

# 基于改进粒子群算法的图像阈值分割方法

章 慧<sup>1</sup> 龚声蓉<sup>2</sup> 严云洋<sup>1</sup>

(淮阴工学院计算机工程学院 淮安 223003)<sup>1</sup> (苏州大学计算机科学与技术学院 苏州 215006)<sup>2</sup>

**摘要** 针对图像提取问题,最优阈值选取是否合理对图像分割效果至关重要。在处理不同种类图像区域时,粒子群算法(PSO)由于早熟现象难以准确计算最优分割阈值,因此导致图像分割准确率低。为了提高图像分割准确率且准确地提取出图像目标,提出一种基于混沌粒子群算法(CPSO)的图像阈值分割方法。受益于混沌运行的遍历性、对初始条件的敏感性等优点,CPSO很好地解决了 PSO 的粒子群过早聚集和陷入局部最优等难题,加快了全局搜索最优解的能力。采用具体图像对 CPSO 算法图像分割性能进行仿真实验,结果表明,相比于其它图像分割算法,CPSO 不仅加快了运算速度,提高了图像分割效率,而且提高了图像分割准确率,非常适合于图像实时分割处理。

**关键词** 图像分割,粒子群算法,阈值分割

**中图法分类号** TP391 **文献标识码** A

## Image Threshold Segmentation Method Based on Improved Particle Swarm Optimization

ZHANG Hui<sup>1</sup> GONG Sheng-rong<sup>2</sup> YAN Yun-yang<sup>1</sup>

(School of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223003, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science & Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Aiming at image extraction problem, optimal threshold selection is key for image segmentation results. In processing different kinds of image region, because of particle swarm optimization algorithm (PSO)'s premature phenomenon, it is difficult to accurately calculate the optimal segmentation threshold image segmentation, and accuracy rate is low. In order to improve the segmentation accuracy and accurate extraction of the image target, this paper proposed a image threshold segmentation methods based on chaos particle swarm optimization algorithm(CPSO). Benefit from chaotic operation of ergodicity, sensitivity to initial conditions and other advantages, CPSO improves particle swarm premature aggregation and can not be trapped in a local optimum problem, accelerates the overall optimal solution search ability. The CPSO image segmentation performance is best by simulation experiment, and the experimental results show that, compared with other image segmentation algorithm, CPSO not only accelerates the speed of operation, improves the efficiency of image segmentation, but also improves the segmentation accuracy, and it is very suitable for real-time image segmentation.

**Keywords** Image segmentation, PSO algorithm, Threshold segmentation

## 1 引言

图像分割是数学图像处理关键的环节之一,其目的是将一幅图像分成若干子集,以便从中提取出感兴趣区域,为后续的分类和识别提供了依据。因此,图像分割一直是图像技术研究的热点和焦点<sup>[1]</sup>。

当前图像分割方法主要包括阈值法、区域跟踪法和边缘检测法等,在分割方法中,阈值法由于简单、性能稳定最受关注,成为使用最为广泛的算法<sup>[2]</sup>。在阈值分割算法中,如何选择一个最优阈值是最为关键的步骤。传统阈值分割算法采用穷举搜索方法寻找最优阈值,计算量大、耗时长、效率低,尤其对复杂图像进行多阈值分割时,计算量呈指数级增长,难以用

于实时处理<sup>[3]</sup>。近年来,一些学者提出采用启发式算法对最优阈值进行求解,出现了基于遗传算法(Genetic Algorithm, GA)、粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)、蚁群算法(Ant Colony Algorithm, ACA)、模拟退火算法(Simulated Annealing Algorithm, SA)以及它们组合算法的图像阈值分割方法<sup>[4-8]</sup>。受混沌理论的启发而提出的混沌粒子群算法(Chaotic Particle Swarm Optimization, CPSO)由基本粒子群算法发展而来。其利用混沌搜索的随机性、遍历性等特点,对粒子群中部分粒子进行微小扰动,易于实现,全局搜索能力更强,是一种最新的智能寻优算法<sup>[9]</sup>。

