

基于指根边缘夹角平分线拟合的掌纹定位方法

陈 琪¹, 张 情¹, 陈 昊¹, 冷 璐², 黎 明¹

(1 南昌航空大学 信息工程学院, 江西 南昌 330063; 2 南昌航空大学 软件学院, 江西 南昌 330063)

摘 要: 针对移动终端复杂背景引起的感兴趣区域(Region of interest, ROI)定位不准确性,提出一种基于指间边缘夹角平分线的掌纹 ROI 定位方法. 首先在 YCbCr 颜色空间提取边缘,即追踪掌纹轮廓,然后用椭圆模型去除伪边缘和噪声,通过形态学操作对实际边缘进行平滑和修补,从而将指根边缘区域化. 在所得两个边缘区域上,用最小二乘法拟合边缘夹角平分线来定位指窝点. 该方法能有效去除指根附近背景的干扰,克服手掌轻微旋转引起的 ROI 定位偏差,实验表明该方法在移动设备环境下能够达到较高的正确率和认证精度.

关键词: 指根边缘;角平分线拟合;关键点定位;移动终端;最小二乘法

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)02-0056-05

Angular Bisector Fitting of Finger Valley Edge for Palmprint Localization

CHEN Qi¹, ZHANG Qing¹, CHEN Hao¹, LENG Lu², LI Ming¹

(1 College of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;

2 School of Software, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Aiming at the inaccurate positioning of region of interest (ROI), a method of ROI localization based on angular bisector of finger valley edge is proposed. Firstly, the edges are extracted in the YCbCr color space, i. e. tracing the palmprint contour. Then the pseudo edges and noises are removed with the ellipse model. In addition, the actual edges are smoothed and repaired with morphological manipulation, which leads to the regionalization of valley edges between fingers. On the two obtained edge regions, the two angular bisector are fitted with least square method to detect two key-points of finger valley. The proposed method cannot only remove the disturbance in the background near the finger valley, but also overcome the deviation of ROI localization resulted from the slight rotation of the palm. The experimental results confirm that the proposed method can achieve high accuracy and verification precision in mobile device environment.

Key words: finger valley edge; angular bisector fitting; key-point position; mobile terminal; least square method

1 引言

随着移动设备的快速发展,移动终端操作系统更是得到广泛应用,移动设备存储了用户较多重要的信息,因此用户信息泄露伴随较大风险,对身份认

证的技术要求较高. 其中掌纹模态的纹理信息丰富、采集设备低廉以及其非接触式采集方式更易于被用户接受^[1],而且手掌处于人身体的较私密的部位,安全性也相对较高.

基于移动终端设备的掌纹特征提取,已获得了

收稿日期: 2017-05-03; **修回日期:** 2017-06-06

基金项目: 国家自然科学基金(61305010, 61202112, 61262019, 61763033, 61772255);江西省重点研发计划项目(20171ACE50024);江西省优势科技创新团队建设计划项目(20165BCB19007);公安部应用创新(2017YYCXJXST048);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ150716, GJJ150715);江西省图像处理与模式识别重点实验室开放基金(TX201604002, ET201680245);江西省研究生创新基金(YC2016021, YC2017095);江西省研究生三小基(2017YBXG005, 2017YBRJ034)

国内外学者的广泛研究^[2],但均存在一定的缺陷或者过多限制,比如采集掌纹图像时用严格苛刻的辅助线或者辅助点限定手掌摆放姿势,导致用户的体验度不高^[3].

常用的掌纹图像分割定位方法主要有以下几种:(1)最大类间方差法(Otsu)^[4],通过图像灰度信息进行分割,因受光线影响较大,当背景中包含与手掌灰度相近的干扰物体,该方法将背景误分为手掌;(2)主动表观模型法(active appearance model, AAM)^[5],抵抗手掌姿势小幅变动和背景变化的干扰能力较强,使得分割算法的效率、精度和鲁棒性有一定的提高,但由于混合了形状和纹理两个较复杂的特征,导致计算开销较大;(3)肤色模型法(skin-color model),如椭圆肤色模型^[6],能排除一定的非肤色区域干扰,但无法去除相近肤色的干扰.

