

doi: 10.7690/bgzdh.2019.02.013

一种指纹图像置信阈值极值化处理算法

李建春, 周克栋, 曹雏清, 赫 雷

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 针对传统方法存在适应性差、计算量大等特点, 提出一种指纹图像置信极值化的处理方法。采用图像均衡化与置信阈值极值化结合对图像进行强化, 对每个小区域的像素点进行灰度值求均值和方差, 并采用 Visual C++ 平台对算法进行实验验证。实验结果表明, 该算法具有处理效果好、适应性强的特点。

关键词: 置信阈值极值化; 图像均衡化; 图像处理; 指纹图像

中图分类号: TP391.411 **文献标志码:** A

A Confidence Valve Extreme Value Processing Algorithm of Fingerprint Image

Li Jianchun, Zhou Kedong, Cao Chuqing, He Lei

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In view of the characteristics of the traditional methods, such as poor adaptability and large amount of computation, a method to deal with the confidence extremum of fingerprint images is proposed. Image equalization and confidence threshold extremum are combined to enhance the image. The gray mean value and variance of each pixel in each small area are calculated. The algorithm is verified by Visual C++ platform. The experimental results show that the algorithm has the advantages of good processing effect and strong adaptability.

Keywords: extremum of confidence threshold; image equalization; image processing; fingerprint image

0 引言

世界上没有完全相同的两片树叶。作为树的生物特性, 树叶上的纹路和形状等将所有的树叶区分开来。指纹作为人体的固有生物特征之一, 同样具有唯一性和不变性。近年来, 随着电子图像采集技术的快速发展, 指纹识别技术开始在各行业得到广泛应用, 但仍有一些技术有待研究与提高。

极值化是指纹前处理过程中相当重要的环节, 如处理不好, 会直接影响后期的图像细化、特征点提取以及比对等操作; 因此, 较多学者对极值化开展了研究^[1-4], 并先后提出固定阈值法、迭代法、动态阈值法以及填补动态阈值法。但固定阈值法适应性差、处理效果差; 迭代法存在计算量大的缺点^[5]; 动态阈值法适应性差^[6-8], 对干、湿指纹容易出现“黑洞”和“白洞”现象; 填补动态阈值法虽然弥补“黑洞”和“白洞”现象, 但是适应性较差^[9]。综合以上方法, 笔者提出均衡化结合置信极值化方法, 以解决以上各算法中存在的不足。

1 图像均衡化

均衡化是通过图像中各点的灰度强度运算, 将集中在某一区间的灰度强度像素点数均匀分布

到整个灰度强度区间^[5]。

图像均衡化可以用下式表示:

$$H_n = f(H_o), \quad (1)$$

也就是将原来的灰度直方图以某种映射关系变为均衡化后的灰度直方图。

这里引入灰度概率函数如下:

$$P = \frac{H(x)}{A}. \quad (2)$$

其中: x 为图像灰度值; $H(x)$ 为灰度值像素; A 为图像面积。

假设图像灰度转换函数为

$$n = f(o). \quad (3)$$

其中: n 为转换后的灰度值; o 为转换前的灰度值。

可以得出图像灰度概率函数转换关系为

$$P(n) = P(o) \frac{dn}{do}. \quad (4)$$

将灰度概率函数代入, 可以得到图像的累积分布函数:

$$n = f(o) = \int_0^o \frac{H(u) du}{A}. \quad (5)$$

根据图像的累积分布函数得出灰度均衡转换

收稿日期: 2018-11-02; 修回日期: 2018-12-22

作者简介: 李建春(1992—), 男, 福建人, 硕士, 从事武器系统与运用工程、枪械智能化研究。

式为

$$H_n = f(H_o) = D_{\max} \int_0^o \frac{H(u) du}{A} \quad (6)$$

其中 D_{\max} 为图像的最大灰度值。

使用 Visual C++ 平台对该算法进行实验，得到如图 1、图 2 所示的对比图，其中黑线表示指纹脊线，白色表示指纹谷线。

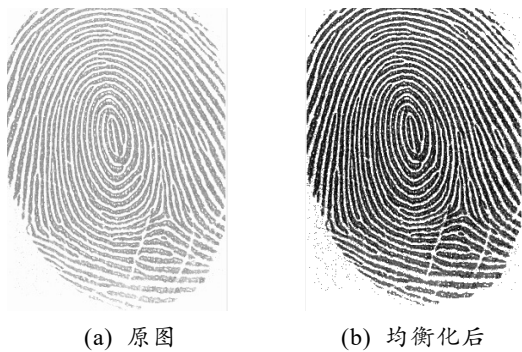


图 1 干指纹采集图像

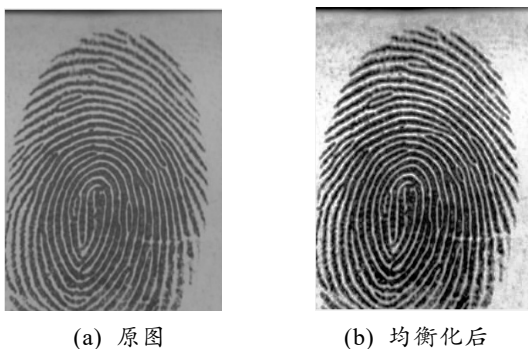


图 2 湿指纹采集图像

2 置信极值化法

针对其他算法存在处理效果差、适应性差以及容易出现图像“黑洞”和“白洞”的情况，笔者提出置信极值化法。

概率论有 2 个重要的参数：均值 μ 和标准差 σ 。将处理点的灰度值按随机变量处理，就有置信度的概念。在统计学中，一个概率样本的置信区间是对这个样本某个总体参数的区间估计。置信区间展现此参数的真实值有一定概率落在测量结果周围的程度。置信区间给出被测量参数测量值的可信程度，即前面所要求的“一定概率”，也就是说处理点的灰度值如果出现在大概率的区间内，就可以将该值作为该区间内的值处理。

该算法的思路是：将采集到的指纹图像按要求分割为若干个 $\omega \times \omega$ 各不相交的区域，并对每个 $\omega \times \omega$ 的小区域进行图像灰度值求均值 μ 和标准差 σ ，将

$\mu \pm \sigma$ 作为区域阈值对各点灰度值进行极值化，其中 ω 一般取值为 9，这样的区域可以包含一脊一谷，有助于提高算法的处理效果^[7]。当该区域内的平均灰度值大于整体均值阈值 T 时，并且该区域内某一点的灰度值大于 $\mu + \sigma$ 时，就能够有 84.2% 的概率认为这个点灰度值大，在极值化时将其按 255 处理，如果该区域的平均灰度值小于整体均值阈值 T 时，并且该区域内某一点的灰度值小于 $\mu - \sigma$ 时，就能够有 84.2% 的概率认为这个灰度值小，在极值化时，可以将其按 0 处理。关系如表 1 所示。

表 1 极值处理

区域	阈值比较	置信阈值比较	极值处理
A	大于 T	大于 $\mu + \sigma$	255
		小于 $\mu + \sigma$	0
	小于 T	大于 $\mu - \sigma$	255
		小于 $\mu - \sigma$	0

该极值化方法的数学表达式为：

$$\left. \begin{aligned}
 T &= \frac{1}{M \times M} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} f(x_i, y_j) \\
 \mu &= \frac{\sum_{i=i-4}^{i+4} \sum_{j=j-4}^{j+4} f(x_i, y_j)}{81} \\
 \sigma &= \sqrt{\frac{1}{81} \sum_{i=i-4}^{i+4} \sum_{j=j-4}^{j+4} (f(x_i, y_j) - \mu)^2}
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 f(x, y) > T, f(x, y) > \mu + \sigma &\longrightarrow f(x, y) = 255 \\
 f(x, y) > T, f(x, y) < \mu + \sigma &\longrightarrow f(x, y) = 0 \\
 f(x, y) < T, f(x, y) < \mu - \sigma &\longrightarrow f(x, y) = 0 \\
 f(x, y) < T, f(x, y) > \mu - \sigma &\longrightarrow f(x, y) = 255
 \end{aligned}$$