为提高图像阈值的分割效率和分割精度,提出一种基于 CPSO 的图像阈值分割方法,通过采用 CPSO 对图像分割的

到稿日期:2011-11-16 返修日期:2012-04-27 本文受国家自然科学基金(60973113),淮安市工业科技支撑项目(HAG2010069)资助。

章 慧(1970—),女,硕士,副教授,主要研究方向为计算机网络、模式识别与人工智能,E-mail:baobaomami@sina.com;龚声蓉(1966—),男,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为图像与视频处理、信息隐蔽、智能信息处理等;严云洋(1967—),男,博士,教授,主要研究方向为模式识别、数字图像处理。

最优阈值进行选择,并分别采用 GA、PSO 进行图像阈值分割对比实验。实验结果表明,CPSO 算法具有更高的求解效率和优秀的全局搜索能力,保持了粒子的多样性,有效地避免了陷入局部最优解,获得了更理想的分割效果。

## 2 图像阈值分割原理

图像阈值分割是将待分割图像看作目标和背景两个区域,选取一个最优阈值,通过该阈值可以将图像中每一个像素点归属于一类区域,从而获得一个二值图像。设一幅灰度图像由单峰灰度分布的目标和背景组成,采用单阈值进行图像分割,那么该图像的分割方法如下。

设图像  $f(x,y)$  共有  $L$  级灰度,那么该图像的灰度取值范围为  $[0,L-1]$ 。通过一定方法  $f(x,y)$  找到一个合适的灰度值作为阈值  $T(0,L-1)$ ,将该阈值  $T$  与图像中每个像素的灰度值进行比较,如果像素的灰度值比阈值  $T$  大,那么大于阈值的像素归属于一类,灰度值小于阈值  $T$  的像素归属于另一类,灰度值等于阈值  $T$  的像素则可归属于任意一类。通过这样的分割方法,分割后的图像  $g(x,y)$  描述为:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) \geq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

目前,对于一幅图像一般采用多个阈值对图像进行分割,而单阈值分割是多阈值分割的一种特殊形式<sup>[10]</sup>。

## 3 最大类间方差的图像分割算法

1979年,日本人大津展之等人提出最大类间方差法(Otsu),即如果图像两部分的方差值越大,那么图像的两部分差别越大,最优阈值将使背景和背景目标两类数据间的方差最大。下面以单阈值为例对其过程进行描述。

设一幅图像的像素数为  $n$ ,灰度级和邻域的平均灰度级均为  $L$ ,灰度范围为  $[0,L-1]$ ,对图像进行归一化直方图,则有概率:

$$P_i = \frac{n_i}{n}, \sum_{i=1}^{L-1} p_i = 1 \quad (2)$$

采用阈值  $T$  将图像分割为  $C_0 = (0,1,\dots,t)$  和  $C_1 = (t+1,t+2,\dots,L-1)$  两类,那么  $C_0$  和  $C_1$  出现的概率为:

$$\omega_0 = p_r(C_0) = \sum_{i=0}^t p_i = \omega(t) \quad (3)$$

$$\omega_1 = p_r(C_1) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - \omega(t) \quad (4)$$

因此  $C_0$  和  $C_1$  的均值为:

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t i \frac{p_i}{\omega_0} = \frac{\mu(t)}{\omega(t)} \quad (5)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \frac{p_i}{\omega_1} = \frac{\mu_T - \mu(t)}{1 - \omega(t)} \quad (6)$$

式中,  $\mu(t) = \sum_{i=0}^t i p_i$ ,  $\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i$ 。

图像的像素类间方差为:

$$\sigma_B^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (7)$$

选择图像最佳分割阈值  $Th = Th^*$ ,保证图像按照该阈值分为  $C_0$  和  $C_1$  两类后满足如下条件:

$$\eta^1_{Th^*} = \max \left\{ \frac{\sigma_B^2}{\sigma_w^2} \right\} \quad (8)$$

对于比较复杂的图像,单阈值分割效果不理想,Otsu 算法可以推广双阈值或多阈值,从而改善复杂图像的分割效果。

大多数情况下,最大类间方差算法可以获得比较满意的分割效果,但是通过遍历全部灰度级来得到最佳分割阈值,计算量大,当分割阈值数增加时,计算复杂度增加,限制了该算法的应用范围。为了提高复杂图像分割的效率,本文采用混沌粒子群算法来寻找最优分割阈值。首先随机初始化每个粒子的位置;然后以最大类间方差比为适应度函数对粒子优劣进行评价,运用混沌粒子群算法寻求最优阈值;最后以搜索到的阈值进行图像分割。