本文设计一种非接触的掌纹采集图像方式,使用多通道融合的方式来提取边缘后,将指缝边缘转换为相应的区域块,在此基础上提出基于指根边缘夹角平分线拟合的掌纹定位方法,并通过平分线的二次拟合来去除一定的定位偏差.

2 图库采集

考虑到移动终端硬件资源的限制情况,本文设计了一种新的采集掌纹图像的方式.采集时,除大拇指之外的指根部区域靠近采集界面的上边框,四根手指与上边界相交,距离不超过图像高度的30%,手掌左右两侧尽量靠近屏幕两侧边框,如图1所示,该方式既提高了手掌面积在图像中的比例,减少了背景出现的概率,同时预留了足够的手指根部区域进行后续的关键点定位.

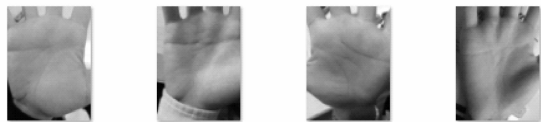


图1 掌纹图库示例

根据上述要求建立的掌纹库共包含60个个体的120个左右手的掌纹样本,男女比例约为7:3,年龄在18~60岁之间,其中年轻学生居多.采集设备为华为G750-t01,摄像头参数为13MP,掌纹的采集环境包括室内、室外、有光照、无光照等多种情况,每只手掌分别采集5~7张数量不等的图像,共700张图像.

3 边缘提取

3.1 选择合适的颜色空间

考虑到需对渐变灰度和噪声图像要有较好的处理效果,本文使用Sobel算子提取边缘,且自动选择边缘敏感度阈值.由于掌纹图像中手掌部分有相对固定的颜色特征,因此,选择适合肤色聚类的颜色模型尤为重要,常用颜色空间YCbCr、HSV、CIE Lab三种,表征亮度分量的Y、V、L三个分量的边缘效果相近;比较其余六个光照无关的分量Cb、Cr、H、S、a、b发现,H、a两个分量能够检测出手指部分边缘,但引入大量的噪声和干扰;Cb和Cr分量提取的边缘相对完整,产生的噪声也相对较少,因此,本文选择YCbCr空间作为目标颜色空间进行边缘提取.

不同环境下Y、Cb、Cr三个通道之间的边缘呈现一定程度上的互补特性,配合使用才能取得较完整的边缘.通过式(1)得到Cb和Cr加权融合分量.

$$C_{\text{融合}} = k_1 \times \text{Cb} + k_2 \times \text{Cr} \quad (1)$$

本文通过大量试验测试 k_1, k_2 的不同组合情况下边缘提取的效果.实验表明,当 $k_1 = 0.1, k_2 = 0.4$ 时,融合通道的边缘提取效果最为稳定.最后再将融合边缘与Y边缘逻辑或运算得到最终的边缘图,由于融合了多个通道的边缘信息,所以也引入了一定的干扰边缘.这些干扰信息会在后续处理中进行消除,不会影响系统认证精度.

3.2 形态学边缘修补

由于光线原因导致指根的实际边缘有可能发生轻微的断裂,因此,需要进行修补的工作.本文对边缘图像进行形态学的闭运算操作,使用结构元素为 3×3 的圆盘型结构元,以达到修补手指边缘的作用,闭运算的结果如图2(c)所示.

3.3 边缘去噪和去伪

(1) 去噪声

在边缘提取之前,为保持边缘的完整性,没有进行相应的平滑操作,因此提取的边缘存在一定的噪声点.由于噪声的长度非常小,本文选取长度阈值Ta为5.在边缘图像中,去除所有长度小于Ta曲线段,长度大于Ta的曲线段予以保留.

(2) 去伪边缘

依据椭圆肤色模型来对伪边缘进行去除,掌纹肤色区域的判断条件如下:

① 若边缘一侧的像素落在椭圆内部,判定是肤色区域,另一侧落在椭圆外部,是非肤色区域,符合手掌边缘特点,予以保留;

② 若边缘两侧的像素均落在椭圆模型外部,则判定是背景的干扰边缘,对其进行清除;

