

一种自动确定分割阈值的指纹图像分割方法^①

A Method to Automatically Determine Threshold Value of Division Fingerprint Image Segmentation

白一彤 王 宪 (江南大学 通信与控制工程学院 江苏 无锡 214122)

摘要: 针对传统的基于灰度特性的指纹图像分割方法的不足,提出了一种自动确定分割阈值的改进算法。首先,对图像进行直方图均衡化处理。然后,提出一种自动确定分割阈值的方法,利用图像的灰度均值及方差分割图像。最后,对分割后的图像进行后处理。实验表明,该方法简单实用,处理速度快,鲁棒性好,满足实时性要求较高的自动指纹识别系统的要求,是一种行之有效的分割方法。

关键词: 指纹 图像分割 直方图均衡 阈值选择 图像处理

由于各种原因,指纹采集设备获取的指纹图像是一幅含有很多噪音的灰度图像,如果直接从这些图像中提取特征将会引入大量的伪特征,严重影响特征匹配效果^[1]。因此,在提取指纹特征前必须对输入的指纹图进行预处理,去除指纹图像中的噪声,把它变成一幅清晰的点线图,便于正确提取指纹特征。指纹图像分割通常位于预处理的前端,其目的是把指纹图像的前景区域(指纹纹线集中区域)和背景区域(不含指纹纹线的区域)分离开来,使后续处理能够集中于前景区域。分割处理不仅能避免从背景区域中提取伪特征,而且还能大大地减少指纹预处理的时间,因此是指纹处理中的重要组成部分。一种好的指纹分割算法,不仅要很好的分离前后景,而且要保证较短的处理时间和较好的鲁棒性。

本文中作者主要是针对目前实际应用中最为常用的灰度方差分割法进行改进,提出了一种自动确定分割阈值的算法,提高分割算法的鲁棒性和实用性。

1 常用的几种指纹分割算法的分析

目前,应用较为广泛的指纹图像分割算法主要包括:基于灰度方差的算法、基于指纹方向图的算法^[2]以及结合方向和灰度方差的算法等。

这些算法虽然很早就被提出,但在实际应用中都存在一定的问题。指纹图像的前景区域由指纹脊线和

谷线组成,指纹脊线和谷线是黑白相间的纹理,因此方差很大,而背景区域的灰度变化不大,因此方差比较小。基于这一特征,可利用图像的局部方差对指纹图像进行分割,这种方法称为灰度方差法。这种方法对于质量较好、对比度较高的指纹图像分割效果较好,并且处理速度很快,是实际应用中采用最多的分割方法。但是由于分割阈值基本上都是人为根据经验确定,具体应用中分割结果具有不确定性,对于低对比度或高噪声的图像,不能有效的检测出噪声区域,从而影响处理效果。指纹图像中,除了方差中考虑的灰度信息外,方向信息也是指纹图像的重要信息之一,指纹方向图描述了指纹图像中的每一像素点所在的脊线或谷线在该点的切线方向。利用指纹的方向信息进行分割的方法叫做方向图法。该方法能够去掉指纹图像中绝大部分背景信息,不仅适合于质量较好的图像,且适用于噪声严重的图像。然而,方向法分割的前提是图像中的方向信息能准确的提取出来,而在某些情况下,此条件不一定成立,此时方向图法会无效,不实用。而且该算法计算复杂,处理时间较长。方向和灰度方差相结合的方法,结合了方向和灰度方差进行分割,在一定程度上克服两种方法单独使用时的缺点,但对于纹线不连续区域和强噪声干扰区域,仍然存在一定的局限性。同时,这种算法在处理过程中计算量大,运算时间长,对于需实时处理自动指纹识别系统来说

^① 收稿时间:2008-10-07

并不适用。

针对这些情况，提出了一种基于指纹灰度特性的自动确定分割阈值的分割算法。首先，对图像进行直方图均衡化处理，提高图像的对比度。然后，利用图像的灰度方差及均值，提出一种自动确定分割阈值的方法，分割图像。最后，用一种改进的方法对分割后的图像进行后处理。实验表明，该算法简单实用，能快速而有效的分割指纹图像，满足实时性要求较高的自动指纹识别系统的要求。

2 直方图均衡化

Ahmed Wathik Naji^[3] 等人最早提出将直方图均衡化应用于指纹图像处理，是利用直方图均衡化重新映射指纹图像的灰度，通过设定一个全局阈值 T ，直接得到二值化后的指纹图像。这中间跳过了指纹图像分割和分割后滤波增强两步，引入了大量噪声，效果并不是很好。这里将直方图均衡化作为指纹图像分割的预处理步骤引入，提高图像的对比度，改善图像的分割效果。