## 4 CPSO 的最大类间方差图像分割

### 4.1 混沌粒子算法

粒子群算法(PSO)是一种群智能算法。在粒子群算法中,每一个粒子代表一个可行解,且每一个粒子均有一个初始位置和速度,粒子群在解空间进行搜索和飞行找到最优解<sup>[11]</sup>。设粒子  $i$  的位置和速度分别定义为  $X_i(t)$  和  $V_i(t)$ ,在每一次迭代中,粒子的自身最优解为  $p_{best}$ ,群体最优解为  $g_{best}$ ,且不断更新自己的速度和位置,具体更新公式为:

$$V_{ik}(t+1) = \omega V_{ik}(t) + c_1 rand_1 (P_{ik}(t) - X_{ik}(t)) + c_2 rand_2 (P_{gk}(t) - X_{ik}(t)) \quad (9)$$

$$X_{ik}(t+1) = X_{ik}(t) + V_{ik}(t+1) \quad (10)$$

式中,  $\omega$  表示粒子的惯性权重;  $c_1$ 、 $c_2$  表示加速因子数,  $rand_1$  和  $rand_2$  为  $[0,1]$  的随机数。

在粒子群算法中,当某个粒子找到一个局部最优解时,其它粒子均会快速聚集到其附近,导致粒子群出现收敛过早,陷入局部最优值。为弥补粒子群算法的缺陷,采用混沌机制对其进行改进。

混沌(chaotic)是一种行为复杂且与随机相似的非线性系统,混沌运动具有遍历性、随机性、对初始条件的敏感性等特点。因此本文在标准粒子群优化算法中引入混沌思想,改善种群的多样性、粒子搜索能力和粒子群摆脱局部最优值的能力,从而提高标准粒子群优化算法的收敛速度和寻优效率。混沌粒子群算法的基本思想为:在每次迭代过程中,对  $g_{best}$  进行混沌扰动,并将其作为粒子更新的位置,防止粒子位置趋同,使其在全局最优解的周围进行局部搜索。

Logistic 映射式表示为:

$$x_{n+1} = \mu x_n (1 - x_n), i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

式中,  $\mu$  为控制参量;当  $\mu = 4$  时,该系统完全处于混沌状态。

### 4.2 CPSO 的最大类间方差图像分割过程

(1)采用混沌理论产生初始群体。在阈值的搜索范围内,采用混沌序列初始化粒子的位置  $x_i$ ,并将其作为  $i$  的历史最优位置  $p_{best}$ ,将粒子群中最大的适应度值作为群体的全局最优位置  $g_{best}$ 。

(2)将式(8)作为粒子群的适应度函数,并计算每一个粒子的适应度值。

(3)将每个粒子的适应度值与  $p_{best}$  和  $g_{best}$  比较,如果其优于  $p_{best}$  和  $g_{best}$ ,那么就采用该粒子的适应度值代替  $p_{best}$  和  $g_{best}$ 。

(4)采用式(9)和式(10)对每一个粒子位置和速度进行更新。

(5)对部分较优粒子位置进行混沌优化,将  $g_{best}(i) (i = 1, 2, \dots, m)$ ,映射到 Logistic 方程式(11)的定义域内,然后进行

迭代,产生一系统混沌变量,将共逆映射返回到原解空间,得到原解空间每一个可行解  $g_{best}^M = (g_{best}^M(1), g_{best}^M(2), \dots)$ , 并对其适应值进行计算,从而得到更优的可行解  $g_{best}$ 。

(6)  $g_{best}$  代替任一粒子位置。

(7) 对算法终止条件进行判断,如果其满足,则停止搜索并输入最优阈值,并根据该阈值对图像进行分割。否则返回到步骤(3)继续搜索。

## 5 仿真实验

为了检测混沌粒子群算法在图像分割的有效性,采用一幅 256 灰度级图像进行仿真实验,其分辨率为  $1600 \times 1200$ , 具体如图 1 所示,其二维灰度直方图如图 2 所示。仿真实验硬件环境为 Intel Pentium4 双核 CPU 3.0GHz, 2G 内存,软件环境为 Windows XP, 编程语言为 VC++。对比模型遗传算法(GA)和标准粒子群算法。