程序流程如图 3 所示。

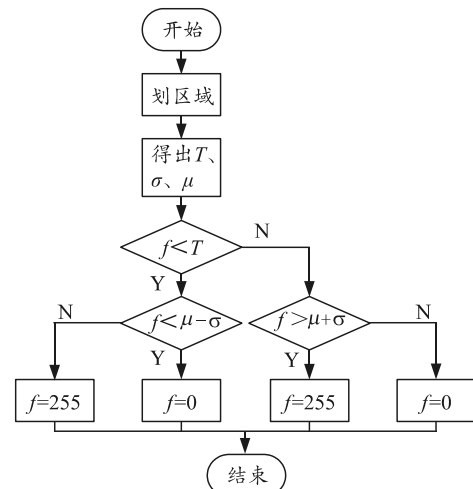


图 3 置信极值化法流程

根据数学模型和流程图，笔者采用 Visual C++

对该算法进行编译，并使用指纹库 FVC2002 中干、湿指纹图像进行仿真，图像处理结果如图 4 所示。



(a) 干指纹极值化 (b) 湿指纹极值化

图 4 图像处理结果

由图可以看出：该算法具有很好的处理效果，对于黑背景的湿指纹图像和浅图像的干指纹图像具有很好的适应性，并且没有出现其他算法的“白洞”和“黑洞”现象。

3 实验结果分析

根据指纹库 FVC2002 选取干手指和湿手指采集到的指纹图像，采用 VC++ 平台进行各算法的仿真，并从以下 2 个方面对各算法进行比较：1) 指纹图像上的纹路、孔洞及粘连现象；2) 算法的处理时间、特征数、错误特征数、准确率和丢失率等。然后对各算法处理后同一位置的图像进行局部放大，以便于更好地观察各算法的粘连现象。

3.1 算法效果对比试验

图 5(a)表示干手指采集到的干指纹，图 5(b)、(c)和(d)分别表示迭代法、动态阈值法和文中算法对其处理后的图像。从图 5(b)可以看出：迭代法对图像处理效果不佳，出现大量粘连现象形成大片“黑洞”，丢失大量特征点。从图 5(c)可以看出：动态阈值法虽然没有出现“黑洞”现象，但是出现断裂形成“白洞”，这样会增加伪特征点。图 5(d)使用的是文中算法，纹路清晰，没有出现“黑洞”和“白洞”现象。



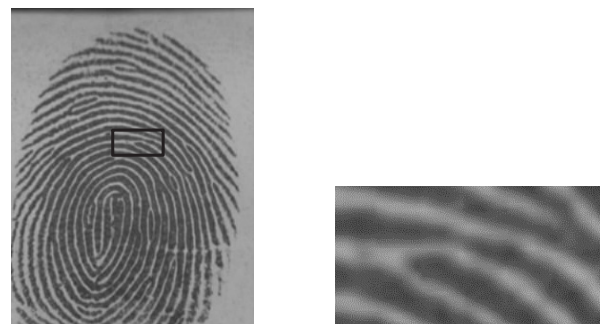
(a) 干手指采集原图 (b) 迭代法



(c) 动态阈值法 (d) 本文算法

图 5 干指纹原图与 3 种算法处理图

图 6(a)表示湿手指采集到的湿指纹，图 6(c)、(e)和(g)分别表示各算法处理后的图像。图 6(b)、(d)、(f)和(h)表示各图在相应位置的局部放大图。从图中可以看出：(c)采用的算法出现大片的“黑洞”现象；(e)虽然没有出现“黑洞”现象，但是在纹路端点处容易产生粘连；(d)使用的文中算法，对于图像处理效果很好。



