

一种高效的指纹图像逐层分割算法

杨仕雄, 韩坚华

(广东工业大学 计算机学院, 广东 广州 510006)

摘要: 通过研究传统指纹图像分割算法以及多种混合技术指纹图像分割算法, 提出一种高效的结合多种方法对指纹图像进行逐层分割的算法. 该算法能准确地从原始指纹图像中分割出背景区和前景区, 再从前景区中分割出清晰区和模糊区, 最后从模糊区中分割出可恢复区和不可恢复区. 实验结果表明: 该算法抗噪能力强、分割效果好.

关键词: 指纹图像; 分割; 特征量; 方向图; 灰度方差; 灰度频数

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2010)01-0055-05

指纹识别技术是一种重要的生物识别技术. 指纹识别包括从指纹原始图像的采集到指纹的匹配. 在这个过程中, 需要对指纹的原始图像进行一系列的处理, 包括指纹采集、指纹评估、指纹图像预处理、特征点提取、指纹匹配等. 而指纹图像预处理部分又可以细分为指纹分割、指纹增强、二值化、细化等.

由指纹识别系统的基本结构可以看出, 指纹图像分割位于指纹图像预处理过程的前端, 其目的是把指纹图像中质量很差、在后续处理中很难恢复的图像区域与有效区域区分开来, 使后续处理能够集中于有效区域. 分割处理不仅能提高特征提取的精确度, 而且还能大大减少指纹预处理的时间, 因此它是指纹图像预处理中的重要组成部分. 它不仅要求尽可能多地去除无效区域, 还要求尽可能完整地保留有效区域. 这就需要比较精确的分割算法. 于是, 为了满足需要, 在众多学者的努力下, 出现了许许多多算法, 它们各有优缺点. 本文将对比较常用的一些指纹图像分割算法进行分析和比较, 并提出一种高效的逐层分割算法

1 传统的单一技术分割算法

1.1 方向图法^[1-2]

由于一般指纹纹线具有较强的方向性, 因此利用方向图法对指纹图像进行分割是一种常用方法. 基本原理是: 如果某一区域方向直方图中存在峰值, 则表明该区为前景区. 因为前景区中脊线和谷线有着相同的方向, 使得方向直方图在这一方向上会产生明显峰值; 而背景区域中各个方向出现的概率几乎相等, 因而其方向图中无明显峰值出现.

1.2 方差法^[3]

一幅指纹图像通常是由前景区域和背景区域组成. 前景区域由指纹脊线和谷线组成, 一般来说, 前景区域中指纹脊和谷的灰度差是较大的, 因而其灰度统计特性中局部灰度方差是很大的, 而对于指纹背景区域, 局部灰度方差是很小的. 基于这一特性, 可利用方差法对指纹图像进行分割.

1.3 灰度值频数法^[4]

灰度值频数法利用指纹图像脊线和谷线的灰度值频数, 不需要改变纹线的信息, 来对指纹图像进行分析判断, 从而分割出前景区域和背景区域.

由传统的分割算法可知, 采用单一特征的指纹分割难以达到理想的分割效果, 要提高分割精度必须把多种方法结合起来使用. 据此, 有人提出了多种混合技术分割算法.

2 常用的混合技术分割算法

2.1 结合方向图法、方差法与灰度值频数法的合成分割算法^[5]

方向图法、方差法和灰度值频数法各有优缺点, 结合起来可以达到优势互补的效果. 方向图法主要是对纹线连续的区域进行分割, 而方差法则是对噪声较小、对比度比较大的地方起到较好的分割效果. 灰度值频数法对于脊线和谷线灰度值相差较大的指纹图像能明显分割出指纹的前景区和背景区.

2.2 融合梯度和周期两种特征的分割算法^[6]

该分割算法的基本思想是: 首先计算出指纹图像的梯度值, 然后计算出图像的周期. 并且在局部周期的计算上, 通过对傅里叶变换的分析推理, 提出了

一种新的周期计算方法.最后,通过对梯度和指纹周期设定阈值,利用梯度完成一次分割,计算方向图和周期,经过对周期的考察判断完成二次分割,即可分割出指纹的前景区和背景区.

