

# 基于粒子群算法与方向图法的指纹图像分割<sup>①</sup>

陈 劲

(厦门城市职业学院, 厦门 361008)

**摘 要:** 指纹识别作为生物识别技术最为成功的应用之一, 近年来已得到快速发展和普及. 而指纹图像分割技术是指纹处理特征点提取的基础, 同时也是高效识别指纹的关键, 直接影响整个指纹识别系统的性能. 本文在对相关的指纹图像分割方法分析的基础上, 利用粒子群算法的阈值分割方法和方向图的指纹图像分割技术的优点, 进一步研究并提出了一个混合分割方法. 实验结果表明, 这两种方法的结合运用可以获得良好指纹图像分割效果.

**关键词:** 图像分割; 指纹图像; 粒子群算法; 方向图法

## Fingerprint Image Segmentation Based on Particle Swarm Optimization and Directional Image

CHEN Jin

(Xiamen City University, Xiamen 361008, China)

**Abstract:** Fingerprint recognition as one of the most successful applications of biometric technology in recent years has been rapidly developed and become more and more popular. Fingerprint image segmentation technique is the basis of fingerprint processing feature point extraction, and is the key to the efficient identification of fingerprints, which directly affects the performance of the fingerprint identification system. This paper is based on the analysis of the fingerprint image segmentation methods, and develops a hybrid segmentation method by considering the advantages of the particle swarm algorithm and directional image algorithm. Computational results have shown that the hybrid method can obtain a good fingerprint image segmentation.

**Key words:** image segmentation; fingerprint images; particle swarm optimization; pattern method

### 1 引言

指纹是指人的手指末端正面皮肤上凸凹不平产生的纹线. 指纹作为人体的一种重要特征, 因其具有唯一性、可采集性和终生不变性, 已经成为生物识别领域的重要手段, 并越来越受到人们的重视<sup>[1]</sup>. 随着现代计算机技术的发展, 自动指纹识别越来越普及. 目前, 我们在门禁、考勤系统甚至是笔记本电脑中都能看到自动指纹识别技术的身影. 自动指纹识别通常包括指纹图像采集、图像预处理、图像特征提取和指纹识别等几个步骤.

由于各种原因, 指纹图像采集步骤所获得的指纹图像往往是含有大量噪音的灰度图. 如果直接从这些图像提取指纹特征, 将会引入大量的伪特征, 且这些图像中含有大量无效信息(噪音和背景), 因此在进行

指纹特征提取前, 需要进行图像预处理, 以提高指纹识别算法的性能.

指纹图像预处理主要包括指纹图像分割、图像增强、二值化、细化等. 其中, 指纹图像分割是指纹识别系统预处理中的关键一步. 指纹图像分割的目的就是把前景区域(指纹线集中区域)和背景区域(无指纹线区域)分割出来, 从而后续图像处理只处理含有指纹的前景区域<sup>[3]</sup>. 经过图像分割预处理后的指纹图像可以有效缩短指纹图像预处理的时间, 同时, 经过压缩处理后的图像信息, 便于计算机存储和处理, 减少背景区域伪特征对后续处理的干扰, 还可以去除大量的粘连, 提高指纹特征的提取和匹配的准确率, 从而达到提高整个指纹识别系统性能的目的.

由于指纹识别的重要性, 学者们提出了许多用于

<sup>①</sup> 基金项目:厦门市科技计划(3502Z2010916)

收稿时间:2012-04-12;收到修改稿时间:2012-05-13

指纹图像分割的方法. 一般方法是根据一种或者多种指纹特征进行分割, 给出分割结果. 采用的特征主要有灰度值统计特征<sup>[4]</sup>、方向信息<sup>[5]</sup>、纹线频率和纹线投影等<sup>[6]</sup>. 大部分算法利用上述特征进行阈值化来进行前景区域和背景区域的分割, 但是如果特征单一, 简单经验阈值分类方法不能获得很好的分割效果. 还有学者引入神经网络来估计指纹的方向特征, 进而给出分割结果<sup>[7]</sup>. 一种好的图像分割算法, 要能减少分割及后续处理的时间, 同时在分割过程中能有效保护指纹的特征, 优化识别系统的处理过程. 另外, 还要对不同质量的指纹分割具有良好的鲁棒性. 本文在对不同指纹图像分析及分割算法的研究基础上, 提出了基于粒子群算法和方向图法的指纹图像分割方法.