③ 若边缘两侧的像素点均落在椭圆内部,则该边缘可能是手掌内部纹理造成的伪边缘,也可能是类肤色背景干扰下真实的手掌边缘,暂时予以保留。

该方法可以排除背景中类肤色较突出的干扰边缘,其处理结果如图 2 所示。

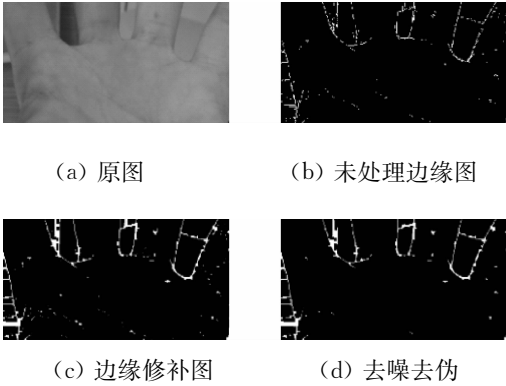


图 2 去噪去伪示意图

4 指窝区域确定

本文通过分析指缝的形状,根据其通常呈“U”字型或“V”字型结构,而指缝之外的干扰边缘,如手掌内部的一些纹路,或者手掌左右两边边界,通常成线状结构,根据这个特点,本文提出一种边缘曲线区域化的方法,进一步排除伪边缘,具体步骤如下所示。

Step1:如果在水平方向上可以检测到一条边缘的两个部分,则证明该边缘有可能是指根区域,将图像进行封闭并填充,如图 3(a)所示。

Step2:对图像进行开操作,消除未被封闭边缘的干扰.结构元素同样选择 3×3 的圆盘型结构元素,补偿了 3.2 中闭运算对边缘带来的影响,如图 3(b)所示。

Step3:去除中指与无名指之间的区域块,仅保留食指与中指之间以及无名指与小指之间的区域进行定位,如图 3(c)所示。

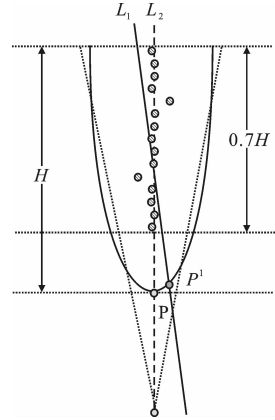


图 3 边缘区域化

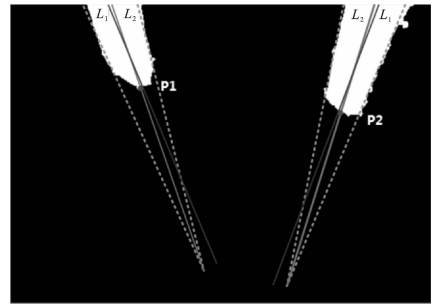
5 角平分线的关键点定位

由于指根处大致呈凹槽状,假设手掌摆放时指尖朝上,由于指窝区域成不对称,本文选取图 4(a)

中所示图像中指窝上方 70% 的部分,扫描其两侧边缘的边缘点,并计算同一水平两侧边缘点的中点,然后对这些中点进行第一次直线拟合,得到图 4(a)中的拟合直线 L_1 ,为了增加精准度,只选取到拟合直线距离前 1/4 的点来进行第二次直线拟合,去除了奇异点的干扰,最终得到了拟合直线 L_2 ,同时 L_2 也是指窝张角的角平分线,而直线 L_2 与指窝轮廓的交点 P 即为指窝关键点。



(a)指根模型及参考点的选取



(b)关键点示意图

图 4 指根区域模型及定位示意图
设待拟合的直线方程为

$$y = a + bx \quad (2)$$

该方程中出现两个待求解参数, a 表示截距, b 表示直线斜率. 对于待拟合的点,选定的点的横坐标 x 是准确的,误差产生在因变量 y 上. 下面以最小二乘法进行指根边缘的直线拟合。

最小二乘法估计参数, x_i 为拟合点在图像坐标系的横坐标, y_i 为拟合点在图像坐标系的纵坐标, N 为参与拟合的点数目。

$$a = \frac{(\sum x_i^2)(\sum y_i) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (4)$$