2.3 基于方差和数学形态学的分割算法^[7]

这种方法在方差法的基础上,先通过设定方差的阈值,初步区分出指纹的前景区域和背景区域,再利用数学形态学的方法进行开、闭运算,从而得到准确完整的指纹前景区域.

3 本文提出的指纹图像逐层分割算法

3.1 指纹图像分区与分割思想

根据指纹图像的特点和本文分割算法的实现思路,对于一幅原始的指纹图像,本文把它分为4类图像区域,如图1所示.说明如下:

(1) 背景区:不包含纹线的白边界区.

(2) 不可恢复区:包含指纹纹线,但受噪声干扰严重,纹线走向无法辨认,峰谷混杂不清,在后续处理中很难恢复的区域.

(3) 清晰区:纹线连续,峰谷清晰,几乎没有噪声干扰的区域.

(4) 可恢复区:受到噪声干扰,纹线断续或者峰谷界限不清晰的区域.

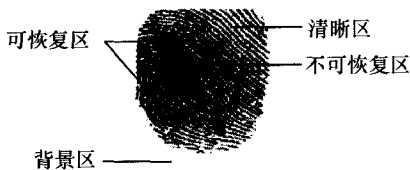


图1 指纹原始图像的4种区域

本文指纹图像分割的目的就是保持后两类区域,而去除前两类区域.具体分割过程如下所述.

3.2 第一层分割

本文的逐层分割算法以“图像块”为单位进行.一般地,在第一层分割里面,采用 $d \times d$ 象素大小的分块(d 为脊线之间距离的平均值),将整幅指纹图像划分为 $M \times N$ 个子块.假设任一子块 $B(m, n)$ 的灰度均值为 $G_B(m, n)$,灰度方差为 $D_B(m, n)$,其中 $0 \leq m \leq M, 0 \leq n \leq N$.为了将指纹前景区域(包括指纹图像的不可恢复区、清晰区和可恢复区)和背景区域准确地分割开来,这里定义以下的特征量:

定义1 所有子块的灰度均值为 G_{Ab}

$$G_{Ab} = \frac{1}{M \times N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} G_B(m, n). \quad (1)$$

定义2 所有子块的灰度方差均值为 D_{Ab}

$$D_{Ab} = \frac{1}{M \times N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} D_B(m, n). \quad (2)$$

定义3 指纹区域的灰度方差估计均值为 D_{Fr} :

$$D_{Fr} = \frac{S_{Fr}}{N_{Fr}}. \quad (3)$$

在式(3)中, S_{Fr} 为满足条件 $D_B(m, n) \geq D_{Ab}$ 的子块的方差之和, N_{Fr} 为子块数量.

定义4 背景区域的灰度方差估计均值为 D_{Br} :

$$D_{Br} = \frac{S_{Br}}{N_{Br}}. \quad (4)$$

在式(4)中, S_{Br} 为满足条件 $0 \leq D_B(m, n) \leq D_{Fr}$ 的子块的方差之和, N_{Br} 为子块数量.

定义5 过渡区域的灰度方差估计均值为 D_{Tr} :

$$D_{Tr} = \frac{S_{Tr}}{N_{Tr}}. \quad (5)$$

在式(5)中, S_{Tr} 为满足条件 $D_{Br} < D_B(m, n) < D_{Fr}$ 的子块的方差之和, N_{Tr} 为子块数量.

为了能够有效地分割不同类型的指纹图像,这里将区域生长^[8]引入到第一层分割中来.区域生长的基本思想是:首先找出一定属于指纹区域的子块,称为种子块,种子块所在区域称为种子区域.对于每一个和种子块相邻(八连通相邻)的子块,判断它是否满足生长条件,如果满足则把它也归为种子块.此过程称为生长.如此反复,直到种子区域不再生长.