## 2 基于粒子群算法和方向图的混合算法

### 2.1 Otsu 阈值分割法应用于指纹图像分割

Otsu 方法以图像的直方图为依据, 以目标和背景的类型方差最大作为阈值选取准则, 在很多情况下都能取得很好的阈值.

对于灰度范围 $\{0,1,\dots,l-1\}$ 的图像, 设阈值  $t$  将图像划分为目标与背景两类,  $p_i$  为灰度  $i$  出现的概率, 目标部分的概率  $\omega_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i$ , 背景部分的概率  $\omega_1(t) = \sum_{i=t+1}^{l-1} p_i$ ,

目标部分的均值  $u_0(t) = \sum_{i=0}^t ip_i / \omega_0$ , 背景部分的均值

$u_1(t) = \sum_{i=t+1}^{l-1} ip_i / \omega_1$ . 令  $u(t) = \sum_{i=0}^{l-1} ip_i$ ,  $u(t)$  表示整幅图像

的平均灰度. 两组间的方差公式为  $d(t) = \omega_0(u_0 - u)^2 + \omega_1(u_1 - u)^2$ . 最佳阈值  $t$  使得方差取得最大值. 这样, 利用最大类间方差法, 指纹图像多阈值分割的阈值求解问题可归纳为求解最佳阈值  $t$  的优化问题.

求解该优化问题首先使用直方图来计算各灰度级出现的概率, 并以阈值变量  $t$  将灰度图像的像素分为两类, 然后求每一类的类内方差及类间方差, 选取使类间方差最大、类内方差最小的灰度级  $t$  作为最佳阈值. 在实际应用中, 采取一维 Otsu 法在图像质量较好和背景稳定变化时, 可以取得比较理想的图像分割结果. 若通过枚举搜索方法求最佳阈值, 则计算量较大. 因此, 本文采用粒子群算法求解该问题.

### 2.2 基本粒子群算法

粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算

法是基于群体智能(Swarm Intelligence)理论的优化算法, 它通过群体中粒子间的合作与竞争产生的群体智能指导优化搜索. 该方法由美国的 Kennedy 和 Eberhart 受鸟群觅食行为的启发于 1995 年提出<sup>[8]</sup>.

PSO 最大的优势在于其强大的全局优化功能, 而且简单, 容易实现. 在基本的 PSO 算法中, 问题的一个潜在解被称为“微粒”, 每个微粒具有位置和速度两个特征. 位置坐标的目标函数值决定着该微粒的优劣, 而速度决定着移动的方向和距离<sup>[9]</sup>. PSO 首先随机初始化一个微粒群, 每个微粒通过跟踪个体自身经历的最佳位置( $pBest_i$ )和群体经历过的最佳位置( $gBest$ )来更新自己, 整个种群就跟随历史最优种群在搜索空间飞行, 通过公式(1)和(2)不断迭代直至找到最优解.

$$V_i(t+1) = w \cdot V_i(t) + c1 \cdot r1 \cdot (pBest_i - X_i(t)) + c2 \cdot r2 \cdot (gBest - X_i(t)) \quad (1)$$

$$V_i(t+1) = V_i(t+1) + X_i(t) \quad (2)$$

其中  $V_i$ 、 $X_i$  分别为微粒的速度和位置,  $\omega$  为惯性权重(Inertia weight),  $c1$ 、 $c2$  为加速因子( $c1 > 0$ ,  $c2 > 0$ ),  $r1$ 、 $r2$  是介于 0~1 之间的两个随机数,  $pBest_i$  是第  $i$  个微粒经历过的最好位置,  $gBest$  是种群经历过的最好位置,  $t$  为迭代次数. 由公式(1)和(2)组成的迭代算法通常被认为是标准 PSO 算法. 惯性权重  $\omega$  是非负数, 用来控制过去速度对当前速度的影响. 常用惯性权重因子  $\omega$  由公式(3)确定:

$$w = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{Maxiter} * iter \quad (3)$$

其中  $\omega_{\max}$ 、 $\omega_{\min}$  分别为  $\omega$  的最大值与最小值,  $iter$ 、 $Maxiter$  分别为当前进化代数与最大进化代数. 使粒子保持运动的惯性, 使其有能力探索新的区域. PSO 假设在寻求一致认知过程中, 个体往往记住自己的信念, 同时考虑同伴的信念, 当个体察觉同伴信念较好的时候, 它将进行适应性的调整.

