

基于混沌遗传算法的二维最大熵图像分割

郭明山¹, 刘秉瀚²

(1. 中国移动福建有限公司 漳州分公司网络部, 福建 漳州 363000;

2. 福州大学 计算机系, 福建 福州 350002)

摘要:研究了基于二维最大熵的图像分割算法, 针对基于二维最大熵的图像分割算法存在的计算复杂度高、计算时间长等问题, 提出了一种基于混沌遗传算法的二维最大熵算法。该方法利用类似载波的方法将混沌序列映射至双阈值的二维空间, 之后利用混沌遗传算法搜索最佳阈值进行图像分割。实验结果表明, 由于该方法考虑了点灰度和区域灰度均值, 且采用了有效的全局搜索算法, 所以不仅得到了令人满意的分割效果, 而且大大提高了计算速度, 是一种实用有效的图像分割方法。

关键词:混沌遗传算法; 二维最大熵; 图像分割

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)08-0101-04

2-D Maximum Entropy Method in Image Segmentation Based on Chaos Genetic Algorithm

GUO Ming-shan¹, LIU Bing-han²

(1. Network Department of Zhangzhou Branch, China Mobile Group Fujian Co. Ltd., Zhangzhou 363000, China;

2. Department of Computer, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The 2-D maximum entropy image segmentation method is studied in this paper, for the problems that the method is complex, time-consuming and lack of practicability during evaluating threshold, a 2-D maximum entropy image segmentation method based on CGA (chaos genetic algorithm) is presented. The method searches for all the local maximal thresholds in the way of mapping from chaos sequences to 2-D variables space which is similar to carrying waves. The experiment results indicate that the proposed method can not only obtain the perfect performance of segmentation but also greatly improve the speed of computation due to considering the gray scale value of pixel and the gray scale mean value of region as well as adopting global search algorithm. So it is a practical and effective method of image segmentation.

Key words: chaos genetic algorithm; 2-D maximum entropy; image segmentation

0 引言

图像分割是一种基本的计算机视觉技术, 也是由图像处理进入到图像分析的关键步骤, 一直是数字图像处理领域的一项重要研究内容。在众多的分割方法中, 阈值法是最为常用的一种方法。二维最大熵分割方法是阈值法的一种。它利用图像的二维直方图, 结合了图像的灰度信息和邻域信息, 通过使图像的二维最大熵达到最大, 得到所需要的二维阈值。为有效提高二维最大熵算法的速度, 增强算法的实时处理能力, 人们将遗传算法和二维最大熵算法有机地结合起来, 但总体效果仍有不足。

遗传算法是基于自然选择和基因遗传学原理的搜索算法^[1]。但标准遗传算法不保证全局最优收敛, 且计算量大、搜索慢。混沌^[2]是自然界广泛存在的一种非线性现象, 混沌所具有的随机性, 特别是遍历性, 即在一定范围内按自身的规律不重复地遍历所有状态, 使混沌在进行优化搜索、获取全局最优解时具有十分重要的意义。

文中提出一种基于混沌遗传算法的二维最大熵算法, 综合利用混沌和遗传算法的优点实现二维最大熵算法的快速计算。实验证明, 该算法相比基于传统遗传算法的二维最大熵算法, 具有更强的寻优能力, 更强的稳定性, 分割效果好。

1 二维最大熵图像分割

综合运用点灰度和区域灰度特征可以较好地表征

收稿日期: 2007-11-21

作者简介: 郭明山(1982-), 男, 硕士, 研究方向为通信网络; 刘秉瀚, 研究员, 研究方向为智能技术。

图像的信息,二维最大熵阈值法正立足于此,其具体算法如下^[3,4]:

设一 $M \times N$ 的图像 X 有 L 级灰度 $Gx = \{0, 1, \dots, L-1\}$, 图像 $s \times s$ 邻域的平均灰度也有 L 级灰度 $Gy = \{0, 1, \dots, L-1\}$, 其二维直方图 $h(i, j) = p_{ij}$, $0 \leq i, j \leq L-1$, 其中 i 为像素灰度, j 为 $s \times s$ 邻域平均灰度。 p_{ij} 表示向量 (i, j) 发生的概率, 由式(1) 确定:

$$p_{ij} = c_{ij} / (M \times N) \quad (1)$$

式中 c_{ij} 表示向量 (i, j) 发生的次数, 并且有: $\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij} = 1$ 。