(a) 湿手指采集原图 (b) 原图局部放大图



(c) 迭代法 (d) 迭代法局部放大图



(e) 动态阈值法 (f) 动态阈值法局部放大图

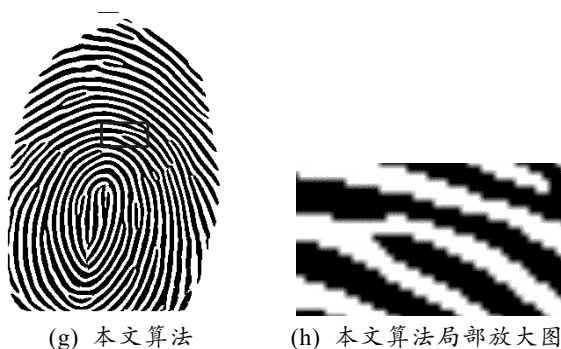


图 6 湿指纹原图与 3 种算法处理图

从图中的几组对比可以看出：对干、湿指纹图像的处理效果中，文中提出的算法最好，在“黑洞”“白洞”以及粘连现象等问题上处理效果较好。

3.2 算法性能对比试验

对于算法的好坏评价，通常采用处理时间 T ，图像特征数量 N_a ，错误特征数量 N_e ，丢失特征数量 N_f ，准确率 R_e ，丢失率 R_f 等参数进行比较。根据上述 2 幅指纹图像，采用 VC++ 平台对 3 种算法进行编程，其中迭代法和动态阈值法根据文献提供的算法进行编程^[8]。各指标统计对比结果如表 2 所示。

表 2 3 种算法各指标比较

算法	T/ms	N_a	N_e	N_f	$R_e/\%$	$R_f/\%$
动态阈值法	29	119	32	11	66.9	11.22
迭代法	177	116	19	13	75.20	11.80
本文算法	35	106	10	7	84.95	6.80

由表中可以看出：动态阈值法在时间上占优势，因为其阈值求解过程只需要分块求解，所以减少了很多计算，但是却存在较高丢失率和低准确率的问题；而迭代法由于计算阈值时采用多步迭代的方法，使得计算时间相对其他 2 种都较长；文中采用的算法，采用了置信区间判别的方法，克服了由于采集指纹时背景对比度的影响，从而避免了“白洞”和“黑洞”的普遍现象，以及特征点的丢失，并且防止伪特征点的

大量出现，使其在后期特征点识别时具有高准确率和低丢失率的优点。

4 结论

笔者针对传统二值化存在的处理效果不明显和计算量过大的缺点，提出了一种结合均衡化和置信极值化的指纹图像处理方法。通过引入概率方法，对特殊区域进行处理，实现对干、湿指纹的有效极值化处理。

在 VC++ 平台上的仿真实验结果表明：该算法在避免特征点丢失和防止伪特征点出现方面效果明显，并且处理后的图像具有更好的纹路，计算量较小，在指纹图像处理领域具有很好的应用前景。

参考文献：

- [1] DAS R K, DE A, PAL C, et al. DSP hardware design for fingerprint binarization and thinning on FPGA[C]// International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication. IEEE, 2014: 544-549.
- [2] 祁亚萍. 指纹图像二值化算法的研究[J]. 科技信息, 2011(23): 25-30.
- [3] MEDEIROS L X, FLORES E L, CARRIJO G A. Optimization of Calculation of Field Orientation Time and Binarization of Fingerprint Images[J]. IEEE Latin America Transactions, 2011, 9(5): 868-874.
- [4] 杨得国, 吕锋萌. 一种改进的指纹识别算法与研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2015, 49(5): 668-671.
- [5] 刘永霞. 指纹图像预处理及特征提取算法的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2011: 32-33.
- [6] 李智, 曲长文, 周强, 等. 一种基于改进 SIFT 的 SAR 图像配准算法[J]. 兵工自动化, 2018, 37(2): 23-28.
- [7] 田俊青, 徐荣青, 李亚玲, 等. 一种改进的指纹图像二值化处理方法[J]. 微型机与应用, 2010, 29(18): 52-55.
- [8] 陈戈珩, 李文秀. 指纹图像二值化优化算法[J]. 长春工业大学学报, 2016, 37(5): 499-502.
- [9] 计春雷, 冯伟, 黎明, 等. 一种动态阈值加填补的指纹图像二值化算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7): 258-261.