将 PSO 运用于图像分割是应用 PSO 解决离散问题的一个特例. PSO 进行指纹图像分割具有算法结构简单、使用方便和阈值搜索速度快的优点, 但对于指纹图像中对比度低的区域分割效果较差.

### 2.3 基于方向图法的指纹图像分割

指纹图像的纹理有一定的方向性, 可以被看作有确定纹理的流状模型, 通过计算方向场作为它的方向图, 方向图反映了指纹图像纹理结构的本质, 要使噪声的指纹图像预处理后能获得清晰、稳定的脊线特征

图, 必须准确地提取指纹图像的方向图<sup>[11]</sup>. 方向图实际上描述了指纹图像中每一个像素点所在脊和谷在该点的切线方向. 方向图分割方法的效果依赖于所求点方向的可靠性, 而对图像对比度的高低并不敏感, 因此对于对比度虽然很低但方向性强的指纹分割效果很好<sup>[12]</sup>. 具体算法描述可参见文献[13].

1		1		1		1		1
1		1	1	1	1	1		1
		1				1		
1	1					1	1	
		1				1		
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1		1		1		1		1

图 1 8 个量化方向的掩膜矩阵<sup>[14]</sup>

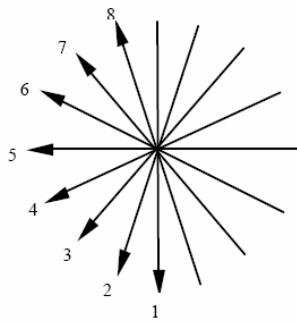


图 2 8 个量化方向<sup>[14]</sup>

$$4c + S_{\min} + S_{\max} > \frac{3}{8} \sum_{i=1}^8 s_i \quad (4)$$

其中  $s_i$  表示第  $i$  个矢量方向上灰度的和值,  $S_{\min}$  表示最小和值,  $S_{\max}$  表示最大和值.

### 2.4 混合算法

考虑 PSO 和方向图方法各自的优缺点及适用的范围, 本文将方向图和基于 PSO 多阈值分割法结合起来进行指纹图像分割处理, 取得了很好的效果. 下面简要描述这种混合方法的思路:

- 1) 粒子初始化: 给定粒子群个数  $n$ , 并随机产生  $n$  个粒子的速度和位置.
- 2) 更新粒子适应值: 对每个粒子, 将粒子的当前位置于该粒子的最佳位置  $pBest$  进行比较, 若当前位置更优, 则更新  $pBest$ .
- 3) 将每个粒子的当前位于与群体最优位置  $gBest$  进行比较, 若当前位置更优则更新  $gBest$ .

- 4) 每个粒子按照公式(1)和公式(2)调整自己速度和位置, 并把速度和位置限制在合理范围内.
- 5) 判断是否满足终止条件, 如果满足, 迭代结束; 否则转到(2)继续.
- 6) PSO 结束后, 进行方向图计算.
- 7) 初始 8 个量化方向的掩膜矩阵图和 8 个量化方向.
- 8) 当点满足公式(4)的判断条件时, 判断为前景点, 否则为背景点. 迭代运行, 直至最后一个输出图像.

算法流程如下:

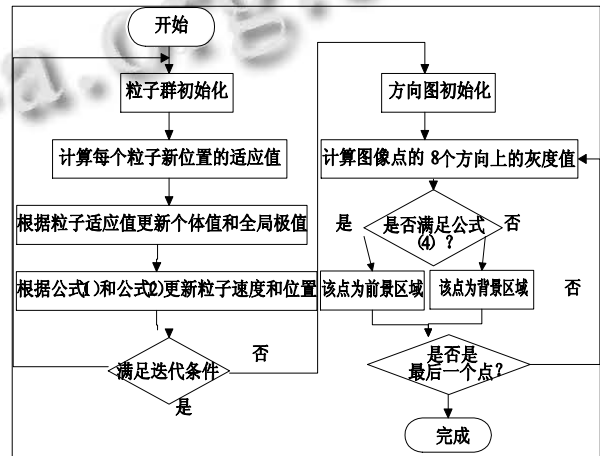


图 3 粒子群混合方向图算法流程图

### 3 实验结果分析

本文算法用 Visual C#编程实现, 对 FVC 标准数据库中的指纹图像进行了分割测试, 并对这些算法的结果进行了对比. 实验中, 对于 PSO 的参数, 取  $n=20$ ,  $\omega_{\max}=1.2$ ,  $\omega_{\min}=0.9$ ,  $c1=c2=2.05$ ,  $Maxiter=100$ . 实验结果如图 4~7 所示.



图 4 原始指纹图像



图 5 利用方向图的分割结果



图 6 利用 PSO 的分割结果



图 7 基于 PSO 与方向图的混合算法的分割结果

从图 5 可以看出, PSO 对于指纹图像中对比度低和噪声较大的区域分割效果较差, 所分割的图像中存在大量的粘连. 从图 6 可以看出, 方向图方法在对比度低和含有大量噪声的区域工作良好, 但无法分割背景区域. 图 7 为利用混合算法所分割的指纹图像, 可以看出笔者所述的算法可以很好的分割了指纹图像的前景和背景区域, 既无粘连现象又最大限度的保存了指纹图像的原始信息.

#### 4 结论

本文提出一种结合 PSO 和方向图的指纹图像分割算法. 利用 FVC 标准指纹数据库上的数据进行实验, 实验结果表明, 方向图法由于利用了指纹的方向信息, 分割的效果很理想, 但无法将背景区域有效地去除. 用基于 PSO 的 Otsu 阈值分割方法, 能够高效地将指纹图像的前景区域和背景区域分割开来, 但对于对比度较低或者有大量噪声聚集的区块, 会出现较差的结果. 本文采用混合方法, 结合这两个算法的优点, 得到了比较理想的实验结果. 这表明该方法具有计算复杂度低, 兼具粒子群算法和方向分割法的优点, 能较好地实现指纹图像前景和背景分割, 是一种有效的指纹图像分割方法.

#### 参考文献

- 1 马俊. 指纹图像分割及参考点检测算法研究. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- 2 陈立潮, 王宇, 刘佳, 张伟, 张力. 基于方向图的指纹图像预处理算法. 计算机技术与发展, 2007, 17(9): 85-91.
- 3 郭文鹏, 杨公平, 董晋利. 指纹图像分割方法综述. 山东大学学报(理学版), 2010, 45(7): 94-101.
- 4 Bazen AM, Gerez SH. Segmentation of fingerprint images, Proceedings of the 12th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing. Veldhoven, The Netherlands, 2001: 276-280.
- 5 Hong L, Wan Y, Jain AK. Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8): 777-789.
- 6 陈小光, 封举富. 基于多特征判别分析的指纹图像分割方法. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 1: 1-6.
- 7 Zhu E, Yin JP, Hu CF, et al. A systematic method for fingerprint ridge orientation estimation and image segmentation. Pattern Recognition, 2006, 39(8): 1452-1472.
- 8 汲万峰, 姜礼平, 朱建冲, 孙钧正. 基本粒子群算法和遗传算法用于航路规划的比较. 火力与指挥控制, 2011, 36(6): 85-88.
- 9 曾劲涛, 李金忠, 唐卫东, 夏洁武, 刘新明, 王博. 多目标微粒群优化算法及其应用研究进展. 计算机应用研究, 2011, 28(4): 1225-1231.
- 10 杨维, 李歧强. 粒子群优化算法综述. 中国工程科学, 2004, 6(5): 88-94.
- 11 蒋景英, 胡晓东, 徐可欣, 虞启. 结合遗传算法与方向图法的指纹图像分割. 工程图学报, 2002, 2: 76-81.
- 12 何东宇, 蔡远利. 基于方向图的指纹预处理方法研究. 计算机工程与应用, 2004, 14: 77-81.
- 13 闵晶妍. 方向图在指纹识别系统中的应用. 模式识别与仿真, 2008, 27(6): 47-49.
- 14 Mehre BM, et al. Segmentation of fingerprint images using the directional image. Pattern Recognition, 1987, 20(4): 429-435.