

低对比度手背静脉图像的增强和分割

朱丛虎, 王华彬, 陶亮

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要:人体手背静脉识别技术是生物特征识别技术的一种。人的手背拥有比手指更为丰富的静脉血管, 可以提取更多的并且适于身份认证的特征, 所以把手背静脉识别作为一种身份认证方式, 应用于信息安全等领域具有非常重要的现实意义。由于光照强度、手背厚度的不同, 所采集到的手背静脉图像的质量不是很好, 对比度比较低。为了得到有较好对比度的手背静脉图像, 提出了一种基于形态学处理与对比度受限的局部直方图均衡 (CLAHE) 相结合的手背静脉图像处理的方法。实验表明, 这种方法能有效地增强手背静脉和背景的对对比度, 使得静脉分割取得了很好的效果。

关键词:手背静脉图像; 形态学处理; 对比度受限局部直方图均衡; 静脉分割

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)05-0052-04

Enhancement and Segmentation of Low Contrast Hand Dorsal Vein Image

ZHU Cong-hu, WANG Hua-bin, TAO Liang

(MOE Key Laboratory of Intelligence Computing and Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: The human hand dorsal vein recognition technology is a biometric technology. The human hand dorsal has much more veins than the fingers, and can be extracted more features for authentication, so the hand dorsal vein recognition as an authentication approach used in the field of information security has a very important practical significance. Due to the difference of the light intensity and the thickness of hand dorsal, the quality of the hand dorsal image is not very good. The hand dorsal vein images have lower contrast degrees. In order to acquire better contrast hand dorsal vein images, a hand dorsal vein processing method that combines the morphology method and the contrast limited local histogram equalization (CLAHE) is presented. Experiments indicate that the proposed method can strengthen the contrast degrees of the hand dorsal vein and background effectively, and has a significant effect on the segmentation of hand dorsal vein.

Key words: hand dorsal vein image; morphology processing; contrast limited local histogram equalization; segmentation of vein image

0 引言

生物特征识别技术^[1]是通过计算机与光学、声学、生物传感器和生物统计学原理等高科技手段紧密结合, 利用人体固有的生理特性(如指纹、人脸、虹膜等)和行为特征(如笔迹、声音、步态等)来进行个人身份的鉴定。人体手背静脉识别技术是根据人体骨骼和肌肉组织的特点, 当近红外光谱的入射光波长在 0.72 μm ~ 1.10 μm 时, 照射手背可较好地突显出静脉血管, 并由一台 CCD 相机拍摄成手背静脉图像来进行个人身份认证。手背静脉识别系统采集人手内部的静脉血管

作为数据, 具有非接触式、设备成本低廉等优点并且人的手背拥有比手指更为丰富的静脉血管, 可以提取更多的并且适于身份认证的特征, 所以把手背静脉识别作为一种身份认证方式, 应用于信息安全等领域具有非常重要的现实意义。

由于采集人体手背静脉图像的设备、采集过程中光线以及人体的手背厚度的影响, 采集到的手背静脉图像的对对比度较差, 手背静脉血管和背景之间的分界不是很明显, 这使得手背静脉图像增强的处理对以后的手背静脉的分割和特征提取处理有很大影响。目前的大多数的手背静脉分割都是在采集到的图像上运用单一阈值^[2]或多阈值^[3,4]的分割方法, 这样会导致部分可用信息丢失甚至将部分背景信息误判成静脉信息。目前, 已经有研究者采用一些技术来处理手背静脉图像对比度低的问题了。典型的处理方法是直方图均衡化以及改进的直方图均衡化^[5]方法, 但是直方图

收稿日期: 2010-10-14; 修回日期: 2011-01-20

基金项目: 安徽省高校省级自然科学基金重点项目(KJ2010A011)

作者简介: 朱丛虎(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为数字信号与图像处理、模式识别; 陶亮, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为数字信号与图像处理、模式识别。