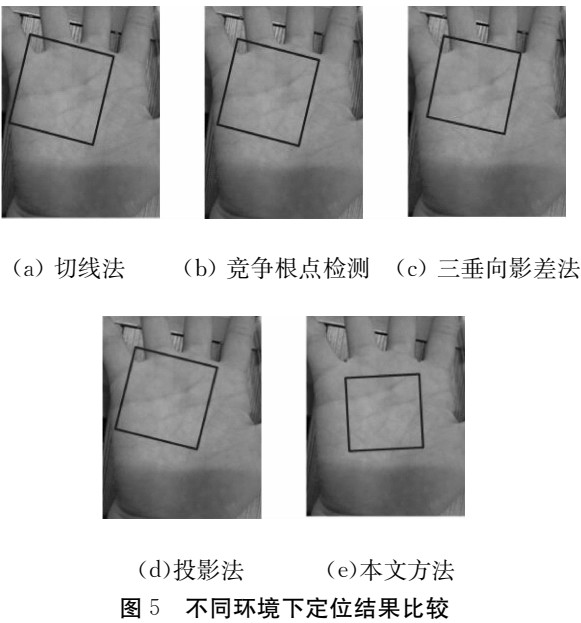
将 a 、 b 的值带入式(2) 即可得到拟合直线方程。

搜索角平分线与指窝底部边缘相交点作为关键点,如图 4(b)中的 P_1 、 P_2 两点所示。根据 P_1 、 P_2 两点建立直角坐标系,对掌纹图像进行方向矫正,并以旋转后两点之间的水平距离作为标准截取 ROI。

6 实验分析

为了测试本文提出方法的性能,实验在自建掌纹库上进行,并从抗干扰性和认证性能两方面进行实验并给出结果分析,并与若干种定位方法进行比较。实验在计算机 Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU,8.00 GB 内存环境下进行。

由图 5 可以看出,本文方法通过将指根边缘区域化,消除了指根附近背景的干扰;当手指张开角度较小且倾斜角度较大时,本文提出的基于指根边缘角平分线的定位方法具有更强的抗干扰能力和定位准确性。



本文采用正确率和等错误率(Equal error rate, EER)以及具体衡量类内距离和类间距离的分离度(decidability index, d')作为评价指标进行算法性能测试。手动标记每幅图像食指与中指以及无名指与小指之间谷底的最低点作为标准关键点,如果定位得到的关键点与标准关键点的坐标差的绝对值小于 5 个像素(图像尺寸为 600×450),则认为定位正确,其中正确率为正确定位 ROI 个数与数据库中样本总数的比值,EER 则基于二值方向共生向量(Binary Orientation Co-occurrence Vector, BOCV)^[7] 计算得到。

由表 1 对比了不同算法的 EER、 d' ,EER 越小,表明算法的认证性能越好, d' 指数越大表明相同个体的不同图像之间相似度越高,不同个体之间的可分离性越大。在 EER 和 d' 指数两个指标上,本文所提方法均取得了较好的表现。图 6 显示不同算法的掌纹库接受操作特性(Receiver operating characteristic, ROC)曲线,在复杂背景下,当背景中有类肤色干扰时,手掌图像容易出现误分割,从而导致其他方法的定位失败,但是本文提出的方法保证了定位的准确性和稳定性。

表 1 不同方法的认证性能比较

	正确率/%	EER	d'
切线法 ^[8]	86.6	2.76	3.89
CHVD ^[9]	91.6	2.55	4.13
投影法 ^[10]	83.4	3.24	3.27
三垂向影差法 ^[11]	92.9	1.87	4.61
本文方法 L1	95.3	1.19	5.08
本文方法 L2		1.16	5.12

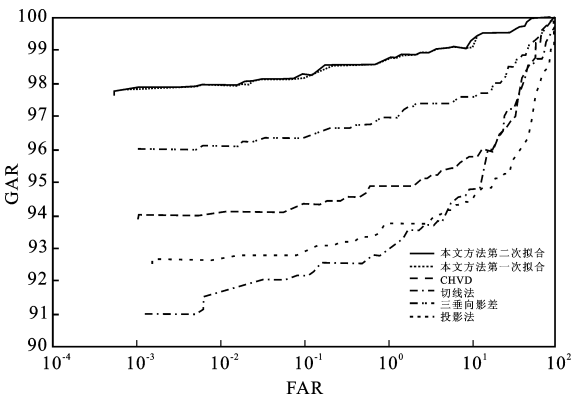


图 6 不同定位方法 ROC 比较

7 结束语

移动环境下掌纹认证系统面临着更多不可控的因素,对掌纹图像的预处理提出了严峻的挑战,本文提出的采集方式,拍摄限定条件少,同时增大手掌采集面积,减少背景在图像中的占比。针对 ROI 的定位,融合了多个通道的边缘信息,在去除一定干扰边缘后,将其转化为区域块,并确定区域块的边缘夹角平分线,通过二次直线拟合对指窝关键点位置进行校正,避免了因手轻微旋转而导致指窝点寻找不准确的问题,更具鲁棒性。多次实验证明,基于角平分线的定位方法具有更强的稳定性和鲁棒性。