图 1 原始图像

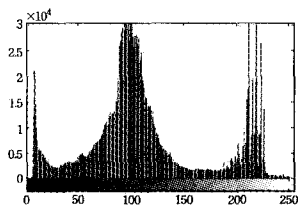


图 2 二维灰度直方图

### 5.1 实验结果与分析

#### 5.1.1 图像分割效果比较

采用混沌粒子群算法、遗传算法和标准粒子群算法对图像进行分割,它们得到的图像分割效果分别如图 3—图 5 所示。由对比结果可知,遗传算法分割效果最差,目标和背景的分度不高,有大量错分现象;标准粒子群算法效果较理想,可以较好地区分目标和背景,混沌粒子群算法分割效果最优,分割更准确。



图 3 遗传算法的图像分割结果



图 4 标准粒子群算法的图像分割结果



图 5 混沌粒子群算法的图像分割结果

### 5.2 找到最优阈值的平均迭代次数比较

采用混沌粒子群算法、遗传算法和标准粒子群算法找到最优阈值的平均迭代次数如图 6 所示。从图 6 可知,标准粒子群算法最优解的平均代数为 30,混沌粒子群算法最优解的平均代数为 15,均远远快于基于穷举搜索算法的遗传算法的 100 代,这主要是因为粒子群算法采用启发式群智能搜索方式,并行性要优于遗传算法,从而提高了搜索效率。

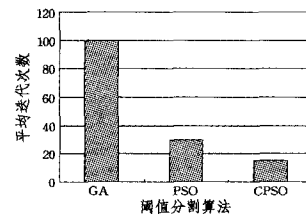


图 6 几种算法找到最优阈值平均迭代次数

### 5.3 算法的整体性能比较

采用混沌粒子群算法、最大类间方差法(Otsu)、遗传算法和标准粒子群算法对 100 幅不同的图像进行分割,它们的平均运行结果如表 1 所列。从表 1 可知,Otsu 算法寻优准确率最高,主要是由于采用穷举法进行搜索,同时其计算量最大,耗时最长,图像分割效果最低,适应性不强。所有启发式算法运行开销均比 Otsu 算法要小,但是遗传算法由于对每一幅图像都要进行选择、交叉和变异以及编码、解码操作,运算开销最大,难以找到最优分割阈值,且十分容易陷入局部最优,因此寻优准确率最低。标准粒子群算法容易实现,控制参数少,分割效率要优于遗传算法,但同样容易陷入局部最优解,全局搜索能力较差。混沌粒子群算法采用混沌机制对标准粒子群算法进行改进,提高了群体多样性,粒子不易聚集,很好地防止了局部最优结果的出现,从而提高了群体的全局搜索能力,能够获得更优的分割效果。

表 1 4 种算法对 100 幅图像进行分割的效果对比

算法	总图像数 (幅)	平均耗时 (ms)	寻得最优解平均耗时 (ms)	寻得最优解的平均进化代数	寻得最优解的次数	寻优准确率 (%)
CPSO	100	480	200	18	98	98
PSO	100	590	300	25	78	78
GA	100	2630	2450	120	25	25
Otsu	100	10005	9850	—	100	100

**结束语** 针对传统阈值分割算法计算量大、分割效率低和标准粒子群算法易陷入局部最优等难题,本文将混沌粒子群算法和传统阈值分割算法相结合,采用混沌粒子群算法对阈值进行优化,并将其应用于图像阈值分割领域。与遗传算法、标准粒子群算法及传统阈值分割算法进行仿真对比实验,结果表明,基于混沌粒子群算法的图像分割效果要优于对比

(下转第 301 页)

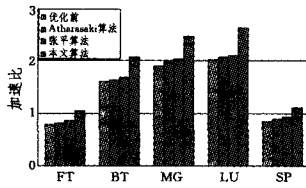


图 8 处理器个数为 16 时的加速比

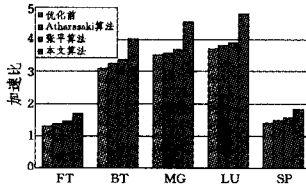


图 9 处理器个数为 64 时的加速比

**结束语** 本文分析了现有通信优化算法无法使 MPI 自动并行化编译器生成理想加速比的消息传递程序问题,从 mpi\_isend/mpi\_irecv/mpi\_wait 行为角度,提出了一种基于循环变换的通信优化算法。该算法根据给出的过程间副作用集合和基于 mpi\_wait/mpi\_irecv 移动的重排序变换规则,有序地采用重排序变换和循环分布,尽可能安全地扩大并行中间代码里通信与计算的重叠窗口,使由 MPI 自动并行化编译器生成的消息传递代码中有更多计算重叠通信。实验结果表明,本文算法能够隐藏更多的点到点非阻塞通信开销,并且优化后消息传递程序的加速比有了明显提升,从而适合应用于机群系统的 MPI 自动并行化编译。随着主从异构体系结构系统的出现,我们以后的工作是研究 MPI+OpenMP+SIMD 混合自动并行化编译中的通信优化问题,从而更好地发挥新一代高性能并行计算机的性能。