均衡化的方法在扩大对比度的同时也扩大了图像噪声,掩盖了图像细节信息。灰度图像的形态学处理^[6-8]运用扩张、腐蚀、开操作和闭操作等操作能很好地对图像进行滤波和增强处理。文中从图像直方图均衡化出发,结合灰度图像的形态学处理,通过对比实验,结果表明文中提出的方法可以很好地增强手背静脉图像的对比度,运用局部阈值分割法^[9]对增强后的图像进行静脉分割,取得了很好的分割效果。

1 手背静脉图像预处理

通过 CCD 相机采集到原始的手背静脉图像,如图 1 所示。图像存在大量的背景信息和噪声,因此在处理手背静脉图像之前必须要进行图像预处理。预处理包括对感兴趣的手背区域(region of interest, ROI)提取、ROI 图像大小以及灰度归一化。

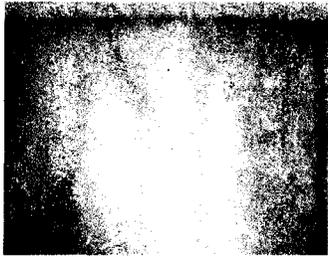


图 1 采集到的手背静脉图像

由于 CCD 相机拍摄手背静脉图像时,人的手是悬空和不固定的,这会对以后的手臂静脉的匹配造成问题,所以手背静脉图像采集装置采用了一种可以固定拳头的装置。采集手背静脉图像时,人要握紧拳头,抵住装置里面的固定位置,CCD 照相机可以从上面采集手背静脉图像。所以可以以同一尺度对采集到的图像进行裁剪。从而得到感兴趣的手背区域(ROI)。对 ROI 图像统一归一化为 $256 * 256$ 大小的手背静脉图像。

此外,由于即使同一个手背在不同时间、不同光照下采集到的静脉图像在灰度分布上也会有很大差异,将直接影响到后续图像处理,因此要对静脉图像进行灰度归一化,即将所有图像转换成同一均值和方差的标准图像,归一化方程如下:

$$I_1(i, j) = \begin{cases} M_1 + \sqrt{V_1} [I_0(i, j) - M_0] / V_0 & I_0(i, j) \geq M_0 \\ M_1 - \sqrt{V_1} [I_0(i, j) - M_0] / V_0 & I_0(i, j) < M_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中 $I_0(i, j)$ 、 M_0 、 V_0 分别是归一化前图像的灰度值、均值和方差; $I_1(i, j)$ 、 M_1 、 V_1 分别是归一化后图像的灰度值、均值和方差。

图 2 为图 1 中手背静脉图像 ROI 提取、大小和灰度归一化处理后的手背静脉图像。这里灰度归一化后

的图像的均值和方差分别为 100、255。

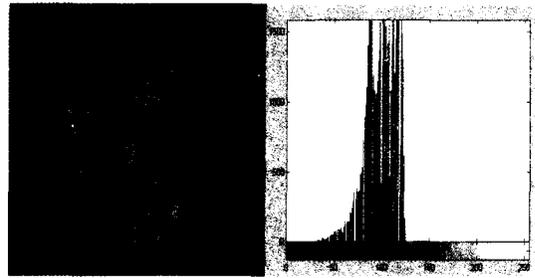


图 2 手背静脉图像 ROI 的灰度归一化图像及其直方图

2 对比度受限的直方图均衡化 (CLAHE)

2.1 图像直方图均衡化

直方图是多种空间域处理技术的基础。直方图操作能有效地用于图像增强,直方图均衡^[7]是利用直方图的统计数据,进行直方图的修改,以通过某种对应关系改变图像中各点的灰度值,来达到图像增强的目的,是一种直方图的调整方法。灰度级为 $[0, L - 1]$ 范围的数字图像的直方图是离散函数 $h(r_k) = n_k$, 其中 r_k 是第 k 级灰度, n_k 是图像中灰度级为 r_k 的像素个数。经常以图像中像素的总数(用 n 表示)来除它的每个值,以得到归一化的直方图。因此,一个归一化的直方图由 $P(r_k) = n_k/n$ 给出,其中 $k = 0, 1, 2, \dots, L - 1$ 。简单地说, $P(r_k)$ 给出了灰度级为 r_k 发生的概率估计值。变换函数的形式为:

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k P(r_j) = \sum_{j=0}^k n_j/n \quad (2)$$

$k = 0, 1, \dots, L - 1$

运用(2)式的变换函数可以将原图像的灰度级分布转换成具有均匀分布的灰度级图像。

2.2 对比度受限的局部直方图均衡

直方图均衡简单、高效,但是从直方图整体上看,变换后的灰度级减小了,因为原来直方图上灰度频数较小的灰度级被归入其他灰度级内,所以造成图像中不同的区域的灰度分布相差甚远,部分细节信息会丢失,这样常常会导致不希望的结果。所以在实际的应用中,常常需要对图像的某些局部区域的细节进行增强。局部直方图均衡化的方法^[10](LAHE)是解决这类问题的一个较好的方法。该方法采用一个滑动窗口,每一个像素的直方图映射函数是由该窗口区域内灰度分布所决定的。只要选取合适的窗口大小,就可以对图像细节进行较好的增强。但是,局部直方图均衡算法需要对图像中每一个像素计算映射函数,计算量巨大,且对噪声非常敏感。

有约束的局部直方图构造方法^[11](CLAHE)是一

种介于全局直方图均衡和局域直方图均衡方法之间的处理方法。CLAHE 方法结合了自适应直方图均衡化和对比度受限两项技术的优点,特别适用于低对比度图像,而且实现过程不复杂。该方法是将图像分为若干个不重叠的区域,对每个区域做直方图均衡处理,最后通过双线性插值得到灰度值。该算法在对每一子区域做直方图均衡时,控制累积直方图的斜率,可以有效抑制对比度过增强带来的噪声。

CLAHE 方法主要步骤^[11-14]如下:

(1) 图像分块:将输入图像划分为大小相等的非重叠子块,每个子块含有的像素数为 M 。

(2) 计算子块直方图:用 $H_{i,j}(k)$ 表示子块的直方图, k 代表灰度级,它的取值范围是 $[0, L-1]$, L 为可能出现的灰度级数。对于灰度级图像, L 一般取为 256。

(3) 计算受限值:使用式(3)计算截断受限值,

$$\beta = NClip * M/L \tag{3}$$

其中, $NClip$ 为限定每个灰度级包含像素数不允许超出平均像素数的 $NClip$ 倍, M/L 表示子块内像素数平均分配到每个灰度级的平均值。

(4) 像素点重分配:对每个子块,使用对应的 β 值对 $H_{i,j}(k)$ 进行剪切,将剪切下来的像素重新分配到直方图的各灰度级中。重复上述分配过程,直至将所有被剪切的像素点分配完,并用 $F_{i,j}(k)$ 表示 $H_{i,j}(k)$ 经重分配处理后的结果。

(5) 子块直方图均衡:对 $F_{i,j}(k)$ 进行直方图均衡化处理,均衡结果用 $C_{i,j}(k)$ 表示。

(6) 像素点灰度值重构:根据 $C_{i,j}(k)$,得到各子块中心像素点的灰度值,将它们作为参考点,采用双线性插值技术计算输出图像中各点的灰度值。

将归一化后的静脉图像分成 $8 * 8$ 个大小相等的非重叠的子图像,式(3)中 $NClip$ 取 4,得到的增强图像 I_{CLAHE} 如图 3 所示。

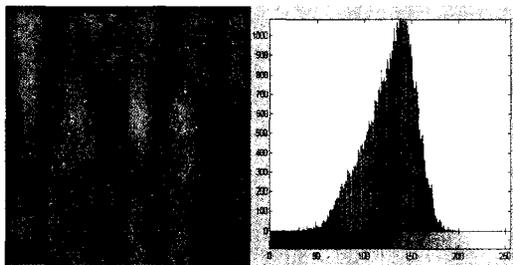


图 3 手背静脉图像的 CLAHE 图像及其直方图

3 图像的灰度级形态学处理

3.1 膨胀和腐蚀

用 b 对函数 f 进行的灰度膨胀和腐蚀分别表示为 $f \oplus b$ 和 $f \ominus b$, 定义为:

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) +$$

$$b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}$$

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}$$

其中 D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域。如果所用结构元素的值为正,则对灰度图像进行膨胀处理的图像会趋向于比输入图像更亮,而腐蚀处理的图像会趋向于比输入图像更暗。

3.2 开操作和闭操作

用结构元素 b 对图像 f 进行开操作和闭操作,分别表示为:

$$F \circ b = (f \ominus b) \oplus b$$

$$f \cdot b = (f \oplus b) \ominus b$$

开操作先用 b 对 f 进行简单的腐蚀操作,然后用 b 对得到的结果进行膨胀操作。开操作用于去除较小的明亮细节,同时相对地保持整体的灰度级和较大的明亮区域不变。闭操作先用 b 对 f 进行简单的膨胀操作,然后用 b 对得到的结果进行腐蚀操作。闭操作用于除去图像中的暗细节部分,而相对地保持明亮部分不受影响。

3.3 形态学图像平滑处理

实现平滑处理的方法是先使用形态学开操作,然后进行闭操作。进行这两种操作的最终结果是除去或减少人为的亮和暗的因素或噪声。

对图 3 中的手背静脉图像进行形态学处理的结果如图 4 所示, (a) ~ (e) 分别是对图 3 中图像的膨胀、腐蚀、开、闭和平滑操作。所用的是半径为 5 的圆盘形结构元素。

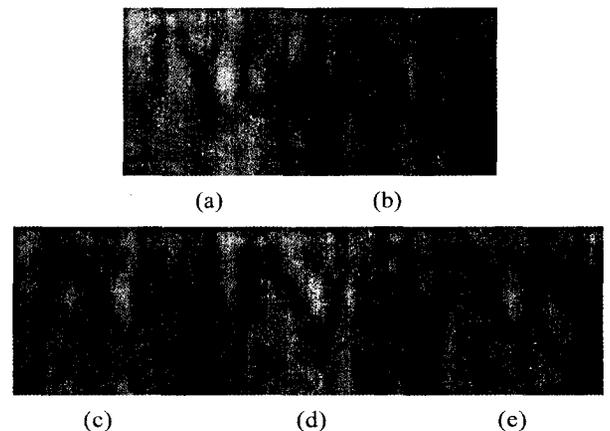


图 4 CLAHE 图像的形态学处理

4 CLAHE 方法与形态学处理相结合

经过 CLAHE 方法处理后的图像 I_{CLAHE} 对比度不高。文中处理方法是先对图像 I_{CLAHE} 进行形态学处理,得到形态学处理后的图像为 $I_{MORPHOLOGY}$, 再对图像 I_{CLAHE} 和图像 $I_{MORPHOLOGY}$ 分别乘以系数 a 和 b , 最后将两

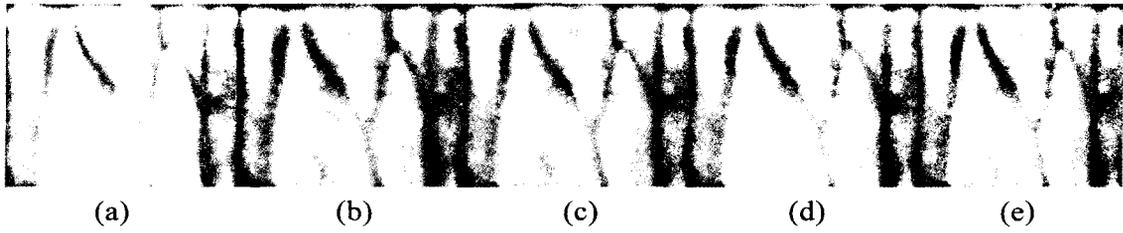


图5 a=1,b=0.8 时的手背增强图像 I



图6 a=1,b=0.8 时的分割效果图以及分割后的去噪结果

幅乘以系数后的图像相加得到增强后的图像 I, 表示为:

$$I = a * I_{CLAHE} + b * I_{MORPHOLOGY} \quad (4)$$

其中 a、b 为比例系数, $0.5 \leq a, b \leq 1$ 。

(4) 式中, 当 a 选取 1, b 选取 0.8 时可以得到比较好的手背静脉增强图像 I, 结果如图 5 所示。对增强后的图像运用 NiBlack 分割方法^[9], 得到手背静脉图像的分割图像, 如图 6 所示。

5 结束语

文中首先运用 CLAHE 方法对归一化的 ROI 图像进行增强, 然后对其进行形态学处理得到形态学处理图像。最后得到的增强图像是经过 CLAHE 方法处理后的图像和其形态学处理图像的加权图像。通过选取不同的加权系数对图像进行实验, 得到了适合的系数选取范围和较好的图像增强效果。通过和 CLAHE 图像增强方法进行比较, 证明文中的方法效果比较好。最后对增强后的图像进行分割得到手背静脉分割图像, 结果表明文中的图像增强方法比较实用。

参考文献:

[1] 余成波, 秦华锋. 生物特征识别技术: 手指静脉识别技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
 [2] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing [M]. 2nd

ed. Publishing Housing of Electronics Industry, 2003: 70-74, 482-486.
 [3] 林喜荣, 庄波, 苏晓生. 人体手背静脉血管图像的特征提取及匹配 [J]. 清华大学学报, 2003, 43(2): 164-167.
 [4] 王科俊, 丁宇航, 庄大燕, 等. 手背静脉图像阈值分割 [J]. 控制理论与应用, 2005, 24(8): 19-22.
 [5] 吕佩卓, 赖声礼. 人体手背静脉血管图像增强与特征匹配 [J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(5): 3623-3625.
 [6] 肖欣招, 胡春燕. 基于形态变换的图像增强方法研究 [J]. 计算机与信息技术, 2007(7): 25-30.
 [7] 冈萨雷斯. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
 [8] 戴青云, 余英林. 数学形态学在图像处理中的应用进展 [J]. 控制理论与应用, 2001, 18(4): 478-482.
 [9] Wang Kejun, Guo Qingchang, Zhuang Dayan, et al. The study of hand vein image processing method [C] // IEEE, 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. [s. l.]: [s. n.], 2006.
 [10] Pizer S M, Amburn E P, Austin J D. Adaptive histogram equalization and its variations [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1987, 39(3): 355-368.
 [11] Reza A M. Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement [J]. Journal of VLSI Signal Processing, 2004, 38(1): 35-44.

4.4 数据处理方面

物联网系统中数据处理主要包括:数据过滤和容错、编码和压缩、数据融合、数据库的管理及数据评估等方面^[17]。由于本模型中涉及到 RFID 技术和无线传感网融合技术,所以在此突出的问题是数据的融合与控制问题,数据融合的核心问题是选择合适的融合算法。

常用的数据融合算法有:权系数的融合方法、参数估计的信息融合方法、D-S 证据理论等,可将 UPnP 和 SNMP 等已有的协议运用到融合后的数据控制问题中。在物联网实际应用中,应选择合适的融合算法和协议,既要保证数据处理的完整性、高效性,同时又要保证数据处理的可控性。