直方图均衡化^[4]就是期望输出图像的概率密度函数是均匀分布的，即通过点运算使输入图像转换为在每一灰度级上都有相同的像素点数的输出图像。这对于在进行图像比较或分割之前将图像转化为一致的格式是十分有益的。

对于一个离散的图像，第 i 个灰度级 r_i 出现的频数用 n_i 表示，该灰度级像素对应的概率值 $P_i(r_i)$ 为：

$$P_i(r_i) = \frac{n_i}{n}, \quad n \text{ 为像素总数, } r_i \text{ 满足归一化条件。}$$

图像进行直方图均衡化的函数表达式为： $S_i = T(r_i) = \sum_{t=0}^{k-1} P_t(r_t) = \sum_{t=0}^{k-1} \frac{n_t}{n}$ 式中， k 为灰度级数。相应的反变化为： $r_i = T^{-1}(S_i)$ 。

从指纹库中随机提取质量好、过干和过湿的指纹图像各一张，对其进行直方图均衡化，前后对比如图 1 所示。

可以看到，直方图均衡化后，不同质量的指纹图像的对比度均得到增强，有利于指纹图像的分割和指纹纹路的检测。并且，不同指纹图像的直方图大体趋于一致，有利于不同图像的一致性分析，提高了算法的鲁棒性。

3 改进的指纹图像分割方法

3.1 基于灰度方差和均值的分割方法



图 1 直方图均衡化前后对比

笔者将指纹图像的区域划分为三类：

- 1)前景区：指纹纹线连续，清晰，几乎没有噪声干扰或受到噪声干扰，但不严重，通过后续处理可恢复的区域。
- 2)背景区：不包含指纹纹线的区域。
- 3)模糊区：指纹纹线由于受到严重噪声干扰模糊不清，并无法恢复的区域。

图像分割就是在尽可能保留指纹图像的前景区域的情况下，去除背景区和模糊区。指纹具有非常明显的纹理特征，因此前景区的灰度方差及均值与背景区和模糊区有着很大的区别，因此可利用指纹图像的方差和均值，选取阈值分割指纹图像。

将直方图均衡化后的指纹图像，分成 $M \times M$ 大小的小子块，实际应用中取 $M=8$ 。计算每小块的灰度均值和方差。

块的灰度均值为：

$$aveg(k, l) = \frac{1}{w \times w} \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^w g(i, j)$$

$K=1, \dots, M. l=1, \dots, N.$

块的方差为：

$$var(k, l) = \frac{1}{w \times w} [g(i, j) - aveg(k, l)]$$

$K=1, \dots, M, l=1, \dots, N$.

其中, $g(i, j)$ 是第 (k, l) 块中第 i 行第 j 列像素的灰度值。 M, N 是指纹图像行块数和列块数。设定阈值 T_1, T_2, T_3, T_4 。当 $aveg > T_1$ 且 $var < T_2$ 时, 该块为背景块。当 $aveg < T_3$ 且 $var < T_4$ 时, 该块为模糊块, 即指纹纹线难以辨认及恢复的区域。将背景块和模糊块中的像素值设定为 1, 即可达到分割的目的。

3.2 一种自动设置分割阈值的方法

基于灰度方差和均值的分割方法, 阈值的选择是一个难点。计算中如果四个阈值全部凭经验确定会带来主观性和不方便, 并且给后续处理带来很多不确定性, 影响识别率。这里提出了一种自动设置阈值的方法, 对于不同的指纹图像根据其自身的灰度特性自动确定分割阈值, 提高分割算法的鲁棒性和实用性。

1) 计算所有子块的灰度均值的均值和方差的均值

$$G_{mean} = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N aveg(k, l)$$

$$V_{mean} = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N var(k, l)$$

$K=1, \dots, M, l=1, \dots, N$.

其中, $aveg(k, l), var(k, l)$ 分别是第 (k, l) 块的灰度均值和方差。 M, N 是指纹图像行块数和列块数。

2) 计算指纹区域的灰度均值估计值与方差估计值

$$G_1 = \frac{TG_1}{NG_1}, \quad V_1 = \frac{TV_1}{NV_1}$$

其中, TG_1, NG_1 分别是满足条件 $aveg(k, l) \leq G_{mean}$ 子块的灰度均值之和与子块个数; TV_1, NV_1 分别是满足条件 $var(k, l) \geq V_{mean}$ 子块的方差之和与子块个数。

