

基于移动设备的掌纹验证系统

张建新, 欧宗瑛, 刘典婷

(大连理工大学精密与特种加工教育部重点实验室, 大连 116024)

摘要: 针对掌纹识别在智能移动设备上的应用, 提出一种掌纹识别算法, 并嵌入到联想 ET980 智能手机, 开发基于移动设备的掌纹验证系统。以新的方式采集掌纹图像并给出相应的预处理算法。使用优化的 Gabor 判别方法提取掌纹特征, 减少特征提取的时间。系统验证一张掌纹图像的时间小于 1 s, 同时可获得 $EER=3.89\%$ 的识别精度, 满足验证系统的实时性和精度要求。

关键词: 掌纹验证系统; 移动设备; 掌纹分割; 光照归一化; 优化 Gabor-LDA 特征

Palmprint Verification System Based on Mobile Device

ZHANG Jian-xin, OU Zong-ying, LIU Dian-ting

(Key Laboratory for Precision and Non-traditional Machining Technology, Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

【Abstract】 Aiming at the application of palmprint recognition in mobile devices, this paper proposes a palmprint recognition algorithm and successfully embeds it into Lenovo ET980 mobile phone. The mobile-based system captures and pre-processes palmprint image in a new style. An optimal Gabor wavelets based discriminant subspace method is applied for feature extraction to give an effective and compact presentation of palmprint image. The system achieves the recognition rate of $EER=3.89\%$ and takes 1 s to verify a palmprint image, which satisfies the requirement of a real-time verification system.

【Key words】 palmprint verification system; mobile device; palmprint segmentation; illumination normalization; optimal Gabor-LDA feature

1 概述

当前, 智能手机和 PDA 等移动通信设备已经越来越广泛地出现在人们的生活中。当人们享受这些移动设备带来的方便性时, 由此发生的诈骗和身份盗窃也迅速增加。这迫切需要有一种新的安全保护方式来辅助或替代传统的身份认证, 而最近发展起来的基于生物特征的身份认证则是一种很好的技术方式。

掌纹识别是一种有效的生物特征识别技术^[1-2]。掌纹图像具有可在低分辨率条件下识别的特点, 普通数码相机拍摄的掌纹图像即可以获得有效的识别精度。由于智能手机一般也含有摄像头, 具有拍照功能, 因此可以考虑将掌纹识别技术嵌入到这些移动设备中。然而, 受这些智能设备资源等条件限制, 如较小的存储空间、较弱的处理能力和相对复杂的应用环境等, 现有的掌纹识别算法一般不能有效地嵌入到这些设备中。

本文提出了一种新的掌纹识别算法, 并将算法有效地嵌入到联想 ET980 智能手机上, 形成 Windows mobile 系统下的嵌入式掌纹验证系统。该系统包含注册模块过程和验证模块过程, 由图像采集、图像预处理(图像分割和归一化处理)、特征提取(优化的 Gabor 判别特征提取)、特征模板库和特征匹配这几个主要子模块构成。系统具体的工作流程见图 1。

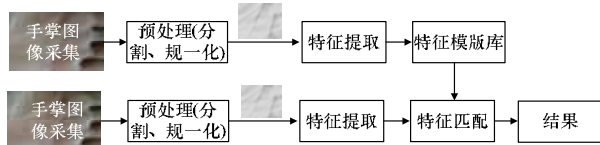


图1 掌纹验证系统的工作流程

2 图像采集和分割

掌纹图像的有效采集和分割是掌纹识别的基础, 掌纹图像的分割算法通常根据图像采集的结果来确定, 两者密切相

关。对于智能移动设备, 由于没有辅助的装置来固定手掌的位置, 手掌所处的背景图像也有可能比较复杂, 现有的掌纹采集分割算法一般不能有效实施, 需要重新设计掌纹图像采集方式和分割算法。

为去除手掌图像的背景区域, 系统采用四指并拢的图像采集方式, 四指方向与手机屏幕平行, 并且仅采集手掌的内部区域。在采集到的图像中, 2 个手指间的图像颜色与皮肤颜色有明显的差异, 因此可以通过图像处理方法来获得指根间的关键点(指根点), 从而用来定位和分割掌纹图像。掌纹图像定位分割过程如图 2 所示。

