

一种改进的自适应遗传算法在指纹图像分割中的应用^{*}

杨凡 赵建民

(浙江师范大学信息科学与工程学院 金华321004)

摘要 本文提出了基于改进的自适应遗传算法与方向图法相结合的指纹图像分割方法,采用群体的最大适应度、最小适应度、适应度平均值这3个变量来衡量群体适应度的集中程度,能自适应地变化整个群体的交叉概率 p_c 和变异概率 p_m 。采取最优保存策略来保证最优个体不被大的 p_c 和 p_m 破坏掉。并用无放回余数随机选择算子(RSSR选择算子)对基本选择算子进行了改进,选择误差比较小。在自动指纹识别中,指纹图像分割不仅能够对图像信息进行压缩,保留脊谷线的主要信息,同时能够去除大量的粘连,加速后续处理的速度和提高指纹特征提取和匹配的精度。最后给出了实验结果。

关键词 自适应遗传算法,图像分割,指纹图像,方向图法

An Improved Adaptive Genetic Algorithm and its Application in Fingerprint Segmentation

YANG Fan ZHAO Jian-Min

(College of Information Science and Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua321004)

Abstract The proposed algorithm introduces three parameters, i. e. fit_{max} , fit_{min} , and fit_{ave} to measure how close the individuals are. Furthermore, the elitist strategy is employed to protect the best individual of each generation, and remainder stochastic sampling with replacement (RSSR) is employed in the proposed IAGA to improve the basic reproduction operator. By determining p_c and p_m of the whole generation adaptively, it strikes a good result. Segmentation of fingerprint images can not only compress the information of fingerprint images and hold the main information of ridges and valleys, but also remove an amount of conglutination among ridges and valleys and improve the performance of the feature extraction and matching of fingerprint images. In this paper, the segmentation algorithm of fingerprint images based on the improved adaptive genetic algorithm and directional image method is presented.

Keywords Adaptive genetic algorithm, Image segmentation, Fingerprint image, Direction image method

1 引言

指纹作为人体的重要特征,因其具有唯一性和终生不变性,已经成为生物识别领域的重要手段。在指纹识别中,需要对指纹图像进行一系列的预处理之后,再进行指纹特征提取与匹配。而图像分割是预处理中非常重要的一步。指纹图像分割的方法,一般都是基于图像灰度级进行的。这些方法一般能够将指纹的前景区域和背景区域(除脊线之外的区域)分割开,但易受摄制时的光照、反射等的影响,效果不是很好,例如简单阈值分割法和方差法。

本文对改制遗传算法及其在指纹分割中的应用进行了探讨和研究,取得了一些成果,并且给出了实验结果。

2 M. Srinivas 提出的自适应遗传算法

基本遗传算法采用比例选择算子、单点交叉算子、基本位变异算子。

比例选择算子采用“赌盘选择”来实现,其基本思想是:各个个体被选中的概率与其适应度大小成正比。

设群体大小为 N ,个体 i 的适应度为 fit_i ,则个体 i 被选中的概率 p_i 为:

$$p_i = fit_i / \sum_{i=1}^N fit_i, (i=1, 2, \dots, N)$$

该算子的明显缺陷是:由于基于随机操作,因此选择误差较大,尤其在群体规模较小的情况下,可能会漏选适应度较高的个体。

单点交叉算子在个体编码串中等概率随机选择一个交叉位置,然后交叉两个配对个体在交叉位置右边的部分基因。

基本位变异算子指对于用二进制编码表示的个体,以变异概率 p_m 随机对某一位基因取反操作。

M. Srinivas 所提的自适应遗传算法是当群体适应度比较集中时,使交叉概率 p_c 和变异概率 p_m 增大;当群体适应度比较分散时,使 p_c 和 p_m 减小。 p_c 和 p_m 的具体定义为

$$p_c = \begin{cases} k_1 \frac{fit_{max} - fit'}{fit_{max} - fit_{ave}} & fit' \geq fit_{ave} \\ k_3 & fit' < fit_{ave} \end{cases}$$

$$p_m = \begin{cases} k_2 \frac{fit_{max} - fit'}{fit_{max} - fit_{ave}} & fit' \geq fit_{ave} \\ k_4 & fit' < fit_{ave} \end{cases}$$

式中 fit_{ave} 群体的适应度平均值; fit_{max} 群体的最大适应度; fit' 交叉双方适应度者的适应度; fit 个体的适应度; $0 < k_1, k_2, k_3, k_4 \leq 1$ 常数。