假设图像由目标 A 和背景 B 组成, 则它们有不同的概率分布, 分别为:

$$A: \frac{p_{00}}{P_s}, \frac{p_{01}}{P_s}, \dots, \frac{p_{st}}{P_s}$$

$$B: \frac{p_{s(t+1)}}{1 - P_s}, \frac{p_{s(t+2)}}{1 - P_s}, \dots, \frac{p_{(L-1)(L-1)}}{1 - P_s}$$

其中, $P_s = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s p_{ij}$ 。如果忽略远离对角线部分的影响, 则与每个分布有关的熵分别为:

$$H_A(s, t) = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s \frac{p_{ij}}{P_s} \ln \frac{p_{ij}}{P_s} \quad (2)$$

$$H_B(s, t) = - \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} \frac{p_{ij}}{1 - P_s} \ln \frac{p_{ij}}{1 - P_s} \quad (3)$$

则图像的总熵为:

$$H(s, t) = H_A(s, t) + H_B(s, t) \quad (4)$$

选取的最佳阈值向量满足:

$$H(\hat{s}^*, t^*) = \max \{H(s, t)\} \quad (5)$$

传统二维最大熵图像分割算法存在着搜索空间大、耗时多的缺陷, 所以可利用遗传算法选取最佳阈值向量, 提高二维最大熵算法的速度。但传统遗传算法的全局收敛性差, 稳定性不强, 因此, 文中利用混沌的特性, 设计混沌操作算子与传统遗传算法结合, 提出基于混沌遗传的二维最大熵图像分割算法。

2 混沌原理

所谓混沌, 就是指在确定性系统中出现的一种貌似无规则的, 类似随机的现象。从数学上讲, 对于确定的初始值, 由动力系统就可以推知该系统的长期行为甚至追溯其过去状态。但是大量的实例表明, 有很多系统, 当初值产生微小的变化时, 其系统的长期状态有很大变化, 以至于表现出一种无法预测的类“随机”现象。这就是混沌。当然这种随机是由确定系统产生的, 是一种内在随机。它是非线性系统特有的现象。混沌具有随机性、遍历性和规律性。基于混沌这种特性, 利用混沌变量进行优化搜索无疑比随机搜索更

好^[5]。

系统是否具有混沌, 这是研究混沌首先要解决的问题。首先利用 Lyapunov 方法对非线性动力系统进行混沌判断, 通过 Lyapunov 指数可定量地描述相空间中相邻轨道指数发散的性质, Lyapunov 指数的正、零和负分别表示系统是混沌的、周期和基本稳定的状态。

下面对最基本混沌映射—Logistic 映射加以简单说明。Logistic 方程定义的混沌序列如下:

$$x_{n+1} = ux_n(1 - x_n), 0 < u \leq 4,$$

$$x_n \in (0, 1), n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

可以证明, 当 $u = 3$ 时, 系统开始分岔, 并逐渐进入倍周期过程。分支越来越多, 以 2^n 方式增长, 直到 $u = 3.4496 \dots$ 时系统过渡到混沌。当时, 公式(6) 表示的系统处于最具遍历性的混沌状态^[2], 此时 Logistic 映射为:

$$x_{n+1} = 4x_n(1 - x_n), 0 < x_n < 1 \quad (7)$$

其映射序列的概率分布密度 $\rho(x)$ 为:

$$\rho(x) = \begin{cases} 1/(\pi \sqrt{x(1-x)}), & 0 < x < 1 \\ 0, & x \leq 0 \text{ or } x \geq 1 \end{cases} \quad (8)$$

式(8) 表明式(7) 所确定的序列具有遍历性, 并且它产生序列的概率密度分布函数与初始值无关。这为将混沌序列作为优化参数的映射函数提供了理论支持。所以可以利用公式(7) 处于混沌状态所具有的遍历性来达到在大范围内搜索解的目的。若需优化 n 个参数, 则任意设定 $(0, 1)$ 区间 n 个相异的初值(注意不能为方程(7) 的不动点 $0.25, 0.50, 0.75$, 因为不动点得不到混沌序列), 可得到 n 个轨迹不同的混沌变量。

另外, 常见的混沌映射还有立方映射: 即 $f(x) = ax^3 - ax + x, x \in [-1, 1]$, 当 $a \in [3.4, 4]$ 时为混沌映射。

