

基于灰度区间映射的脱皮指纹识别技术

胡松, 孙水发, 徐光柱, 董方敏

(三峡大学 智能视觉与图像信息研究所, 湖北 宜昌 443002;
三峡大学 计算机与信息学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 指纹识别技术是生物特征识别技术中的研究热点。指纹学的研究表明指纹具有唯一性和终生不变性, 利用指纹识别技术进行身份验证是可行而且实用的。文中系统地介绍了指纹识别流程及近几年相关技术的最新进展, 在此基础上针对脱皮指纹直方图存在多峰的特点, 提出了一种基于灰度区间映射的指纹预处理方法。仿真实验结果表明, 当去掉灰度区间映射处理后, 脱皮指纹识别出错, 而包含灰度区间映射处理后识别率达到 82.34%。

关键词: 指纹识别; 脱皮指纹; 灰度区间映射

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)10-0147-04

Peeling Fingerprint Recognition Technique Based on Gray Interval Mapping

HU Song, SUN Shui-fa, XU Guang-zhu, DONG Fang-min

(Institute of Intelligent Vision and Image Information, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;
College of Computer and Information Technology, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: Fingerprint recognition technique is the research focus of the biometric recognition technology. It is shown that fingerprint is unique and life-long invariance, feasible and practical for authentication. The procedure of fingerprint identification is investigated in detail and the latest development of related techniques is surveyed. Regarding the multi-peak characteristic of the histogram of the peeling fingerprint, a preprocessing method based on gray interval mapping is proposed. Simulation results show that the identification error of peeling fingerprint happened when removing the gray interval mapping. An overall recognition rate of 82.34% is achieved by adopting the gray interval mapping.

Key words: fingerprint recognition; peeling fingerprint; gray interval mapping

0 引言

许多系统需要可靠的个人识别方案, 以确认或确定一个要求其服务的个体的身份, 确保所提供的服务只有合法用户才能进行访问, 而其他人不能访问。这种应用的例子包括建筑物、计算机系统、笔记本电脑、便携式电话以及自动柜员机的安全访问。当缺乏健全的个人识别方案时, 这些系统都容易遭受到冒名者的侵入^[1]。

指纹作为生物特征中的一种, 具有不易丢失、不会遗忘、不易被他人盗用或伪造的优点, 在身份认证场合扮演着重要角色。

1 指纹识别技术

以下对指纹识别涉及的技术及其最新进展进行简要综述。

1.1 指纹图像的采集

目前指纹采集设备主要分为三类^[2,3]: 光学全反射技术(CCD)、硅晶体电容式传感技术、超声波扫描技术。三种采集设备各有优缺点, 光学全反射传感器体积是最大的, 但非常耐用, 成像能力方面对干手指差, 汗多或脏的手指成像模糊, 耗电较多, 成本低; 硅晶体电容式传感器体积是最小的, 但容易损坏, 对干手指成像好, 汗多或脏的手指不能成像, 耗电较少, 成本低; 超声波扫描技术体积居中, 耐用性一般, 但成像能力是最好的, 耗电较多, 成本相应很高。

1.2 指纹图像的分类

一般将指纹分为 5 类^[4], 即漩涡型、左旋型、右旋型、弓型、尖弓型, 如图 1 所示。

由于指纹的类内差异较大, 类间差异较小, 而且指

收稿日期: 2012-02-24; 修回日期: 2012-05-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60972162, 61102155)

作者简介: 胡松(1987-), 男(土家族), 湖北宜昌人, 硕士研究生, 研究方向为图像处理; 孙水发, 博士, 副教授, 研究方向为计算机视觉、智能信息处理。

纹在采集过程中往往会存在噪声,致使图像质量变低,不易区分,使得指纹分类仍旧是一个难题。目前常见的指纹分类方法有结构法^[4]、统计法^[5]、句法^[6]、人工神经网络法^[7]以及混合法^[8]。对指纹的有效分类可以提高指纹识别时的查找速度,同时提高识别率,也使得指纹的存储更有组织性。文献[9]针对传统指纹分类算法分类不均衡的缺陷,提出一种基于独立分量分析的二级指纹分类算法。分类器作为指纹分类中的关键技术之一,它的选择对于指纹分类准确性有着至关重要的意义。目前国内外学者已经对分类器进行了大量的研究,文献[10]中用到了基于 SVM 的指纹分类器,Hugo Vieira 等人^[11]使用神经网络作为分类器。Anil K. Jain 等人^[4]使用了两层分类器,此种方法首先使用 k 近邻进行粗分,然后使用神经网络进一步对指纹进行细分。Cheong Hee Park 等人^[12]使用基于质心的分类方法来设计分类器。