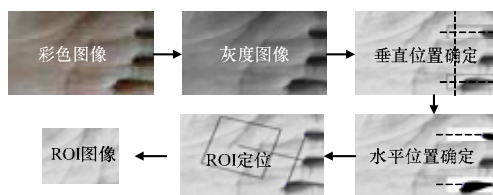


图2 掌纹图像分割示意图

具体的步骤如下: (1)将采集到的彩色图像(320×240 像素)转换为灰度图像。(2)使用图像归一化算法(光照、灰度)处理灰度图像, 处理后的图像具有相同的灰度均值和方差。(3)将归一化图像的右侧部分图像(120×240 像素)的像素按水平方向相加, 确定关键点的垂直位置。(4)提取图像的 2 个子区域, 每个区域为像素 120×40 大小, 对子区域图像做二值化, 确定关键点的水平位置。(5)归一化 2 个关键点的距离为 160 像素,

基金项目: 大连理工大学交叉学科基金资助项目(DUT-SIA2006)

作者简介: 张建新(1981-), 男, 博士研究生, 主研方向: 生物特征识别; 欧宗瑛, 教授、博士生导师; 刘典婷, 博士

收稿日期: 2009-09-28 E-mail: zjx99326@163.com

建立坐标系, 获得 128×128 像素大小的掌纹中间区域图像, 用于后续的特征提取。

3 光照归一化

光照处理的目的是归一化采集图像的光照变化, 这是嵌入式掌纹验证系统中一个重要的步骤。因为对于智能手机等, 其工作环境是变化的, 光照对图像变化的影响有时可能大于 2 类不同图像自身的差异, 而使图像不能正确分类。

对于采集到的图像 I , 根据 retinex 理论, 可以表示为图像反射系数 R 和光照因子 L 的乘积, 如下式所示:

$$I(x, y) = R(x, y)L(x, y) \quad (1)$$

其中, $I(x, y)$ 为 (x, y) 处的图像灰度; $R(x, y)$ 和 $L(x, y)$ 分别为 (x, y) 处的反射系数和光照因子, 反射系数 $R(x, y)$ 是目标图像的内在属性。

一般的, 图像上的光照因子变化比较平坦而反射系数的变化却比较迅速。如果 2 个像素点 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 距离比较相近, 而且中间不存在阴影, 此时 2 点的光照因子可以认为近似相等, 而灰度值则具有如下关系:

$$\frac{I(x_1, y_1)}{I(x_2, y_2)} = \frac{R(x_1, y_1)}{R(x_2, y_2)} \quad (2)$$

上式说明, 2 个像素反射系数的比率可以由 2 个像素点灰度值的比率计算, 而与图像光照变化近似独立。而一个像素点灰度对指定像素点灰度的比率, 可以通过它与周围像素灰度的卷积计算, 这又反映了该点的反射特征^[3]。为方便计算, 使用对数形式来替代上面的比值:

$$\bar{I}(x, y) = \lg(I(x, y) - \lg(G(x, y) * I(x, y))) \quad (3)$$

其中, $\bar{I}(x, y)$ 即是归一化的光照图像; * 代表卷积操作; $G(x, y)$ 为高斯围绕函数, 认为对像素点的影响与其到中心的距离有关。图 3 给出了一些掌纹 ROI 光照和灰度预处理后的结果图像。

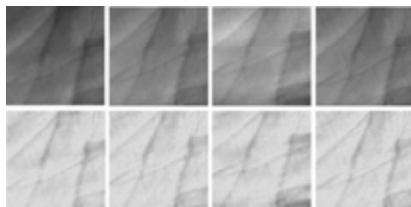


图 3 光照归一化结果示例

4 优化的 Gabor-LDA 特征提取

从采集到的掌纹图像上获得 ROI 区域后, 需要在 ROI 上提取有效的特征以表示和区分掌纹图像。一种基于 Gabor 小波的特征表示方法已经成功地应用于特征表示和图像识别中^[4], 为了能有效地用于嵌入式系统, 在 Gabor 特征选择上进行优化处理。Gabor 滤波器函数可表示如下:

$$\psi_{u,v}(x) = \left(\frac{\|k_{u,v}\|^2}{\sigma^2} \right) \exp\left(-\frac{\|k_{u,v}\|^2 \|x\|^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \exp(ik_{u,v} \cdot x) - \exp(-\sigma^2/2) \quad (4)$$