本文定义最初的种子块为:若 $D_B(m, n) > D_{Ab}$,则子块 $D(m, n)$ 是初始种子块.由于不同类型的指纹图像对图像边界的处理方式各异,为防止不同类型的边界对生长过程的干扰,可以将初始的种子块限定在特定的图像区域内,使其不出现在边界附近.

生长条件决定了第一层分割的结果.本文定义了3种生长条件,对于待定子块 $B(m, n)$,设它的八邻域中有 $N_{Sc}(m, n)$ 个子块都是种子块,从而可以得到以下的生长条件:

(1) 若 $N_{Sc}(m, n) \geq 2$ 且 $D_B(m, n) \geq D_{Tr}$,则将 $B(m, n)$ 归为种子块.

(2) 若 $N_{Sc}(m, n) \geq 4$ 且 $G_B(m, n) \leq G_{Ab} - \frac{\sqrt{D_{Ab}}}{4}$,则将 $B(m, n)$ 归为种子块.

(3) 若 $N_{Sc}(m, n) \geq 5$ 且 $G_B(m, n) \leq G_{Ab}$,则将 $B(m, n)$ 归为种子块.

根据生长条件对各子块进行是否为种子块的判断,直到种子区域不再生长之后,所有的种子块所组成的区域即为前景区域.这是第一层分割.

3.3 第二层分割

第二层分割的任务是根据相关特征量,从由第一层分割后保留下来的指纹图像前景区域中找出模糊区域.使下一层的分割只处理模糊区域.

为了准确地从图像前景区域中找出模糊区域,在第二层分割算法里面引入了方向图法.方向图法的基本思想是:首先将指纹图像的前景区域分成许多非重叠的小块,然后计算各块中的点方向图和块方向图,最后利用取定相关特征量来标识模糊块.这样就可以将清晰区域跟模糊区域区分开来.本文将图像前景区域分成 16×16 的非重叠小块.

3.3.1 计算前景块中的各像素 8 个方向的点方向图

如图 2 所示,采用 9×9 模板,基准点位于模板的中心,从水平位置开始,每隔 $\pi/8$ 确定一个方向,按公式(6)计算各个方向的 $D_I (0 \leq I \leq 7)$,比较 D_I ,找到最小值 $\min(D_I)$,则 I 就代表该点的方向.

$$D_I = \sum |f_I(i,j) - f_I(i_k,j_k)|. \quad (6)$$

在式(6)中, $f_I(i,j)$ 为各个方向上各点灰度均值, $f_I(i_k,j_k)$ 为各点灰度, k 为第 I 方向上的点的个数.

6	5	4	3	2				
7	6	5	4	3	2	1		
	7				1			
0	0				0	0		
	1				7			
1	2	3	4	5	6	7		
2	3	4	5	6				

图 2 点方向图计算 9×9 模板

3.3.2 计算前景块方向图

(1) 计算每个像素块内像素的梯度^[9],如式(7)所示.

$$\begin{cases} dx(i,j) = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 S_x(u+1,v+1)f(i+u,j+v), \\ dy(i,j) = \sum_{u=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 S_y(u+1,v+1)f(i+u,j+v). \end{cases} \quad (7)$$

在式(7)中, S_x 、 S_y 为 Sobel 算子, $f(i,j)$ 为各像素的灰度值.

(2) 根据梯度值计算块方向^[10],如式(8)、式(9)和式(10)所示.

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2dx(u,v)dy(u,v), \quad (8)$$

$$V_y(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} dx^2(u,v)dy^2(u,v), \quad (9)$$

$$\begin{cases} \theta(i,j) = \frac{1}{2} \arctan(V_y(i,j)/V_x(i,j)), V_x(i,j) \neq 0, \\ \theta(i,j) = \pi/2, V_y(i,j) = 0. \end{cases} \quad (10)$$

在式(8)和(9)中, w 指图像块的宽度,这里为 16,得到 θ 后,将其量化为 8 个方向.