5 结束语

目前各国对于物联网的研究与应用都处在积极的探索过程中,推动物联网的快速发展还需要各方面的共同努力。

(1) 实现关键技术突破。加强国际合作,加大研发力度,加强产学研合作,在共性及关键技术的领域方面开展深入合作,形成相关的产业联盟。

(2) 统一标准和示范推广。包括 RFID 标准及物联网其它相关方面的标准,同时坚持国内外标准同步推进的原则。在资金注入的情况下,整合利用相关资源,优化物联网的结构成本,示范推广物联网的相关应用,实现更多经济价值。

其它方面,在国家层面应该有一个整体战略规划,进行顶层设计。同时还需要完善立法,加大物联网信息涉及到的国家安全、企业机密和个人隐私的保护力度。

物联网代表了下一代信息技术发展的方向。随着各方面的共同努力,相信物联网技术会对中国乃至整个世界经济的发展起到积极的推动和促进作用。

参考文献:

- [1] International Telecommunication Union UIT. ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[R]. 2005.
- [2] Weber R H. Internet of things - Need for a new legal environment [J]. Computer Law and Security Report, 2009, 25

(6): 522-524.

(上接第 55 页)

- [12] 刘 轩,刘佳宾. 基于对比度受限自适应直方图均衡的乳腺图像增强[J]. 计算机工程与应用,2008,44(10):173-175.
- [13] 刘 红,沈利明,乐建威. X 光图像增强处理的研究[J].

- [3] 王保云. 物联网技术研究综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(12): 3-4.
- [4] 单承赣,单玉峰,姚 磊. 射频识别(RFID)原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2008:291-308.
- [5] Thieseh F, Floerkemeier C, Harrison M, et al. Technology, standards, and real-world deployments of the EPC network [J]. IEEE Internet Computing,2009, 13(2): 36-42.
- [6] 张丁一,祝云龙. 基于 RFID 传感器网络的目标跟踪问题研究[J]. 仪器仪表学报,2008, 29(8): 117-119.
- [7] 宁焕生,张 彦. RFID 与物联网—射频,中间件,解析与服务[M]. 北京:电子工业出版社,2008:108-183.
- [8] Evan W, Leilani B, Garret C, et al. Building the internet of things using RFID: The RFID ecosystem experience [J]. IEEE Internet Computing, 2009, 13(3): 48-50.
- [9] Fabian B, Gunther O. Security challenges of the EPC global network [J]. Communications of the ACM, 2009, 52(7): 121-125.
- [10] Joshua C, Anne J. Challenges for database management in the internet of things [J]. IETE Technical Review (Institution of Electronics and Telecommunication Engineers, India), 2009, 26(5): 320-324.
- [11] Weber R H. Internet of Things - New security and privacy challenges [J]. Computer Law and Security Report, 2010, 26(1): 23-28.
- [12] Liu Hai, Miodrag B, Amiya N, et al. Taxonomy and challenges of the integration of RFID and wireless sensor networks [J]. IEEE Network, 2008, 22(6): 26-35.
- [13] Sung J, Lopez T S, Kim D. The EPC sensor network for RFID and WSN integration infrastructure[C]//5th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, Per Com Workshops 2007. [s. l.]: [s. n.], 2007: 618-621.
- [14] 林祝亮,冯远静,俞 立. 无线传感网络覆盖的粒子进化优化策略研究[J]. 传感技术学报,2009, 22(6): 874-876.
- [15] 石为人,袁久银,雷璐宁. 无线传感器网络覆盖控制算法研究[J]. 自动化学报,2009, 35(5): 541-545.
- [16] 王 鹏. 走进云计算[M]. 北京:人民邮电出版社,2009: 36-40.
- [17] 杨秀珍,何 友,鞠传文. 多传感器管理系统研究现状与发展趋势[J]. 传感器技术,2004,23(1):6-8.

科学技术与工程,2007,7(22):5763-5766.

- [14] 王 建,庞彦伟. 基于 CLAHE 的 X 射线行李图像增强[J]. 天津大学学报,2010,43(3):194 - 198.