上述良好的特性，相对于传统身份识别，克服了许多缺陷。因此，其越来越多地被采用到各类安全场合。指纹识别技术是指根据不同指纹具有不同纹理特征的特性，将不同指纹图像之间的多个全局特征和局部细节特征进行对比，从而确定身份的一种认证技术。相对于其他识别方式，指纹识别更加方便和准确。

1 指纹识别的原理

指纹识别技术包含有以下两种主要的识别技术：第一种是采用不同指纹图像统计对比的方法，第二种是采用指纹图像本身固有的特征信息进行比较的方法。第一种方法主要是将两幅指纹图像进行统计对比，查看他们之间相似度的大小，根据大小来判断这两幅指纹是否取自于同一个人，从而实现身份识别的作用。第二种方法是根据两幅指纹图像的结构特征，比较他们的特征信息，确认他们的身份。特征包含两种类型：全局特征类型和局部特征类型。

指纹识别技术的全过程是：（1）使用指纹采集设备采集指纹图像。（2）对指纹图像中的大量噪声点进行预处理，从而提升后面处理的效率。在预处理之后，得到了一个关于指纹图像的轮廓线，为下一步特征提取做准备。（3）进行指纹图像的特征提取，提取出其特征信息点。（4）对指纹图像进行特征匹配，把提取的特征点与数据库中预存的特征点进行对比，通过对比来判断身份。根据英国学者 E.R.Herry 的研究发现，两个指纹图像中，如果特征点的对数有 13 对是重合的，就可以认为这两个图像取自于同一个人。

指纹识别系统的主要性能参数有以下几种：

- (1) 误识率：指两个不同指纹被错误地识别成相同指纹的概率；
- (2) 拒识率：指同一个手指的两个不同指纹样本不能匹配，即被认为来自不同手指的概率；
- (3) 等错误率：第一和第二种错误相等时的数值；
- (4) 注册时间：从指纹被采集到完成指纹特征提出所需要消耗的时间；
- (5) 匹配时间：两个指纹样本进行一次对比匹配所需要消耗的时间；
- (6) 模板特征的大小：从一个指纹图像中提取出的指纹特征的存储容量；
- (7) 分配内存的大小：在指纹识别的各个阶段，计算机系统需要占用的内存数量。

2 指纹图像的质量评估

在通过指纹采集设备把图像采集进入系统之后，我们需要对采集到的指纹图像的质量进行评估。如果图像的质量不达标，就会对后期产生影响。因此，需要对指纹图像进行评估。目前，指纹图像的质量评估有以下几种方法：

(1) 计算图像的信噪比：这种方法是指求出图像的信号与噪声的方差之比。首先计算图像所有像素的局部方差，将局部方差的最大值设为信号方差，最小值设为噪声方差，求出它们的比值，再转成 dB 数，最后用经验公式进行修正。此方法在效率方面表现一般。

(2) 统计指纹图像细节点的数量：对指纹图像中细节点的数量进行识别和统计。通过数量的多少来判断该指纹图像的质量是否在合格的范围之内。此方法理论上可行，但是由于首先需要对指纹进行预处理、提取细节点，因此效率不高。

(3) 视觉客观测度：该方法建立在视觉测评过程和客观测度基础上，利用设定的评测参数，对指纹图像的质量评价出一个综合结果。这一方法从全局上对指纹图像的质量，能够得出很好的判断。但是从局部上来看，指纹的纹理分析缺少了对指纹方向信息的判断。

(4) 计算指纹图像方向信息：从指纹图像局部特征开始，结合指纹的全局特征来判断指纹图像的质量。通过检测图像的有效面积和清晰度，来确定图像是否合格。具体方法是：首先，通过计算图像方向信息，确定前景块和背景块；然后，通过比较前景块和背景块的比例来判断是否是偏手指；再次，通过图像块的对比度的大小来判断是干手指或湿手指（干手指对比度较大，湿手指对比度较小）。

3 指纹图像的分割

在指纹图像质量评估合格后，需要对图像进行灰度变换，即对指纹图像均衡化，使得图像灰度均衡，以及对图像进行归一化。在这些完成之后，还需要对图像按照一定的算法和要求进行分割。即把指纹图像中质量很差，后期无法处理的图像区域与有效区域进行区分，使后期处理集中到有效区域上，提供特征提取精度，减少处理时间。目前，常用的分割方法有以下几种：

(1) 基于方向图的分割方法：根据图像上纹理的方向，区分指纹区域和背景区域，然后按照不同的区域分割。如果指纹的纹理线不连续、图像的灰度单一等方向难以正确估计或者有些区域变化剧烈，则此方法不能进行有效的分割。