参考文献:

- [1] 李艳, 吴贵芳, 戴高乐, 等. 一种新的掌纹轮廓特征点提取算法[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(5): 90-94.
- [2] G Li, J Kim. Palmprint recognition with local micro-structure tetra pattern[J]. Pattern Recognition, 2017 (61): 29-46.
- [3] J S Kim, Gen Li, B G Son, et al. An empirical study of palmprint recognition for mobile phones[J]. International Workshop on Advanced Image Technology, 2015, 61 (3): 311-319.
- [4] M M El-Seddek, M S Morsy, F W Zaki. A radon transform based technique for identification of palmprint images[C]//IEEE on Radio Science Conference. Florida, USA. 2015: 189-195.
- [5] M Aykut, M Ekinici. Developing a contactless palmprint authentication system by introducing a novel ROI extraction method[J]. Image & Vision Computing, 2015, 40(C): 65-74.
- [6] 赵杰, 桑庆兵, 刘毅锟. 基于分裂式 K 均值聚类的肤色检测方法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(1): 134-138.
- [7] Z Guo, D Zhang, L Zhang, et al. Palmprint verification using binary orientation co-occurrence vector[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30 (13): 1219-1227.
- [8] D Zhang, W K Kong, J You, et al. Online palmprint identification[J]. IEEE Transactions on Pattern Anal-

ysis & Machine Intelligence, 2003, 25(9): 1041-1050.

- [9] G K O Michael, T Connie, A B J Teoh. Touch-less palm print biometrics: Novel design and implementation[J]. Image & Vision Computing, 2008, 26(12): 1551-1560.
- [10] 黄申, 徐成, 屈景辉, 等. 基于小波理论对掌纹主线提取和修复[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(8): 1139-1149.
- [11] L Leng, G Liu, M Li, et al. Logical conjunction of triple-perpendicular-directional translation residual for contactless palmprint preprocessing[C]//11th International Conference on Information Technology: New Generations, Washington, DC, USA, 2014: 523-528.

作者简介:

陈琪女, (1992-), 硕士研究生. 研究方向为图像处理、掌纹识别. E-mail: 710668975@qq.com.

张情女, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为图像处理、掌纹识别.

陈昊男, (1982-), 副教授. 研究方向为计算智能、图像处理与模式识别.

冷璐男, (1982-), 副教授. 研究方向为图像处理与模式识别、安全生物特征认证.

黎明男, (1965-), 教授. 研究方向为计算智能、图像处理与模式识别.

(上接第 55 页)

- [4] 姜浩. 高精度可靠浮点计算及舍入误差分析研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2013.
- [5] Tsoumanis K, Xydis S, Efstathiou C, et al. An Optimized Modified Booth Recoder for Efficient Design of the Add-Multiply Operator[J]. Circuits & Systems I Regular Papers IEEE Transactions on, 2014, 61(4): 1133-1143.
- [6] 李亚民. 计算机原理与设计 Verilog HDL 版 Computer principles and design in Verilog HDL[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [7] Schmookler M S, Nowka K J. Leading zero anticipation and detection-a comparison of methods[J]. IEEE Symposium on Computer Arithmetic, 2001, 22(41):

7-12.

- [8] Quinell E, Swartzlander E E, Lemonds C. Floating-point fused multiply-add architectures[C]// Asilomar Conference on. Pacific Grove, CA, USA, IEEE Xplore, 2007: 331-337.

作者简介:

何星宏男, (1992-), 硕士研究生. 研究方向为集成电路设计.

E-mail: hexinghong2015@126.com.

阴亚芳女, (1966-), 教授. 研究方向为电路系统.

戴程男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为集成电路.