(3) 平滑块方向图^[10]

因为噪声的影响,利用上述计算所得的块方向不一定完全准确,而根据指纹纹线在局部区域内的方向不会出现大的变化,可以使用一种低通滤波的办法来修正块方向图.需要注意的是,进行块平滑滤波时,不能直接使用上述块方向,而应转化到矢量域中.转化公式如式(11)所示.

$$\begin{cases} \Phi_x(i,j) = \cos(2\theta(i,j)), \\ \Phi_y(i,j) = \sin(2\theta(i,j)). \end{cases} \quad (11)$$

在式(11)中, Φ_x 和 Φ_y 是矢量域的 x 、 y 分量,平滑滤波如公式(12)所示.

$$\begin{cases} \Phi'_x(i,j) = \sum_{u=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} \sum_{v=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} W(u,v) \Phi_x(i-uw_\phi,j-vw_\phi), \\ \Phi'_y(i,j) = \sum_{u=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} \sum_{v=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} W(u,v) \Phi_y(i-uw_\phi,j-vw_\phi). \end{cases} \quad (12)$$

在式(12)中, w_ϕ 是滤波器窗口的宽度,可以选取为 5×5 ; $W(i,j)$ 是滤波器各点的权值,可以全部选取为 1.

(4) 计算以 (i,j) 为中心的块的方向,如式(13)所示.

$$O(i,j) = \frac{1}{2} \arctan(\Phi'_x(i,j)/\Phi'_y(i,j)). \quad (13)$$

得到 $O(i,j)$ 后,将其量化为 8 个方向.使用了该方法之后,指纹的块方向图就变得相当平滑.

(5) 计算特征量

考虑到处理效率问题,采用的特征量是 D 和 Z ,

$$D = \sum_{i=0}^7 \text{sum}[i]^2, \quad (14)$$

$$Z = \frac{t_1/n_1 - t_2/n_2}{\text{mean}}. \quad (15)$$

在式(14)中, $\text{sum}[i]$ 表示块中方向为第 i 个量化方向的点数. D 可看作是块中方向一致性的度量.当各点方向全部为某量化方向时, D 达到最大值;当块中方向均匀分布于各个方向时, D 达到最小值.

公式(15)中, mean 为块灰度均值, n_1 为块中灰度值大于或等于块灰度均值的点数, n_2 为块中灰度值小于块灰度均值的点数, t_1 为块中灰度值大于或等于块灰度均值的所有点灰度值之和, t_2 为块中灰度值小于块灰度均值的所有点灰度值之和.特征量 Z 可以有效地去除峰和谷粘连混淆的区域.

在第二层分割中,模糊块是这样确定的:当 D 小于阈值 T_1 且 Z 小于阈值 T_2 时,该块为模糊块.

至此,已经完成了第二层的分割任务.

3.4 第三层分割

第三层分割的任务是从由第二层分割中找出来的模糊区中分割出不可恢复区域,保留可恢复区域. 为了提高分割精确度,本文采用特征量 N_1 和 F . 其中 N_1 为各块中点方向与块方向一致的点数. 这里考虑的是某待定块及其 8 个邻域块,使用该块及其邻域块的方向图构成组合判定条件^[11],实现如式(16)所示.

$$F = \sum_{i=0}^7 f(|d - d_i|). \quad (16)$$

其中, d 表示待定块的方向, d_i 表示第 i 个相邻块的方向,函数 $f(x)$ 定义如下:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x = 0, \\ 1 & x = 1 \text{ or } x = 7, \\ 3 & x = 2 \text{ or } x = 6, \\ 6 & x = 3 \text{ or } x = 5, \\ 9 & x = 4. \end{cases} \quad (17)$$

在第三级分割中,不可恢复块是这样定义的:当 N_1 小于阈值 T_3 且 F 大于阈值 T_4 时,该块为不可恢复块. 至此,逐层分割任务已经完成.