3) 计算背景区域的灰度均值估计值与方差估计值

$$G_2 = \frac{TG_2}{NG_2}, \quad V_2 = \frac{TV_2}{NV_2}$$

其中, TG_2, NG_2 分别是满足条件 $aveg(k, l) \geq G_1$ 子块的灰度均值之和与子块个数; TV_2, NV_2 分别是满足条件 $0 \leq var(k, l) \leq V_1$ 子块的方差之和与子块个数。则 $T_1 = G_2, T_2 = V_2, T_3, T_4$ 的值可根据 $T_4 \leq T_2, T_3 < G_1$ 来选取。

同时, 阈值的选择还应根据具体采集设备的不同来进行调整, 不同类的采集设备采集到的指纹图像背景可能灰度值较高(白色或接近白色为主)也可能灰度值较低(黑色或接近黑色为主)上述设置方法主要是正对图像背景灰度值较高时。当图像背景灰度值较低时,

判断条件 $aveg(k, l) \leq G_{mean}$ 和 $aveg(k, l) \geq G_1$ 中的小于等于号应改为大于等于号, 大于等于号则要改为小于等于号。

3.3 分割后处理

指纹图像的分割目的是为了保证前景不丢失的情况下尽量去除背景区域以便减少后续处理的计算量。考虑到这种情况, 笔者在使用前述方法对图像进行分割后, 使用如下算法继续对图像进行处理, 步骤如下:

1) 定义一个二维数组来存储块状态(前景或背景, 这里模糊块也算入背景块)。

2) 使用数组存储前面所述方法计算过的块的状态, 前景为 1, 背景为 0。

3) 处理误认前景块: 该块状态为 1, 只要该块周围 8 个块中(边界块除外, 应予单独处理)状态为 1 的数量 $\leq T_1$ (这里取 $T_1/4$), 则该块状态置 0, 对应数组中的位置置 0。

4) 处理误认背景块: 该块状态为 0, 只要该块周围 8 个块中(边界块除外, 应予单独处理)状态为 1 的数量 $\geq T_2$ (这里取 $T_2/4$), 则该块状态置 1, 对应的数组中的位置置 1。最后根据数组中块的状态显示图像。

3.4 分割效果对比

通过本文设计的方法分割的指纹图像, 与应用方差法分割的图像进行比较(如图 2 至 4 所示)。从图中可知, 单纯基于方差法分割的图像, 由于阈值不能自动确定以及有些指纹的脊线未能有很好的对比度, 采取统一阈值分割后出现大量独立的背景块和前景块, 并且对于质量越差的指纹, 这个问题越突出, 不能很好的分割指纹图像。改进后的算法很好的解决了这个问题。分割效果图对比如下:



图 2 指纹原图



图3 方差法分割效果图



图4 本文算法分割效果图

4 实验结果分析

在 Pentium4 1.80GH 的 CPU, 256MB 内存的计算机上, 运用 MATLAB 7.1 编程[5]工具对本文提出的算法进行仿真实验, 对 FVC2002 和 FVC2004 的指纹库中的上千张指纹图片进行测试并与改进前基于方差的阈值分割方法进行了比较。图 2 中所示的图片, 是从这些指纹图片中随机抽取的 5 张, 其基本涵盖各

种类型(质量好, 过干, 过湿或残缺)的指纹图像。图 3 是使用方差分割法进行分割的效果图, 图 4 是使用本文中算法分割的效果图。对比三幅图, 可知本文算法实现的指纹图像分割效果是令人满意的。并且改进后加入的几个步骤的算法都简单易行, 并没有明显的延长处理时间, 保留了方差分割法处理时间短的优点。

5 总结

本文提出的自动确定分割阈值的指纹分割改进算法, 通过实验与应用, 能够很好的分割不同的指纹图像, 鲁棒性强, 分割效果准确, 解决了方差法分割阈值选取难的问题, 并且算法简便易行, 保证了较短的处理时间。由于其处理时间短和分割的有效性, 因此对于要求实时性较强的自动指纹识别系统来说是相当适用的。

参考文献

- 1 Maltoni D, Maio D, Jain AK, Prabhakar S. Handbook of Fingerprint Recognition. New York: Springer-Verlag, 2003:1 - 341.
- 2 Komarinski P. Automated Fingerprint Identification System. New York: Elsevier Academic Press, 2005:1 - 257.
- 3 Naji AW, Ramli AR. A Segmentation Algorithm based-on Histogram Equalizer For Fingerprint Classification System. Second International Conference on Electrical and Computer Engineering ICECE 2002, 26 - 28 December 2002.
- 4 张毓晋. 图像处理和分析. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- 5 王家文, 曹宇. MATLAB 6.5 图形图像处理. 北京: 国防工业出版社, 2004.