3 基于混沌遗传的二维最大熵算法

遗传算法是一类借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机化搜索算法, 其主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换, 搜索不依赖于梯度信息。它尤其适用于处理传统搜索方法难以解决的复杂和非线性问题。但是该算法的全局收敛性的理论分析尚待解决, 目前普遍认为, 传统遗传算法不能保证全局最佳收敛。当传统遗传算法用来作为函数优化的手段时, 在寻找最优解向量的过程中, 由于交叉算子的作用, 往往将已经寻找到的最优解向量又破坏掉^[6]。为此, 文中利用混沌的特性, 设计了混沌操作算子来代替传统遗传算法中的交叉算子, 同时采用了新型的变异操作算子, 在一定程度上解决传统遗传算法的全局收

敛性差,稳定性不强的缺点。同时利用混沌遗传算法作为费用函数优化的手段,可与二维最大熵算法结合实现图像分割。文中的混沌遗传算法首先利用混沌扰动操作和变异操作在较大范围内寻找较优解,接着在较优解的附近利用混沌扰动寻找最优解。混沌遗传算法首先解决以下几个问题:

- (1)混沌函数的选择;
- (2)染色体的编码方式;
- (3)适应值函数的选择。

为简化算法,文中选用最常用的混沌映射:Logistic映射。染色体的编码采用实数编码方式,每个个体由混沌变量 S 和 T 组成,其中, $S, T \in (0, 1)$ 。相应地,适应值函数也直接使用二维熵的计算公式,即公式(4)。因为灰度图像中 $L = 256$,所以公式(4)中的 s 和 t 需要混沌变量通过映射转换得到,即 $s = (\text{int})(S * 255), t = (\text{int})(T * 255), s, t \in (0, 255)$ 。

混沌遗传算法开始时先随机产生初始种群,然后对初始种群执行混沌扰动。接着在解空间的大范围内进行搜索,大范围搜索过程中,类似于传统遗传算法,采用变异算子和混沌操作算子。其中,混沌操作算子中,为加快算法速度,对适应值最大的40%的个体不做混沌扰动,只对其余的60%的个体做混沌扰动^[7]。当在大范围内搜索到较优解时,转入小范围内搜索。小范围内搜索主要利用混沌操作算子。基于混沌遗传算法的二维最大熵算法基本步骤如下:

步骤0:设置混沌遗传算法的种群规模以及最大进化代数。

步骤1:生成初始群体。随机产生 S 和 T ,其中, $S, T \in (0, 1)$ 。然后利用公式(4)计算每个个体的适应值。公式(4)中的 s 和 t 分别由以下公式确定: $s = (\text{int})(S * 255), t = (\text{int})(T * 255)$ 。对初始种群执行混沌扰动。如果在 C_1 步之内找到更优个体,则替换原来的个体,否则保留原个体。混沌扰动方式按公式(7)进行。

步骤2:如果当前进化代数大于 G ,转步骤4,否则执行变异操作。变异方式按如下公式进行: $S' = S + \text{fRandom}() / M, T' = T + \text{fRandom}() / M$ 。其中, $\text{fRandom}()$ 产生 $(0, 1)$ 之间的一随机数。如果变异后的个体具有更优的适应值,则把该个体加入当前种群。

步骤3:执行混沌操作。如果在 C_2 步之内找到更优解,则替代原来的个体,否则保留原个体。混沌扰动按公式(7)进行。结束后转步骤5。

步骤4:在较小范围内执行混沌扰动。扰动方式:

$S' = S + (m_1 - 0.5) / N, T' = T + (m_2 - 0.5) / N$ 。其中, m_1, m_2 为混沌变量且 $m_1, m_2 \in (0, 1)$ 。

如果变异后的个体具有更优的适应值,则替换原来的个体,否则保留原个体。

步骤5:按规定的种群规模直接选择最优个体进入下一代。

步骤6:如果满足终止条件,返回最优解,否则从步骤2重复上述过程。

步骤7:利用最优解分割图像。

说明:步骤3利用混沌操作来产生新的种群,这保证了在解空间的大范围内对解进行搜索。步骤2利用变异操作对当前解在小范围内进行搜索。步骤4引入了变尺度混沌优化^[5]的思想,在一定程度上加快了算法的收敛。这样既能保证搜索速度,又能克服成熟前收敛,保证了每次搜索都能搜索到满意解从而使算法具有更强的稳定性。文中的参数 C_1, G, C_2, M 和 N 可经学习训练获得。文中取 $C_1 = 5, M = 20, G = 5, C_2 = 5, N = 15$ 。