4 实验结果及性能分析

为了验证上述算法的高效性,本实验使用了大量不同类型的指纹图像对本文算法以及其它的算法进行了测试. 实验效果图(由于篇幅有限,只列举其中典型一例)如图 3~图 6,其中,指纹原始图像采用文章前面介绍的图 1.

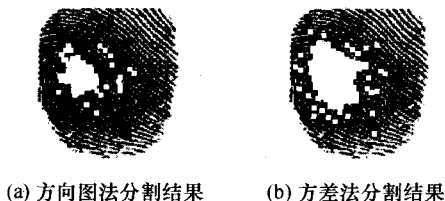


图 3 方向图法与方差法分割结果

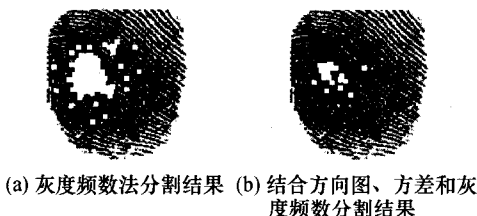


图 4 灰度频数法与结合方向图、方差和灰度频数分割结果

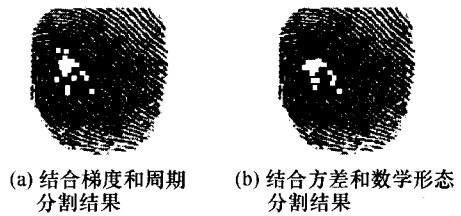


图 5 结合梯度和周期与结合方差和数学形态

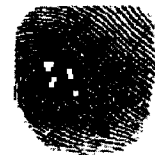


图 6 本文算法分割结果

由实验结果可知,方向图法能去掉图像中绝大部分背景信息,且能检测出图像中噪声严重的区域,并将其从图像中分离出来. 它不仅适合于质量较好的图像. 还适合于低对比度图像和强噪声图像. 但当指纹图像纹线断续不清,难以准确提取图像中的方向信息时,方向图法往往难以取得令人满意的效果,而且往往会失效. 由实验效果图可以看出,由于指纹图像噪声较大,指纹纹线模糊不清,以至于用方向图法分割时割掉了好些可恢复的前景区域.

方差法算法简单,计算速度快,对于指纹图像质量较好、对比度较高的指纹图像分割效果较好. 但是对质量较差、低对比度或强噪声的图像,由于不能检测出图像中的噪声区域,往往把一些前景区当成背景区分割掉了. 由实验效果图可以看出,用该算法分割时分割掉了一大片低对比度和强噪声的可恢复前景区域.

灰度值频数法对于脊线和谷线的灰度值相差较大的指纹图像能明显分割出指纹的前景区和背景区,分割效果较好. 但当指纹图像脊线和谷线的灰度值相差不大时,分割效果却不太理想. 由实验效果图可以看出,当指纹图像质量较差时,该算法往往把可恢复的前景区当成背景区分割掉了.

结合了方向图法、方差法和灰度值频数法的混合技术分割算法比起传统的单一技术分割算法有一定的优势,在一定程度上改进了单一灰度区域的分割效果,但对于纹线不连续区域,脊线和谷线灰度值相差不大和强噪声干扰区域的指纹图像的分割仍然存在一定的局限性. 由实验效果图可以看出,该算法分割效果较好,但还是把一些可恢复区域分割掉了.

结合梯度和周期的分割算法抗噪能力较强,对绝大多数的指纹图像都能起到较好的分割效果. 然而,当指纹图像的噪声很大,难以准确地计算出梯度值,而且指纹纹线的周期不稳定时,该混合分割技术

就显现出了局限性.由实验效果图可以看出,此时的分割效果并不十分理想.

结合方差法和数学形态学的分割算法对大多数的指纹图像的分割效果还算良好,并且运算速度较快,对于需实时处理的指纹识别系统有一定的优势.但是,由实验效果图可以看出,对灰度的对比度过小和受严重噪声污染的指纹图像的分割效果还不是特别明显.