其中, u 和 v 用来定义滤波器的方向和尺度, $k_{u,v}$ 定义为

$$k_{u,v} = (k_{\max} / f^v) \exp(iu\pi/8) \quad (5)$$

其中, k_{\max} 为最大的频率; f 表示频率的尺度间隔。在掌纹图像识别中使用的滤波器参数为: 5 个尺度 $v \in \{0, 1, \dots, 4\}$; 8 个方向 $u \in \{0, 1, \dots, 7\}$; $k_{\max} = \pi/2$; $f = \sqrt{2}$; $\sigma = 2\pi$, 一共使用了 $5 \times 8 = 40$ 个 Gabor 滤波器。

一个 128×128 大小的图像具有 16 384 个像素点, 如果将每一个像素点都看作是一个特征点, 那么总的 Gabor 特征数

将达到 $16\ 384 \times 40 = 655\ 360$, 计算量非常大。观察 Gabor 滤波器函数构造及其分布, 一个点的 Gabor 特征由该点周围像素与 Gabor 滤波器卷积获得, 并且反映了一个区域的局部特征, 因而可以分散地取像素点作为特征点。进一步发现 ROI 不同区域中对分类的重要性也不同, 因此, 可以使用优化算法选择那些重要的点作为特征点。本文在均匀排列的 187 特征点基础上, 使用遗传算法对特征点进行优化选取, 最终选择的特征点数为 54 个, 如图 4 所示, 特征点数获得了有效的减少。

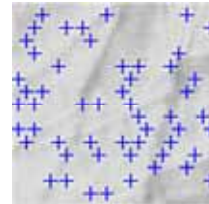


图 4 优化的 Gabor 特征点分布

经过此优化的特征点选择处理, 特征向量的长度可以减少到 $54 \times 40 = 2\ 160$ 。为了使提取的 Gabor 特征能更好地区分掌纹图像和简化, 使用 Fisher 线性判别方法对 Gabor 特征做进一步处理, 然后使用处理后的特征(优化的 G-LDA)用于掌纹图像的表示和匹配。

5 系统嵌入和实验

将上述的掌纹识别算法嵌入到联想 ET980 智能手机中, 形成 Windows mobile 操作系统下的掌纹验证系统。联想 ET980 智能手机具体的性能参数为 CPU Intel XScale PX270 312 MHz, 内存 128 MB Flash, 64 MB SDRAM, 相机 400 万像素, 图像分辨率 240×320(最高 1 200×1 600), 操作系统 Windows mobile Pocket PC。嵌入的掌纹验证系统部分的操作过程如图 5 所示。



图 5 系统工作示例

为了测试掌纹验证系统的性能, 使用 ET980 手机拍摄手掌图像, 构造了一个小型的掌纹数据库。数据库中包含 20 个人的左右手, 其中每个手掌采集 10 张掌纹图像。每个手掌的 5 张图像用于训练集, 其余图像用于测试集, 测试的识别结果如表 1 所示。

表 1 掌纹识别算法的性能比较 (%)

方法	EER	FAR100	FAR1000
54 点算法	3.89	5.36	15.26
187 点算法	3.67	5.31	11.24

实验结果表明, 掌纹验证系统获得的等错误率为 3.89%, 错误接受率为 1% 时的错误拒绝率为 5.36%(FAR100=5.36%), 较 187 点算法识别精度仅略有下降。然而, 54 点算法的效率却大大提高, 在 ET980 智能移动电话上, 系统验证一张图像的时间小于 1 s, 这满足验证系统的实时性要求; 而使用 187 个特征点时, 验证一张图像的时间却需要 2 s 左右。

(下转第 168 页)