

基于二维条码的指纹特征信息隐藏方法研究

赵季中, 郝旻, 田丽华, 智勇

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 提出了一种将指纹特征信息隐藏在二维条码中的指纹信息保护方法. 利用指纹图像的方向信息和频率信息确定二值化的阈值, 采用 PDF417 条码的编码、译码技术实现指纹图像的预处理和特征提取, 并将提取结果嵌入到二维条码中, 当对指纹进行认证时, 从二维条码中读取数据并解码, 得到存储的指纹特征信息, 从而达到认证、鉴别的目的. 实验结果表明, 所提方法可提高指纹特征信息的安全性, 且识别、认证效率比较高, 实现了指纹特征信息的远距离安全传输和高速录入, 以及在线、离线的认证.

关键词: 信息隐藏; 二维条码; 指纹识别

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)02-0145-04

Approach to Fingerprint Feature Hiding Based on Two-Dimension Bar Code

Zhao Jizhong, Xi Min, Tian Lihua, Zhi Yong

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A new solution for the protection of fingerprint information is proposed, in which fingerprint feature information is embedded into 2D bar code to prevent fingerprint information from being attacked. The direction and frequency information of the fingerprint image is utilized to ascertain the threshold of the binarization, and PDF 417 encoding is adopted for preprocessing and selecting the feature from fingerprint image, then the result of the extraction is embedded into 2D bar. When authentication is needed, the 2D bar is read and decoded to extract the saved fingerprint feature information, and then the aim of authentication and discrimination is approached. The experiment results show that the method can enhance effectively the security of the fingerprint feature information, likewise the efficiency of identification and authentication is higher, and also it is feasible for long range secure transmission and high speed type-in, as well as online/offline authentication.

Keywords: information hiding; two-dimension bar code; fingerprint recognition

信息安全、信息隐藏是当前受人关注的热点问题, 人们需要将一些关键信息隐藏起来, 并在需要的时候提取出来. 二维条码是一种新的信息存储和传递技术, 是在一维条码的基础上发展起来的, 它除了具有一维条码的特性外, 还具有信息密度高、容量大、纠错能力强等优点. PDF417 条码^[1]是目前最成熟、使用也最为广泛的堆叠式二维条码, 可以表示字母、数字和其他的 ASCII 字符, 也能表达二进制数.

PDF417 采用先进的 RS(Reed-Solomon) 纠错码技术, 不仅可以有效地防止译码错误, 提高译码的速度和可靠性, 而且可以将条码符号破损、沾污等丢失的信息破译出来, 具有较高的鲁棒性.

另外, 人类生物特征信息是辨识与验证身份的一个主要依据, 指纹信息是其中之一, 它具有两个重要特征, 一是不同手指的指纹脊线的式样有所不同, 另一是指纹脊线的式样终生不变, 这使得指纹识别

成为身份认证的最有效的方法之一。

本文提出一种将二维条码和指纹识别技术相结合的方法,该方法将指纹特征信息编入条码之中,实现了指纹特征的隐藏和在线、离线认证。

1 指纹图像预处理

一般采集到的指纹图像,由于各种因素的影响都是含有一定噪声的灰度图像,因此对指纹图像进行预处理、去除噪声是正确识别指纹的基础。指纹图像预处理一般包括指纹图像的分割、指滤波、二值化^[2]和细化。

1.1 指纹图像分割

指纹特征提取需要进行大量的运算,为了减少运算量需要对图像进行分割,保留包含指纹信息的区域,去除不包含指纹信息的区域。根据图像的结构特征和被噪声干扰的程度,可将指纹图像分为白背景区、背景区、前景区、模糊区,而图像分割的目的就是去除背景区和白背景区,保留前景区和模糊区。

首先,将指纹图像进行灰度归一化,作用是将各种背景灰度值的指纹图像统一起来,以便于后续处理。采用边缘保持滤波器对采集到的指纹图像进行滤波,在像素 (i, j) 四周取 5×5 像素的邻域,计算此邻域中9个 3×3 像素的子窗口所表示的区域像素灰度均值 M 和方差 V ,取方差较小的区域灰度均值为像素 (i, j) 的灰度值,再将图像分为 $n \times n$ (n 取指纹图像中两条相邻纹线间的宽度,对500 dpi的图片 n 取12~16)的非重叠小块,计算每一块的均值 M 和方差 V ,若均值 M 在一定范围内($30 < M < 225$)且方差 V 大于某一设定阈值($V > 100$),则此小块为指纹区,以此就可将指纹图像分为指纹区(前景区、模糊区)和非指纹区(白背景区、背景区),保留指纹区,去除非指纹区。