图 1 指纹分类

1.3 指纹图像的预处理

由于指纹采集设备的因素以及手指的干湿程度、脱皮、用力不均等会造成采集到的指纹纹理不够清晰,存在很多噪声,所以要对指纹图像进行一个预处理,使所采集到的指纹图像纹理更清晰,纹理边缘更平滑。预处理的方法很多,往往需要遵照一定的顺序依次进行处理,主要包括平滑去噪、梯度方向场求取、均衡、归一化、分割、滤波增强等。

平滑去噪的方法包括均值滤波法、中值滤波法、高斯滤波法、局部统计滤波法等。可以去除高斯噪声、椒盐噪声等形式的噪声。

由于指纹的纹理特征比较显著,可用梯度和方向场来表征,文献[13]提出了一种局部调整距离保持梯度函数,并引入图像相依的权系数 $V(I)$ 代替常值权系数。另一种是块方向图,表示源指纹图像中每一块脊线的大致方向。考虑到相邻几点方向不会相差太大,所以直接算块的方向^[14]。另外文献[15]中还提到了一种自适应指纹方向场平滑算法:首先进行块方向场计算,然后计算方向一致性,最后进行自适应方向场平滑算法的计算,方向一致性的计算公式如下:

$$\text{Coh}(t) =$$

$$\frac{\sqrt{\left(\sum_{(i,j) \in W(t)} \cos(2\theta(i,j))\right)^2 + \left(\sum_{(i,j) \in W(t)} \sin(2\theta(i,j))\right)^2}}{\text{num}} \quad (1)$$

一般在平滑去噪之后都会对图像进行均衡化,图

像均衡是提高图像对比度的经典算法,最常用的就是直方图均衡,它通过使灰度值在整个灰度区间上均匀分布而增强图像的对比度。另一种方法为归一化,其目的是消除指纹采集过程中由于传感器自身的噪声以及因为手指压力不同而造成的灰度差异,将指纹图像的对比度和灰度调整到一个固定的级别上。归一化不改变脊线和谷线的清晰度,但可以减少沿着脊线和谷线方向上的灰度的变化,它的表达式如下^[15]:

$$N(i,j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{V_{AR_0} (I(i,j) - \text{Mean})^2}{V_{AR}}}, & I(i,j) > \text{Mean} \\ M_0 - \sqrt{\frac{V_{AR_0} (I(i,j) - \text{Mean})^2}{V_{AR}}}, & I(i,j) \leq \text{Mean} \end{cases} \quad (2)$$

其中 M_0 、 V_{AR_0} 分别为灰度均值和方差,一般分别都取 125, Mean 、 V_{AR} 分别为原图均值和方差, $I(i,j)$ 为点 (i,j) 的灰度值。

分割使得指纹图像的前景、背景分离,使后续处理在前景区的有用指纹区进行,从而可以减少计算量,也使得背景区的噪声影响被消除。分割算法经常被人们单独拿来研究,所以相关算法也是很丰富的,包括边缘检测法——Sobel 算子、Roberts 算子、Canny 算子;图像阈值法——最佳阈值分割迭代算法、Otsu 阈值分割算法,改进的最大类间方差法是这几类中较好的^[2]。

滤波增强使得指纹图像的纹理更清晰,比较常用的是 Gabor 滤波增强。文献[16]中提到了改进的非线性扩散滤波增强算法,非常适用于离线指纹图像处理。文献[17]中提到了一种基于频域滤波的指纹图像增强算法,指纹频域滤波器由环带通滤波和方向滤波器两个部分构成。这种方法对空洞以及断裂的处理较好,而且对模糊图像的处理效果比较理想,在方向急剧变化的区域增强效果也能满足实用要求。

另外,细化也是指纹处理中会用到的最常见的处理步骤,但文献对它的研究比较少,方法比较固定,一般会用到查表法。数学形态学上的细化算法就是通过形态学构建一张腐蚀模板,腐蚀模板不止一个,将满足条件的不同腐蚀模板构成一个查找表来将满足条件的点予以删除,不断腐蚀直到达到细化要求^[2]。