4 实验结果与分析

为了检验本算法的效果,用文中提出的基于混沌遗传算法的二维最大熵算法(以下简称为A算法)和基于传统遗传算法的二维最大熵算法(以下简称为B算法)对lena图像,circuit图像和淋巴瘤病理图像进行了实验比较。当文中算法和基于传统遗传算法的二维最大熵算法中各取最大进化代数为10时,分割效果如图(1)~图(6)所示。实验60次,得出如表1所示的结果。其中,文中算法中设置种群规模为30。参照文献[8],基于传统遗传算法的二维最大熵算法中,采用二进制编码,同时设置种群规模为30,交叉概率 $P_m = 0.75$,变异概率 $P_c = 0.02$ 。从表1结果可看出,在相同的种群规模和相同的最大进化代数下,文中算法分割效果明显好于基于传统遗传算法的二维最大熵算法,同时,两者具有相同的时间复杂度。虽然文中算法的执行时间略长,但是随着最大进化代数的增加,两者的执行时间趋于相等甚至最后文中算法的执行时间更短。另外,从表1还可以看出,要达到相同的分割效果,文中算法所需时间更短。因此,文中算法优于基于传统遗传算法的二维最大熵分割法。

文中算法中提出了用混沌操作算子来代替传统遗传算法中的交叉操作算子同时也采用了新型的变异算子。混沌遗传算法是混沌思想与遗传算法思想的结合,比传统遗传算法具有更好的群体多样性、更强的全局寻优能力。文中将混沌遗传算法与二维最大熵图像分割算法结合,应用于图像分割,对比于基于传统遗传算法的二维最大熵算法,文中算法具有更强的稳定性,更快的执行速度,分割效果好。

表 1 基于混沌遗传算法和传统遗传算法的二维最大熵算法结果比较

最大进化代数	算法	Lena 图像		Circuit 图像	
		平均时间 (ms)	总熵平均值	平均时间 (ms)	总熵平均值
10	A	1128	14.9229	477	13.7145
	B	560	14.9161	346	13.7133
15	A	1270	14.9232	545	13.7146
	B	796	14.9163	500	13.7135
20	A	1347	14.9234	630	13.7147
	B	1015	14.9166	625	13.7136
30	A	1597	14.9235	778	13.7148
	B	1406	14.9167	930	13.7137



图 1 lena 原图



图 2 lena A 算法分割结果



图 3 lena B 算法分割结果

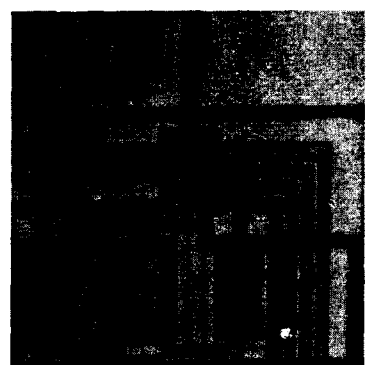


图 4 circuit 原图



图 5 circuit 的 A 算法分割结果

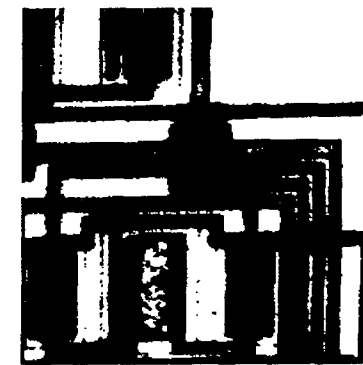


图 6 circuit 的 B 算法分割结果

说明:文中的试验环境为:赛扬 2.0,内存 512M, Windows 2000 平台, Visual C++ 6.0 编译运行。

参考文献:

- [1] Potts J C, Yeri D G, Surya B Y. The development and evolution of an improved genetic algorithm based on migration and artificial selection[J]. IEEE Transaction on SMC, 1994, 24 (1):73-86.
- [2] 李 兵,蒋慰孙.混沌优化方法及应用[J].控制理论及应用,1997,14(4):613-615.
- [3] Abutaleb A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimension entropy[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989(47):22-32.
- [4] 夏良正.数字图像处理[M].南京:东南大学出版社,1999:223-228.
- [5] 张 彤.变尺度混沌优化方法及其应用[J].控制与决策, 1999,14(3):285-288.
- [6] 金 聪.利用进化规划和逐步二次规划实现前馈神经网络的结构优化[J].系统工程理论与实践,2003,14(3):106-110.
- [7] 易尚潭.改进的混沌遗传算法[J].长沙航空职业技术学院学报,2004,4(3):35-37.
- [8] 陈 果,左洪福.图像分割的二维最大熵遗传算法[J].计算机辅助设计与图像学报,2002,14(6):530-534.