### 参 考 文 献

[1] Hall M, Padua D, et al. Compiler research: the next 50 years[J]. Communication of the ACM, 2009, 52(2): 60-67

[2] Amarasinghe S P, Lam M S. Communication optimization and code generation for distributed memory machines[C]// Proceedings of the ACM SIGPLAN 1993 Conference on Programming Language Design and Implementation. New York, NY, USA: ACM, 1993, 28(6): 126-138

[3] Ferner C. Revisiting communication code generation algorithms for message-passing systems[J]. International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, 2006, 26(5): 323-344

[4] 董春丽, 赵荣彩, 等. 基于线性不等式的数据划分方法的优化[J]. 计算机应用, 2007, 27(5): 1251-1253

[5] 刘磊, 赵荣彩, 等. 基于线性不等式消元实现的通信优化[J]. 计算机工程, 2008, 34(7): 59-63

[6] 孙彤, 李三立, 等. 并行化编译中的一种集成优化方法[J]. 软件学报, 1996, 7(12): 705-713

[7] Martin P J. Suppressing independent loops in packing/unpacking loop nests to reduce message size for message-passing code[D]. Wilmington NC, USA: University of North Carolina Wilmington, 2010

[8] 张平. 并行化编译器中并行程序自动并行化和性能优化技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2006

[9] Athanasaki M, Sotiropoulos A, Tsoukalas G, et al. Minimizing completing time for loop tiling with computation and communication overlapping[C]// Proceedings of the 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2001

[10] 都志辉. 高性能计算并行编程技术-MPI 并行程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001

[11] Rauber T. Message-Passing Programming[M]. Springer, 2010

[12] Ferner C S. The Paraguin Compiler: Message-passing Code Generation Using SUIF[C]// Proceedings of the IEEE Southeast-Con 2002. Columbia SC: ETATS-UNIS, 2002: 1-6

(上接第 291 页)

算法,且在搜索精度、时间开销方面其也要强于对比算法,在实际应用中具有高效性和一定应用价值,在图像处理领域将有着更广泛的应用前景。

### 参 考 文 献

[1] 胡欣, 唐硕. 一种基于灰度级连通性的红外图像分割方法[J]. 计算机科学, 2007, 34(7): 238-240

[2] 郝颖明, 朱枫. 2 维 Otsu 自适应阈值的快速算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(4): 484-488

[3] 刘京南, 陈从颜, 余玲玲, 等. 一种快速二维熵阈值分割算法[J]. 计算机应用研究, 2002, 19(1): 67-70

[4] 张超, 张家树, 贾东立. 基于混沌遗传算法的图像阈值分割[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(2): 45-47

[5] 王春柏, 赵宝军, 何佩琨. 基于免疫遗传算法的自适应图像分割方法[J]. 红外与激光, 2004, 33(2): 178-181

[6] 朱峰, 宋余庆, 金华, 等. 改良遗传算法在图像多阈值分割中的应用[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2003, 24(6): 66-69

[7] 赵娜, 王希常, 刘江. 自适应蚁群算法优化红外图像分割[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(11): 4375-4377

[8] 郭娟, 杨为民. 基于微粒群算法的二维最大熵图像分割方法[J]. 计算机仿真, 2005, 22(11): 94-97

[9] 孟红记, 郑鹏, 梅国晖, 等. 基于混沌序列的粒子群优化算法[J]. 控制与决策, 2006, 21(3): 263-266

[10] 王文渊, 王芳梅. 改进的最大熵算法在图像分割中的应用[J]. 计算机仿真, 2010, 28(8): 291-294

[11] 李太白. 基于混沌粒子群的 SVM 参数优化算法[J]. 重庆文理学院学报: 自然科学版, 2011, 30(4): 81-84