1.4 指纹图像的特征提取

特征细节点:通常是指纹线的端点、叉点、中心点和三角点,国际鉴定协会标准委员会确定的特征细节点有以下 5 种^[18]: (1) 纹线端点、(2) 纹线分叉、(3) 短线、(4) 眼线、(5) 点。奥斯特布曾建议指纹特征细节点除上述 5 种之外再加上以下 5 种^[18]: (6) 三角、(7) 桥形、(8) 双叉、(9) 三叉、(10) 马刺形。指纹特征中还有一个非常重要的特征点, (11) 中心点,部分细节特

征点如图 2 所示^[18]:

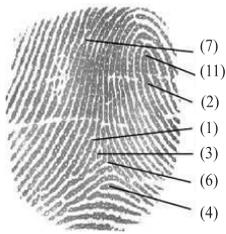


图 2 指纹细节特征点

目前指纹细节特征提取的常见算法有:基于原始灰度图像提取(跟踪纹线)、基于二值化图像提取、基于细化图像提取。基于细化图像提取是最常见的特征点提取方法,需经预处理得到细化指纹图像,然后根据特征点模型来计算查找特征点,如端点和分叉点,对于奇异点一般采用 Poincare 指数的奇异点检测算法^[18]。文献[19]中提到了一种鲁棒脊线跟踪算法,该方法不需要进行二值化和细化,直接在灰度级指纹图像上进行。

1.5 指纹图像的匹配识别

匹配算法主要分为:基于纹理结构的匹配算法、基于点模式的匹配算法、基于纹线的匹配算法、基于三角的匹配、基于图的匹配方法和基于动态规划的匹配方法等^[2,20]。

文献[20]描述了基于纹理模式的匹配算法、基于细节点的匹配方法、基于图匹配的方法和基于三角匹配和动态规划的混合匹配方法。特征提取主要是在细化的基础上提取出指纹中比较有代表性的特征点,如端点、叉点、中心点、三角点等,特征点主要用于基于点模式的匹配算法中。文献[21]采用 Raos 算法计算方向图,搜索算法计算中心点,并将图像扇形化和归一化,用 Gabor 滤波器对指纹图像进行增强,将扇格块的平均绝对偏差作为特征,计算 Euclidean 距离实现指纹特征匹配。

现在许多识别算法都将几种识别匹配算法融合在一起,分配不同的权重,最后计算总匹配分数来进行匹配识别。如文献[22]中提到的将滤波特征识别算法与不变矩识别算法以一定的权值进行结合,由于是两分类问题,采用线性分类器进行训练,得到线性判别函数,通过该函数来确定权重。

指纹识别算法的研究中也将图像质量评估考虑进去了,这样做的一个优点是将低质量的指纹图像直接排除,以免引起误判和使匹配率降低,提高整个系统的性能。文献[20]对指纹图像进行了质量评估,提出了一种基于形状上下文的方法,通过计算两个点集之间的相似性来判断它们是否属于同一个形状。该算法也存在一些不足,最突出的就是匹配时间较长。

1.6 指纹识别系统的安全性

指纹识别技术在发展过程中同样要考虑安全性,虽然指纹作为一种身份认证确实有它的优势,但同样存在被破解的可能。文献[23]中就提到了这一点:虽然细节点被认为是最具有区分性的特征,但可从指纹细节点模板恢复出原始指纹图像,威胁到用户的隐私安全。文献[24]也提到了指纹识别系统抵抗外来入侵的能力,可通过硬件或软件的方式来检测指纹的真实性。基于软件的技术主要有通过皮肤汗孔^[25]或解剖纹理^[26]的特征来进行区分;基于硬件的技术可以通过一些特殊的设备,检测到活体指纹的一些生理特性,例如血压^[27]、气味^[28]等。

2 基于灰度区间映射的指纹识别与仿真

2.1 灰度区间映射

通过对大量指纹图像的分析发现,灰度直方图一般会出现两个波峰:第一个低灰度值区域的波峰所表征的是指纹图像的前景区域;第二个波峰主要是一些中间灰度值,它通常比前景区,即指纹纹理区的灰度值要高一些,有些本来就是属于前景区的,如脱皮指纹,脱皮范围的灰度值基本都集中在此范围内,几幅指纹图像的灰度直方图分布如图 3 所示。