1.2 指纹图像滤波

指纹图像经分割后再经噪声剔除,仍需要进一步处理,以便去除图像中的叉连、断点以及模糊不清的部分。传统的滤波方法(如均值滤波、中值滤波等)对指纹图像的处理效果都不太理想,主要原因是它们仅仅简单地把指纹图像当作灰度图像来处理,忽视了指纹图像的一个重要特性,即指纹纹线的方向性。针对这种缺陷,本文对传统的滤波方法加以改进,充分利用指纹纹线的方向性,并采用方向图滤波,由此可以取得很好的滤波效果。

指纹方向图可以分为点方向图和块方向图,其中点方向图显示出了指纹图像中每一点像素所在脊

线的方向(像素点灰度变化最小的方向),而块方向图则示出了一个小区块内脊线的大致方向。在点方向图的求取上,传统的方法是采用离散方向采样法^[3-4],即求每一点在规定方向上的灰度变化,那么点 (i, j) 沿方向 d 的灰度变化

$$S_d = \sum_{k=1}^n |F_k(i_k, j_k) - F_d(i, j)|$$

式中: $F_k(i_k, j_k)$ 是方向 d 上第 k 个点的灰度值; $F_d(i, j)$ 是方向 d 上 n 个点的灰度均值。将图像分为 $m \times m$ 的非重叠小块,对每一小块计算其点方向的直方图,直方图中的峰值方向就是该小块的块方向。该方法简单,而且对噪声有较好的鲁棒性^[5]。但是,由于它预先将指纹图像定为 n 个固定的方向,所以使得求取的指纹图像方向值很快收敛,造成提取的指纹方向信息不够精确,误差也比较大。

本文采用梯度算法^[6-7]来获取指纹方向信息,与离散方向采样法相比,它所求得的方向信息精度较高。对指纹图像中的点 (i, j) 先求其在 x, y 方向的梯度,再根据得到的梯度来计算指纹的方向。同样,将图像分成 $m \times m$ 的非重叠小块,可以计算指纹的块方向。

得到指纹方向图之后,可以采用方向滤波器对指纹图像进行滤波,但是滤波器的系数一般都是通过大量实验来确定,而且也没有考虑指纹纹线的周期变化。经过研究发现,对指纹图像而言,在一个小的局部区域内,沿着垂直于纹线的方向,指纹纹线大致形成一个二维的正弦波,指纹纹线的分布具有良好的频率特性和方向特性。因此,可以利用Gabor滤波器^[8]的方向、频率选择特性,把指纹图像的局部方向和局部频率作为Gabor滤波函数的参数,再将Gabor函数与纹理图像进行卷积,充分利用局部区域内的纹线频率和方向信息,突出纹线的固有结构,从而去除指纹图像的噪声。

确定指纹的频率是决定Gabor滤波效果的关键。脊线频率是指相邻两脊线间像素点数的倒数。将指纹图像分为 $n \times n$ 的不重叠子块,并以指纹区域的子块中心为中心来划分一个 $l \times w$ 的矩形,其长边为子块的梯度方向。首先,计算梯度方向的 l 个像素沿脊线方向的 w 个点的灰度均值

$$x[k] = \frac{1}{w} \sum_{d=0}^{w-1} g(u, v), \quad k = 0, 1, \dots, l-1$$

$$u = i + \left(d - \frac{w}{2}\right) \cos \theta(i, j) +$$

$$\left(k - \frac{l}{2}\right) \sin \theta(i, j), \quad d = 0, 1, \dots, w-1$$

$$v = j + \left(d - \frac{w}{2}\right) \sin \theta(i, j) + \left(k - \frac{l}{2}\right) \cos \theta(i, j), \quad d = 0, 1, \dots, w-1$$

式中: $g(u, v)$ 为点 (u, v) 的灰度值. 可见, $x[k]$ 近似构成了一个离散正弦波, 其频率与指纹脊线的频率相吻合. 令 $T(i, j)$ 为 $x[k]$ 中相邻两个峰值间的平均像素个数, 则指纹脊线频率 $f(i, j) = 1/T(i, j)$. 若没有峰值, 则频率置-1, 表示不存在有效频率. 根据得到的指纹块方向和指纹频率, 利用 Gabor 滤波器进行滤波, 便可去除指纹图像的噪声.