这种算法根据每代个体适应度的改变来自适应地改变 p_c 和 p_m ,在保护最优个体的同时,加快了较差个体的淘汰速度。但是该算法以个体为单位改变 p_c 和 p_m ,缺乏整体的协作精神,因此在某些情况(如整体进化的停滞期)下,该算法不容

^{*} 本文受浙江省自然科学基金项目资助(编号:ZD0108)。赵建民 教授,理学硕士,目前研究方向:智能化信息处理,模式识别,图像匹配和全局搜索遗传算法等。

易跳出局部最优解。同时,由于对每个个体都要分别计算 p_c 和 p_m , 会影响程序的执行效率, 不利于硬件实现。

3 改进的自适应遗传算法

(1) 自适应的交叉概率 p_c 和变异概率 p_m 针对 M. Srinivas 算法的缺点, 本文根据适应度集中程度, 自适应地变化整个群体的 p_c 和 p_m , 并采用群体的最大适应度 fit_{max} 、最小适应度 fit_{min} 、适应度平均值 fit_{ave} 这3个变量来衡量群体适应度的集中程度。

fit_{min} 与 fit_{max} 的接近程度反映了整个群体的集中程度, 二者越接近, 遗传算法越可能陷于局部最优解, 也就是适应度越“集中”。 $fit_{min}/fit_{max} > b$ 时, 认为个体集中, 其中参数 $0 < b < 1$ 。 b 越接近于0, 该式就越容易满足, 从而越容易判断为“集中”。

fit_{ave} 与 fit_{max} 的接近程度反映了群体内部适应度的分布情况, 二者越接近, 表明该代个体越集中。当 $fit_{ave}/fit_{max} > a$ 时, 认为个体集中, 其中参数 $0.5 < a < 1$ 。 a 越接近于0.5, 该式就越容易满足, 从而越容易判断为“集中”。

当 $fit_{ave}/fit_{max} > a$ 且 $fit_{min}/fit_{max} > b$ 时, 判断为群体“集中”, 此时, 使 p_c 和 p_m 根据群体的集中程度自适应变化; 不满足该条件时, 判断为群体“分散”, p_c 和 p_m 保持最初的较小的初值。

$$p_c = \begin{cases} p_c \frac{1}{1 - \frac{fit_{min}}{fit_{max}}} & \frac{fit_{ave}}{fit_{max}} > a, \frac{fit_{min}}{fit_{max}} > b \\ p_c & \text{其它} \end{cases}$$

$$p_m = \begin{cases} p_m \frac{1}{1 - \frac{fit_{min}}{fit_{max}}} & \frac{fit_{ave}}{fit_{max}} > a, \frac{fit_{min}}{fit_{max}} > b \\ p_m & \text{其它} \end{cases}$$

(2) 最优保存策略 运用自适应遗传算法的一个实际问题是, 交叉概率和变异概率可能在某些时候变得很大, 从而破坏较好的个体。本文采取最优保存策略来保留最优个体。

最优保存策略就是把每一代遗传操作后产生的新一代群体的最高适应值与上一代群体的最高适应值作比较, 如果小于上一代的最高适应值, 就随机淘汰新一代中的一个个体, 把上一代中具有最高适应值的个体加入到新一代中。最优保存策略可保证当前的最优个体不会被交叉、变异等遗传运算破坏, 这是本文改进的自适应遗传算法收敛性的一个重要保证条件。

(3) 选择算子的改进 本文采用无放回余数随机选择算子 replace 对基本选择算子进行了改进, 具体步骤如下:

① 计算群体中每个个体在下一代群体中的生存期望数目 N_i :

$$N_i = N \cdot fit_i / \sum_{i=1}^N fit_i, (i=1, 2, \dots, N)$$

② 取 N_i 的整数部分 $[N_i]$ 为对应个体在下一代群体中的生存数目。这样共可确定出下一代群体中的 $\sum_{i=1}^N [N_i]$ 个个体。

③ 以 $fit_i - [N_i] \sum_{i=1}^N fit_i / N$ 为各个个体的新的适应度, 再用基本的比例选择方法来随机确定下一代群体中还未确定的 $N - \sum_{i=1}^N [N_i]$ 个个体。