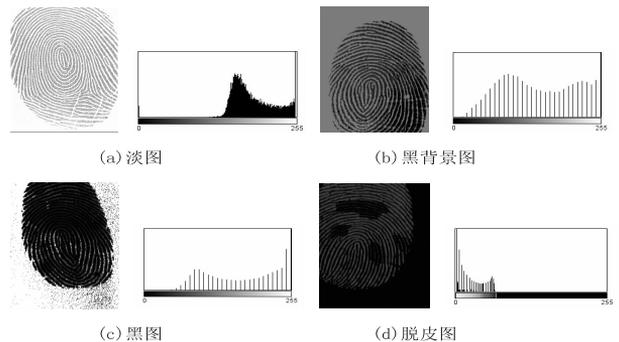


图 3 不同指纹及其直方图

文中提出了一种基于灰度区间映射的指纹预处理方法,该步骤用在指纹分割之后。首先,统计各灰度值的数量,然后在区间 $[a, b]$, $a > 20, b < 230$ (如 $[40, 210]$) 上寻找灰度分布的极大值,选择的区间离边缘有一段距离,这是因为最暗和最亮的像素点通常并不是数量最多的,最暗和最亮的像素点的灰度值通常集中在离边缘有一段距离的区域。在该区间上可能有许多峰值,要找出所有极大值中的最大值,选取一个以最大值为中心的邻域 $[m, n]$, 在函数 $y = ax + b$ 上将 $[m, n]$ 映射到 $[1, 20]$, 有

$$\begin{cases} ma + b = 1 \\ na + b = 20 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = 19/(n - m) \\ b = 1 - ma \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{其中, } \begin{cases} m = \max - 25 \\ n = \max + 25 \end{cases}$$

经过灰度区间映射处理之后,图像的对比度有了很大提高,尤其使脱皮指纹的脱皮区与周围前景区域的灰度值的差别更小,通过灰度区间映射处理后指纹增强效果的对比图如图 4 所示。



(a) 映射处理前 (b) 映射处理后

图 4 灰度区间映射后指纹增强对比图

2.2 系统仿真

文中指纹识别系统程序流程如图 5 所示,各处理环节及算法如下:图像输入(指纹数据库)、低频部分提取(二维高斯函数模板算子)、计算梯度方向场(公式法)、图像分割(梯度分割法)、灰度区间映射(灰度变换)、平滑处理(平滑滤波模板)、图像增强(Gabor 滤波器)、图像二值化(基于方向场与梯度场)、图像细化(查表法)、提取指纹特征(奇异点:Poincare 指数法)、比对(界限盒模型)。在仿真过程中,当去掉灰度区间映射处理后,脱皮指纹识别出错,说明灰度区间映射提高了脱皮指纹的识别率。

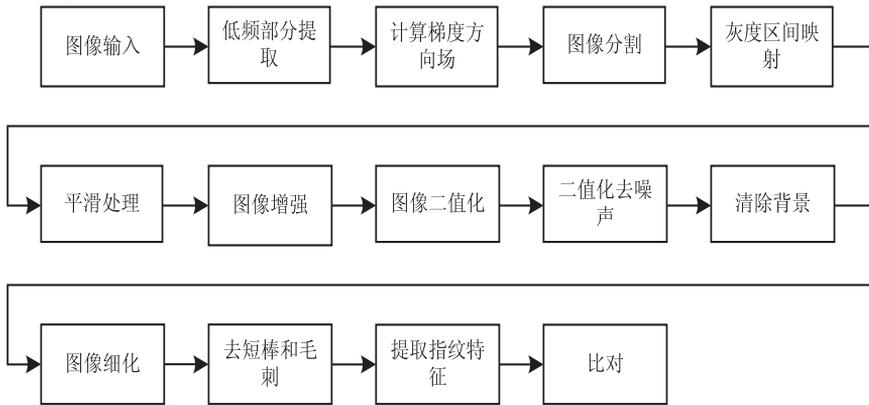


图 5 系统算法流程图

由于灰度区间映射之后会出现一些离散的点,所以进行一次平滑滤波处理来去除这些噪声点,这样在图像增强时纹线的边缘更平滑,方向选择性更强,增强效果更好。该系统对脱皮指纹的识别有了很大的提高,用指纹库(VeriFinger_Sample_DB:来源于网上,共包含 408 幅指纹图,其中每个指纹有 8 个不同样本)对该系统做了测试,总体识别率达到 82.34%。