1.3 指纹图像二值化

图像的二值化是指, 通过设定阈值把灰度图像变换成仅用 2 个值分别表示图像的目标和背景的二值图像. 采用最多的图像二值化方法是阈值法, 而阈值法又分为全局阈值法和局部阈值法. 全局阈值法是对整个图像采用一个阈值进行划分, 如固定阈值法、基于灰度直方图的阈值法等. 局部阈值法是将图像分成一些子块, 对于每一子块选定一个阈值, 如动态阈值法. 本文采用动态阈值法, 将图像分成若干 $n \times n$ 的小块, 对任意一块, 计算块内所有像素点的平均灰度, 并将其作为各块的阈值对每一点进行二值化. 这种方法可以根据图像的各部分灰度情况对阈值进行调整, 处理后的指纹纹线比较清晰. 结合 Gabor 滤波给出的二值化指纹效果图如图 1 所示.



(a) 未经 Gabor 滤波 (b) 经 Gabor 滤波

图 1 二值化指纹效果图

1.4 指纹图像的细化

指纹图像经二值化以后, 纹线仍具有一定的宽度, 而指纹识别只针对纹线的走向、端点和交叉点, 并不关心纹线的粗细, 因此需要对指纹图像进行细化处理. 指纹图像的细化处理, 应在不改变图像像素拓扑连接关系的条件下, 采用逐渐剥离的方法, 把纹线粗细不均匀的指纹脊线图像转化成线宽仅为一个像素的条纹中心线图像. 图像细化不仅要保证纹线的连接性、方向性和特征点不变, 还应保持纹线的中心基本不变, 其结果应为严格的 8 邻域的图像骨架.

本文采用最佳优化算法 (OPTA) 对指纹图像进

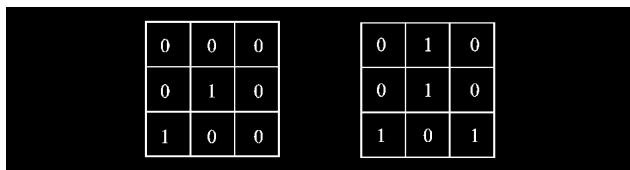
行细化处理. 采用 8 个 3×3 像素的消除模板和 2 个 1×4 像素及 4×1 像素的保留模板, 将像素与模板进行匹配, 通过几次迭代后获得细化结果. 细化结果如图 2 所示.



图 2 Gabor 滤波后的指纹图像细化结果

2 指纹特征提取

指纹的细节特征有纹线的端点、分叉点、小眼和桥等, 其中端点和分叉点是指纹的基本特征. 考察特征点的 8 邻域可以发现, 在端点的 8 邻域像素中, 只有 1 个前景点, 剩下 7 个点都是背景点 (非脊线上的点), 而在分叉点的 8 邻域像素中, 有 3 个前景点, 剩下 5 个点都是背景点, 如图 3 所示. 因此, 可以采用 3×3 像素模板进行特征提取.



(a) 端点 (b) 分叉点

图 3 端点和分叉点示意

这样提取的特征点, 有一部分是由于细化产生的伪特征, 这些伪特征主要表现为短线、毛刺, 还要将它们去除. 观察指纹图像可以发现, 指纹的特征点间的距离较远, 而毛刺和短线这 2 个特征点间的距离很短.

采用纹线跟踪法, 根据设定的距离阈值可去除短线和毛刺, 指纹特征提取结果如图 4 所示.