可见, 该算子结合了基于概率的选择方法和确定方式的选择方法, 可确保适应度比平均适应度大的一些个体一定能保留到下一代, 选择误差较小。

4 在指纹图像分割中的应用

指纹图像分割的方法, 一般都是基于图像灰度级进行特征提取与匹配。而图像分割是预处理中非常重要的一步。这些方法一般能够将指纹的前景区域和背景区域(除脊线之外的区域)分割开, 但易受摄制时的光照、反射等的影响, 效果不是很好, 例如简单阈值分割法和方差法。而利用点方向图来进行指纹图像分割, 不受光照、光源分布及反射等的影响, 自适应性能较好, 能够将指纹脊线和谷线很好地分割开, 但是对于背景区域, 由于没有指纹脊线方向作指导而无法去除背景区域。在本文的研究中将方向图法和基于改进的自适应遗传算法的阈值分割法结合起来, 对指纹图像进行分割处理, 取得了很好的分割效果。

4.1 遗传算法在指纹图像分割中的应用

在运用遗传算法解决问题时必须进行两个重要步骤: ① 把所求问题的解编码成染色体; ② 用合适的适应度函数返回值来评价染色体的好坏。遗传算法的基本过程如1。

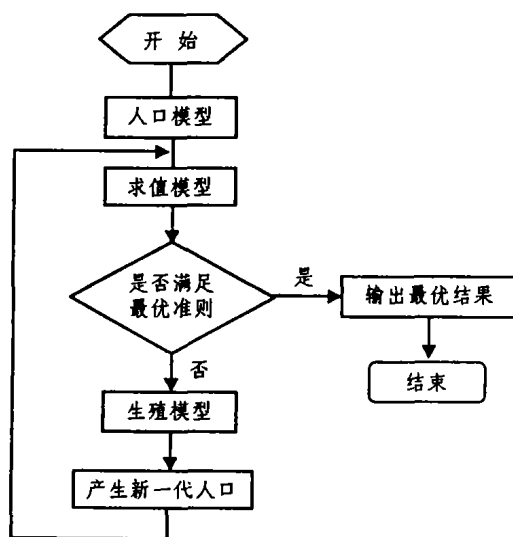


图1

从图1可以看出, 遗传算法包含3个基本模型:

① 人口模型。本文研究中, 设定人口数为30, 繁衍代数为50, 由于分割电平的灰度值在0~255之间, 可把每个染色体成员编码为8位二进制码; 它代表某个门限值, 即为随机产生的初始化人口。

② 求值模型。重点是设计适应度函数。对于要处理的图像, 采用 Otsu 法进行图像分割时的质量测试公式作为适应度函数:

$$f = w_0(u_0 - v)^2 + (u_1 - v)^2$$

其中, w_0 和 w_1 分别表示其灰度值小于和大于门限 TGray 的概率; u_0 和 u_1 分别表示上面两个区间的平均灰度值; v 表示整幅图像的平均灰度; f 值表示的是类间方差, 最佳阈值 TGray 应该使类间方差最大, 即 f 值越大, 分割的效果越好。

此处的适应度函数亦可根据 KSW 熵方法进行选择。将信息论中 Shannon 熵概念用于图像分割时, 测量图像灰度直方图的熵, 由此找出最佳阈值, 其出发点是使图像中目标与背景分布的信息量最大。最佳分割阈值应该使各类总熵值最大。实验结果表明, 其处理结果与前述方法差别不大。

③ 生殖模型。包括复制、单点交叉互换和位变异。本文中, 交叉互换率为0.65, 位变异率为0.008, 而操作器的负载即

人口数设为30。

确定了3个基本模型之后,就可以得到用单门限电平进行图像分割的最佳分割门限。

实验表明,与基于灰度直方图的双峰法相比,采用遗传算法进行指纹图像分割不仅运行速度快而且分割得质量好。基于遗传算法的阈值法用于指纹图像分割时,由于前景区灰度值较高,背景区灰度值较低,一般能够将指纹的前景区和背景区分开。但是该方法有时造成指纹纹线的断裂与粘连,而且对噪声比较敏感。

指纹纹线排列具有一定的规律性。一般来说,指纹纹线排列是平行的,且方向变化平缓。因而,指纹数据间存在着大量的冗余,有可能用指纹的方向图来表征指纹纹线的大致走向和结构。方向图法的基本思想是:把局部的小块指纹看成是由固定方向和固定宽度的黑白条纹按等宽间隔所组成的图案。这种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,因此在对比度虽然很低但方向性强的区域分割效果很好。实际计算中选择8个量化方向(如图2),并采用 9×9 矩阵(如图3)进行掩膜计算。