3 结束语

以上内容基本涵盖了指纹识别领域最近几年公开的部分研究成果,可以看出指纹识别技术趋向于将几类方法进行有效融合,使匹配结果更准确。当然,更高

级、更有效、适应性更强的算法还有进一步研究的空间,比如文中处理的脱皮指纹识别。

参考文献:

- [1] Jain A K, Ross A, Prabhakar S. An Introduction to Biometric Recognition[J]. IEEE Trans on CSVT, 2004, 14(1): 4-5.
- [2] 王刚. 基于点模式的指纹特征识别研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [3] 王崇文, 赵德申, 王廷才, 等. 指纹取象与指纹识别[J]. 计算机工程与应用, 2002(20): 195-198.
- [4] Jain A K, Prabhakar S, Hong L. A multi-channel approach to fingerprint classification[J]. IEEE Trans on PAMI, 1999, 21(4): 348-359.
- [5] Hong Jin-hyuk, Min Jun-ki, Cho Ung-keun. Fingerprint classification using one-vs-all support vector machines dynamically ordered with naive Bayes classifiers[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(2): 662-671.
- [6] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002: 519-560.
- [7] Yao Yuan, Marcialis G L, Pontil M. Combining flat and structured representations for fingerprint classification with recursive neural networks and support vector machines[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(2): 397-406.
- [8] Li Jun, Yau Weiyun, Wang Han. Combining singular points and orientation image information for fingerprint classification[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(1): 353-366.
- [9] 项明, 吴小培, 刘明生. 基于独立分量分析的二级指纹分类算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(10): 16-18.
- [10] 亓秀燕. 基于频谱能量和判别熵的指纹分类算法[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- [11] Neto H V, Borges D L. Fingerprint Classification with Neural Networks[C]//Proceedings of the 4th Brazilian Symposium on Neural Networks. [s.l.]: [s.n.], 1997: 66-72.
- [12] Park C H, Park H. Fingerprint classification using fast Fourier transform and nonlinear discriminant analysis[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(4): 495-503.
- [13] 罗伟平. 局部调整梯度函数在指纹识别技术中的研究和应用[D]. 衡阳: 南华大学, 2010.
- [14] 潘静, 帅仁俊. 一种基于方向场的指纹图像滤波算法[J]. 通信技术, 2011, 44(7): 48-49.
- [15] 项灿. 指纹识别预处理算法研究及指纹特征在数字签名

续推断可得 $R(N) = 2N - 1$ 成立。引入 2.3 规则一: 仅 1 位碰撞可识别 2 个标签。当存在满二叉树叶子节点标签, 且两两标签均只有 1 位碰撞的情况下, 很容易判断出 N 个标签的识别将减少 N 次回溯改变筛选条件状况, 并且这个状况识别次数最低, 即 $R(N) = 2N - 1 - N = N - 1$ 。

综上所述, 证明 $N - 1 \leq R(N) \leq 2N - 1$ 成立, 其 Request 请求命令时间复杂度为: $O(N)$ 。同时本算法识别标签过程中并不考虑碰撞位连续还是间隔问题。

3 结束语

本算法通过研究了现有的二进制防碰撞算法, 并在此基础上为原有算法融进了折半搜索算法和回溯算法的综合思想。并为该算法提出三条规则:

①仅 1 位碰撞可同时读取两个标签;

②多位碰撞, 筛选条件转变为: 最高碰撞位置 0, 其他碰撞位置 1;

③每读取标签成功后将当前筛选条件转变为上一个筛选条件, 如继续发生多位碰撞, 执行②, 否则执行③直至全部标签被识别。

除此规则外本算法识别标签过程中并不用考虑碰撞位连续还是间隔的问题。

现有的二进制防碰撞算法读写器寻呼次数为 $R(N) = 2N - 1$ (锁位后退算法 BLBO^[4]) 已优于其他二叉搜索树算法等二叉树算法。本算法则更进一步提高了识别效率, 且当标签数量越多则 $R(N)$ 越趋近于 $N - 1$ 次寻呼的状况。通过算法验证 $N - 1 \leq R(N) \leq 2N - 1$ (N 表示标签数, $R(N)$ 表示寻呼次数)。

(上接第 150 页)

中的应用[D]. 海口: 海南师范大学, 2010.