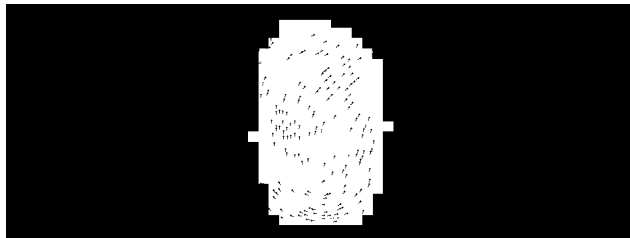


图 4 指纹特征提取结果

3 指纹特征信息隐藏

将指纹特征信息隐藏在二维条码内, 首先要确保提取的指纹特征信息的大小与二维条码的存储能力相匹配. 对 PDF417 条码而言, 在最低纠错等级

下,最多能存储 1 108 B 的数据,采用本文提取指纹特征(端点和分叉点)的方法,一般从一个指纹中提取的两类特征数据的总和在 300 B 左右,完全可以满足条码要求.此时,可以采用较高的纠错等级来提高指纹特征数据在传输过程中的抗损能力.图 5 给出了纠错等级为 5 时生成的二维条码图形.

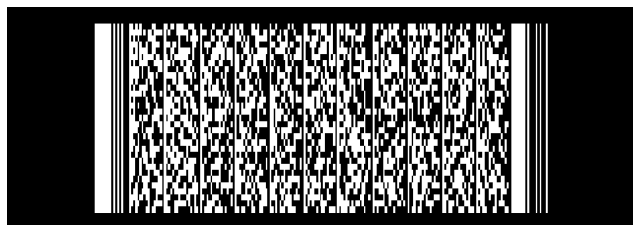


图5 指纹特征的 PDF417 编码

当需要对指纹进行认证时,从二维条码中读取数据,得到存储的指纹特征信息,再从现场提取持有人的指纹特征,二者进行比对即可获得鉴定结果.

要进一步提高指纹信息隐藏的安全性,可以结合加密技术对提取的指纹特征进行加密,然后生成二维条码,使得他人即使可以解码二维条码,也无法获得二维条码的实际内容.

二维条码的指纹特征信息隐藏法具有很多优点:二维条码结构复杂,难于伪造,具有很强的纠错能力,并能够恢复部分受损的信息;二维条码读取速度快,能方便地将隐藏的指纹特征提取出来,并快速地进行后续的认证;二维条码制作成本低,存储信息可随载体移动,不依赖于数据库和网络,应用广泛.

4 结束语

二维条码以它自身的特点,引起了人们的普遍关注,并在众多领域得到了广泛的应用.将指纹特征信息存储在二维条码中,不但实现了指纹信息的隐藏,提高了指纹信息的安全性,而且实现了指纹特征信息的远距离安全传输和高速录入.同时,结合密码

技术,可以进一步提高指纹信息的防伪和保密程度.

参考文献:

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 17172-1997 条码标准汇编 [S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [2] 范玮琦,夏义勇. 方向滤波指纹图像二值化 [J]. 仪器仪表学报,2003,24(4):469-471.
Fan Weiqi, Xia Yiyong. A binarization method of fingerprint image using orientation filter [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24(4): 469-471.
- [3] 韩伟红,沈清,黄子中. 微机上的指纹自动识别系统 [J]. 微型电脑应用,1996(8):16-18.
Han Weihong, Shen Qing, Huang Zizhong. The design and realization of fingerprint recognition system with micro-computer [J]. Microcomputer Applications, 1996(8):16-18.
- [4] 李慧颖,傅德胜. 微机指纹自动识别系统软件设计 [J]. 计算机应用研究,2000(12):75-76.
Li Huiying, Fu Desheng. The software design of fingerprint recognition system with micro-computer [J]. Application Research of Computers, 2000(12):75-76.
- [5] Methre B M, Chatterjee B. Segmentation of fingerprint image — a composite method [J]. Pattern Recognition, 1989, 22(4):381-385.
- [6] Karu K, Jain A K. Fingerprint classification [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(3):389-404.
- [7] Lin Hong, Wan Yifei, Jain A K. Fingerprint image enhancement: algorithms and performance evaluation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8):777-789.
- [8] 刘元兵,李见为. 基于 Gabor 小波核心算法的指纹图像预处理 [J]. 自动化与仪器仪表,2004(3):51-53.
Liu Yuanbing, Li Jianwei. The fingerprint image pretreatment based on Gabor wavelet algorithm [J]. Automation and Instrumentation, 2004(3):51-53.

(编辑 苗凌)