(2) 基于图像的局部灰度均值、局部标准差和局部一致性的分割方法：利用指纹图像局部区域的灰度均值、标准差和一致性作为特征，再采用线性分类来分割指纹图像。局部图像的一致性显示了局部图像的纹理走向，但是这些特征对于模糊区域无法做出有效的表示。

(3) 多级分割法：就是将指纹图像进行多级分割，逐级减少分割的范围。例如：第一级分割图像的背景区域，第二级在前景区域中分割出模糊区域，第三级从模糊区域中分割出不可恢复区域。

(4) 动态阈值分割法：根据各个子块的局部灰度对比度自动调节阈值，基于像素的方差进行分割。该方法简单、快捷、分割效果好。具体为：将图像划分为不重叠的各个子块；计算每个子块的平均灰度和灰度方差；计算方差最大值与最小值之间的差值；定义动态阈值，并分割图像；平滑操作，去除孤立块。

4 指纹图像的增强

指纹图像增强就是将模糊的指纹纹理改变得更加清晰，例如：将断裂的指纹纹线进行连接，把连接的纹线区分开，而且在这个过程中还需要保持原有的指纹图像结构，使图像更加易于提取特征信息。目前，有以下几种指纹图像增强方法：

(1) 从脊线方向上采用平滑算子而在垂直于脊线的方向使用增强算子的图像增强算法。这种算法在理论上是十分正确的，但是要估计出脊线宽度以及滤波的参数却比较困难。如果参数估计有误，则会使得脊线产生污染，并且对于脊线上有折痕的指纹会产生偏差。

(2) 基于 Gabor 滤波器的指纹图像增强算法。此算法是在使用上一方法之前先进行滤波。将指纹图像分成不同的区域，有效削弱垂直于主导纹线方向的噪声，提高方向信息提取的可靠性。

(3) 傅立叶增强后滤波的方法。基于时间和处理效果的考虑，先采用傅立叶变换来增强指纹图像，然后使用滤波器来修补指纹图像的纹线。具体为：首先，多级分割出可恢复区域块，将该块像素变为复数形式；利用离散傅立叶变换，滤掉频率过高或过低的频带噪点；利用方向滤波器消除指纹的断裂和叉连。

5 指纹图像的提取

5.1 在细化图像的基础上提取

首先，需要对指纹图像进行细化处理，将指纹纹线变细，然后通过分析纹线上每一个像素点的 8 个方向上的连接点来判定该像素点的类型、位置，并且通过分析该像素点所连接的纹线段来判断点位的方向，进而提取出特征点。这个方法存在的优点是原理比较简单而且容易实现；缺点是需要对大量的像素点进行细化处理，时间较慢，当图像质量不高时，细化处理会产生很多杂质项。

5.2 从原始灰度图像上直接提取

利用指纹方向图，在灰度图像上跟踪指纹的纹线，每跟踪一定的长度，根据图像的投影极值来确定纹线的位置，当遇到端点和分叉点时无法投影，跟踪过程自动终止。这个方法的优点是具有较高的效率和精度；缺点是实现起来比较复杂，需要大量的运算，而且当图像质量不高时，求出的方向图可能不可靠，导致跟踪出的纹线出现偏差。

6 指纹图像的匹配

指纹图像匹配是指用当前指纹图像提取出的指纹特征与事先预存在指纹数据库中的特征进行比对，从而判断这两个指纹特征是否一致，即是否来源于同一根手指。这个阶段为了避免一些因素的干扰，例如变形、虚假特征点、特征点位置误差等，需要设计一个准确有效的匹配算法。目前，有以下几种方法：

(1) 基于点模式匹配算法。目前大多数算法都是基于细节点的特征来进行匹配。该匹配分为以下几种类型：基于匹配的对象可以分为 1 对 1 进行匹配和 1 对多进行匹配；基于匹配的适应程度可以分为弹性的匹配和刚性的匹配。

(2) 基于纹理模式匹配算法。首先将指纹图像分割出来的有效区域进行网格化，然后利用 Gabor 滤波从像素点的 8 个不同的方向处理该纹线区域，得到指纹的全局信息和局部信息，并转化成一个特征信息，最后比较当前指纹图像和数据库中的图像相应特征信息的差异。该算法可以解决质量较差且区域细节点难以提取的图像匹配的困难。但是这种方法需要对每个像素点进行大量的运算，而且无法处理形变比较大的指纹图像的匹配。

7 结语

本文讨论了在指纹识别技术的各个阶段中的关键算法,并对这些算法进行了深入的分析,为指纹识别的进一步研究提供了理论依据。