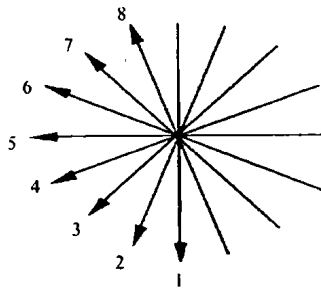


图2

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

图3

结合指纹图像的特点,对前景点和背景点的判据如下:

$$4c + s_{max} + s_{min} > \frac{3^8}{8} s_i$$

其中, s_i 为第 i 个量化方向上灰度的和值, s_{min} 及 s_{max} 分别为最小和最大和值。当点 C 满足上述判断条件时,判断为处于脊

线上的前景点,否则判断为背景点。

在指纹区域,因有指纹的方向信息作指导,所以不管图像对比度高低,噪声干扰与否,总能取得理想的分割效果,而且对指纹断裂和粘连有连接和隔离的作用。但是在非指纹区域,由于没有指纹方向信息作指导,该方法效果很差,大量的背景点均被误认作前景点。从后面处理的结果图像中能很明显地看出来。

4.2 复合方法

考虑以上2种方法各自的优缺点及适用范围,本文所进行的指纹图像分割处理中,将方向图法和基于改进的自适应遗传算法的阈值分割法复合,取得了很好的效果。下面是对两种方法进行复合的简要描述:

If $C(i, j) \leq T_{gray}; R(i, j) = D(i, j);$

Else $R(i, j) = 255$ (直接取背景为白背景);

End

其中, $C(i, j)$ 表示原始指纹图像当前点的灰度值; $D(i, j)$ 表示利用方向图法分割后的指纹图像中当前点的灰度值; $R(i, j)$ 表示利用复合方法分割后的指纹图像中当前点的灰度值; T_{gray} 表示利用遗传算法所选取的最佳分割阈值。由此可以看出:该算法结合了遗传算法寻优快速和方向图法比较完整保留方向信息的优点,且算法运行速度较快,适合实时应用。

5 实验结果分析

本文引用对某一指纹图像进行分割处理的结果来验证所提出算法的性能。

图4中,图(a)为通过扫描油墨指纹按印生成的指纹原图;图(b)为利用遗传算法分割的结果;图(c)为利用改进的自适应遗传算法分割的图;图(d)为利用方向图法分割的结果;图(e)为利用复合方法分割的结果。从图4所示指纹分割的结果表明,本文所述算法能够将指纹中脊线从背景区域中很好地分割出来,既无粘连现象发生,又保留了指纹图像中比较完整的信息。

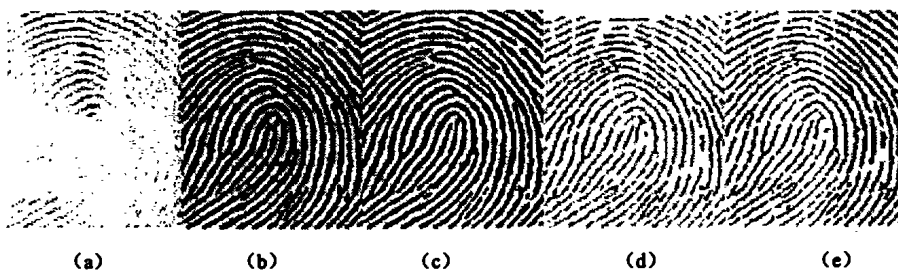


图4

参考文献

- Kapur J N, et al. A new method of gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, 29(2): 273~285
- Oisu N. A threshold selection method from gray. Level histograms [J]. IEEE Trans. On System, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62~65
- Mehrtre B M. et al. Segmentation of fingerprint images using the directional image [J]. Pallein Recognition 1987, 20(4): 429~435
- 吴成柯,刘靖,徐正伟,等. 图像分割的遗传算法方法 [J]. 西安电子科技大学学报, 1996, 23(1): 34~40
- 张晓绩,戴冠中. 一种新的优化算法——遗传算法 [J]. 控制理论与应用 1995, 12(3): 265~271
- 陈建安. 遗传算法理论研究综述 [J]. 西安电子科技大学学报, 1998, 25(3): 363~368
- 马均水,刘忠贵,贾玉兰. 改进遗传算法搜索性能的大变异操作 [J]. 控制理论与应用, 1998, 15(3): 404~408
- Srinivas M, Ptanaik L M. Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithm [J]. IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, 1994, 24(4): 656~667
- De Jong K A. An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems [D]. University of Michigan, 1975(76-9381)
- Brindle A. Genetic Algorithms for Function Optimization [D]. University of Alberta, 1981
- 王蕾,沈庭芝,招扬. 一种改进的自适应遗传算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2002, 1001-506(x) (2002) 05-0075-04
- 蒋景英,胡晓东,徐可欣,虞启珪. 结合遗传算法与方向图法的指纹图像分割 [J]. 工程图学学报, 2002(2)