本文所提出的分割算法,为了提高算法的时间性能,各个层次分割的搜索区域由大到小,所采用的特征量也由简到繁.把计算量小的特征量作用于较大范围的区域,不仅能最大限度地节省运算时间,而且也提高了分割的可靠性.因此,在时间性能方面,本文所提出的分割算法比起其他的分割算法也有了较大的提高,完全能达到一般指纹图像分割的要求.而更重要的是,由实验效果图可以看出,该算法不仅明显优于传统的单一技术分割算法,而且也比常用的混合技术分割算法更胜一筹.它能适用于更多类型的指纹图像,不仅适用于质量较好的指纹图像,也适用于质量较差的指纹图像,甚至质量很差的指纹图像.该算法能够最大限度地保留指纹图像中有效的前景区域又能够尽可能多地去除指纹图像中的无效前景区域,与人的视觉分割要求接近,具有很强的稳定性和很高的分割正确率.

5 总结

在指纹采集的过程中,由于采集条件不同,所得到的指纹图像也各不相同,其中的背景图像当然也各不相同.从3种传统分割方法的研究中可知,单独使用它们效果都不尽理想.另外,对常用的几种混合技术分割方法研究分析后可知,它们在某种程度上

还是有明显的局限性.本文综合上述各种方法,提出了一种新的指纹图像分割算法,该算法充分利用了指纹图像的多种特性,能准确地将背景区域从指纹图像中分离出来.实验结果表明:该算法抗噪能力强、分割效果好,具有很高的实用价值,能够满足一般指纹识别系统性能的要求.

参考文献:

- [1] 杨小青,杨浩,杨夏.指纹方向图算法研究与实现[J]. 西南大学学报,自然科学版:2008,30(8):142-146.
- [2] 贾则,张芬,张正言.一种新的指纹图像复合分割方法[J]. 微计算机信息,2007,23(9-3):290-292.
- [3] 甘树坤,欧宗瑛,魏鸿磊.基于灰度特性的指纹图像分割算法[J]. 吉林化工学院学报,2006,2(1):1.
- [4] 闵晶妍.指纹图像预处理的算法研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2005:20-21.
- [5] 全海燕,涂丽红,葛元.一种新的指纹图像合成分割法[J]. 计算机与数字工程,2008(6):136.
- [6] 曹祥,邓宏贵,高湘蓉.基于特征融合的指纹分割算法[J]. 信息技术,2007(3):32-35.
- [7] 林创伟.基于方差和数学形态学的指纹分割算法[J]. 计算机与现代化,2008(3):206-209.
- [8] 崔宝侠,张昆,郭宇.最小类内方差和区域生长相结合的图像分割法[J]. 沈阳:沈阳工业大学学报,2008,30(5):568-571,581.
- [9] Anil Jain, Lin Hong, Ruud Bolle. On-line fingerprint verification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4):302-314.
- [10] 林创伟.指纹识别系统的算法研究[D]. 广东:广东外语外贸大学,2006.
- [11] 耿茵茵,唐良瑞.指纹图像分级分割算法[J]. 北方工业大学学报,2000,3:22.

A High Efficiency Layer Segmentation Algorithm for Fingerprint Images

Yang Shi-xiong, Han Jian-hua

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The performance of the segmentation algorithm for fingerprint images affects the performance of the whole fingerprint identification system. It presents a segmentation algorithm for fingerprint images, based on the traditional segmentation algorithms and several mixed-technology segmentation algorithms. This algorithm can accurately segment the fingerprint images into the background area and the foreground area, and then segment the foreground area into the clear-cut area and the blurred area, and finally segment the blurred area into the retrievable area and the irretrievable area. The result shows that this segmentation algorithm provides a good segmentation result, and that it is robust against noise. Therefore, it has much higher practical value.

Key words: fingerprint image; segmentation; characteristic quantity; directional graph; gray variance; frequency of gray levels