[16] 王 晶. 基于 ARM 指纹识别预处理的研究与实现[D]. 太原: 中北大学, 2011.

[17] 刘卫刚, 胡锡梅, 王福明, 等. 一种基于频域滤波的指纹图像增强算法[J]. 机器视觉, 2011(9): 72-73.

[18] 李 昊, 傅 曦. 精通 Visual C++ 指纹模式识别系统算法及实现[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

[19] 李 夏, 武君胜. 一种面向指纹识别的鲁棒脊线跟踪算法[J]. 计算机仿真, 2009, 26(1): 205-208.

[20] 谢 睿. 指纹识别系统中图像质量评估与匹配算法的研究及实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.

[21] 张新森. 基于 Gabor 滤波的指纹图像识别研究与实现[J]. 计算机与现代化, 2011(7): 24-25.

[22] 陈燕玲. 一种基于滤波特征和不变矩的混合指纹识别算法[J]. 桂林电子科技大学学报, 2010, 30(1): 63-65.

[23] 李艳华. 序数特征在指纹识别及可撤销模板中的应用

参考文献:

[1] 陈 冲, 徐 志, 何明华. 一种新的 RFID 防碰撞算法的研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2009, 35(3): 367-371.

[2] 郎为民. 射频识别(RFID)技术原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 58-91.

[3] 芬肯策勒. 无线电感应的应答器和非接触 ic 卡的原理与应用[M]. 陈大才译. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2005.

[4] 王 雪, 钱志鸿, 胡正超, 等. 基于二叉树的 RFID 防碰撞算法的研究[J]. 通信学报, 2010, 31(6): 49-57.

[5] Shih D H, Sun P L, Yen D C, et al. Taxonomy and survey of RFID anti-collision protocols[J]. Computer Communication, 2006, 29: 2150-2166.

[6] Kim S S, Kim Y H, Lee S J, et al. An improved anti-collision algorithm using parity bit in RFID system[C]//The 7th IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. [s. l.]: [s. n.], 2008: 224-227.

[7] 李世煜, 冯全源, 鲁 飞. 基于 BIBD(4, 2, 1) 的 RFID 防碰撞算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(3): 279-281.

[8] 孙文胜, 陈安辉. 高效的 RFID 混合询问树防碰撞算法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(10): 3717-3719.

[9] 伍继雄, 江 岸, 黄生叶, 等. RFID 系统中二叉树防碰撞算法性能的提升[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2010, 37(12): 82-86.

[10] Myung J, Lee W. Adaptive binary splitting: a RFID tag collision arbitration protocol for tag identification[J]. Mobile Networks and Applications, 2006, 11(5): 711-722.

[11] 侯胜宇, 冯 锋. 一种改进的二叉树型 RFID 防碰撞算法[J/OL]. 2012-01-16. <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.tp.20120116.0926.017.html>.

[12] 严蔚敏. 数据结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.

[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.

[24] Galbally J, Alonso-Fernandez F, Fierrez J, et al. A high performance fingerprint liveness detection method based on quality related features[J]. Future Generation Computer Systems, 2012, 28(1): 311-321.

[25] Tan B, Schuckers S. Comparison of ridge and intensity based perspiration liveness detection methods in fingerprint scanners[J]. Biometric Technology for Human Identification III, 2006, 6202: A2020-A2020.

[26] Wei Z, Qiu X, Sun Z, et al. Counterfeit IRIS detection based on texture analysis[C]//ICPR. [s. l.]: [s. n.], 2008: 1340-1343.

[27] Lapsley P, Lee J, Pare D, et al. Anti-fraud biometric scanner that accurately detects blood flow[P]. US: 5737439, 1998-04-07.

[28] Baldisserra D, Franco A, Maio D, et al. Fake fingerprint detection by odor analysis[J]. LNCS, 2005, 3832: 265-272.

基于灰度区间映射的脱皮指纹识别技术

作者: [胡松](#), [孙水发](#), [徐光柱](#), [董方敏](#)
作者单位: [三峡大学 智能视觉与图像信息研究所, 湖北 宜昌 443002](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2012(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201210039.aspx