

基于二维熵的人工鱼群材料图像分割方法

丁贤云, 朱煜

(华东理工大学信息科学与工程学院, 上海 200237)

摘要: 阈值法是图像分割中的重要方法,并在图像处理中得到了广泛的应用。针对电子扫描显微镜(SEM)摄取的纤维材料图像的自身特性,在预处理的基础上,提出了一种基于二维灰度直方图的人工鱼群图像分割方法。二维直方图的阈值的选取,是一个求全局最优的优化问题,本文将人工鱼群的算法应用于图像分割中,利用人工鱼群算法寻求二维熵的最优值,在实验中,人工鱼群算法收敛速度快,结果稳定,取得了理想的效果。

关键词: SEM 材料; 图像分割; 二维熵; 人工鱼群

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Segmentation for sem image based on two-dimensional entropy and artificial fish swarm algorithm

DING Xian-yun, ZHU Yu

(School of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: Thresholding is an important method of image segmentation and is extensively used in image processing for many applications. The fibrous material image captured from scanning electronic microscopy (SEM) shows the porosity surface structure characters of the material. To some extent, quantity analysis of material image is necessary for material study. In the paper, a method of image segmentation by artificial fish swarm algorithm based on two-dimensional gray histogram is presented after pretreatment. According to the maximum 2D entropy principle, the optimal combination of the parameters is searched, and the optimal threshold is determined by artificial fish swarm algorithm. Experimental results show that the proposed method gives better performance, and has a quick convergence rate.

Key words: SEM material image; image segmentation; two-dimensional entropy; artificial fish swarm algorithm

1 引言

电子扫描显微镜(scanning electronic microscopy, SEM)获得的纤维材料表面结构图像中,孔的结构参数对材料特性分析非常重要。计算机图像处理方法是表面结构定量分析的有效方法之一^[1-2]。在对图像的分析 and 处理中,通常需要将所关心的目标从图像背景中提取出来,这种从图像中将某个特定区域与其他部分进行分离并提取出来的处理,称为图像分割。阈值法是一种广泛使用和非常有效的图像分割方法。它利用图像中目标与背景在灰度上存在差异特性,通过选取阈值,把目标从背景中分离出来。因此,阈值法分割图像关键是选取合适阈

值^[3-4]。

在阈值法中有诸多方法,如类间方差最大法、最小误差法、最大熵法等。其中,最大熵法对不同信噪比和不同大小目标均能产生较好的图像分割效果,是一种有很高实用价值的阈值选取方法。本文所处理的显微纤维材料图像电噪声很大,因此将二维灰度直方图的最大熵法作为最优阈值的目标函数^[5-8]。该方法不仅充分利用了图像像素点的信

基金项目: 国家自然科学基金(No. 50803016); 华东理工大学青年骨干教师项目(No. 0156101)资助。

作者简介: 丁贤云(1984-),男,硕士,研究方向为数字图像处理与应用,数字信息处理。E-mail: whiteyundd@gmail.com

收稿日期: 2009-08-09; **修订日期:** 2009-10-18

息,而且考虑到了像素点与其邻域的空间相关信息,具有较好的抗噪性,适合低信噪比图像的分割。二维直方图所带来的计算量很大,鉴于此,借鉴自动控制领域的人工鱼群算法^[9-10],结合其快速有效的集群性优势,将其运用到图像分割中,成功地实现了图像快速分割。

2 图像预处理

原始图像如图 1 所示,其中不同半径的孔为要提取的目标。观察可知,原始图像孔的边缘部分比较模糊,且边缘灰度不均,在采用如 Canny 算子等边缘提取方法时,均出现双边缘情况,细节丢失严重。为避免在分割过程中出现双边缘的情况,先对图像进行了预处理,增强目标细节后再采用阈值分割方法提取目标。

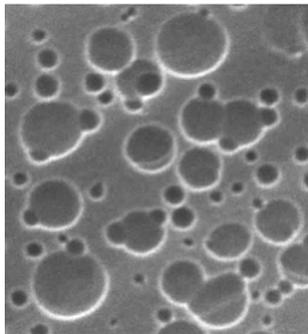


图 1 原始图像
Fig. 1 original image

在预处理过程中,首先对图像进行了均值滤波和边缘细化处理,然后,再对经过细化处理后的图像进行锐化处理,使图像的边缘细节信息更为突出,被模糊了的细节信息得到显著增强。预处理后的图像如图 2 所示。

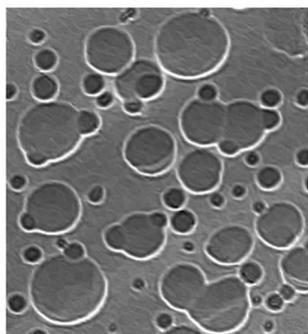


图 2 预处理后的图像
Fig. 2 preprocessed image

3 基于二维熵的分割方法

对于一幅 $M \times N$ 的数字图像,用 $f(x, y)$ 表示图像上坐标为 (x, y) 的像素点的灰度值, $g(x, y)$ 表示图像上坐标为 (x, y) 的像素点的 $k \times k$ 邻域平均灰度值, $g(x, y)$ 的定义如下:

$$g(x, y) = \frac{1}{k^2} \sum_{m=-k/2}^{k/2} \sum_{n=-k/2}^{k/2} f(x+m, y+n) \quad (1)$$

其中, $f(x, y), g(x, y)$ 的范围为 $\{0, 1, \dots, L-1\}$, 令:

$$p(i, j) = \frac{n_{i,j}}{M \times N} \quad (2)$$

其中, $n_{i,j}$ 是图像中 $f(x, y)$ 为 $i, g(x, y)$ 为 j 的像素个数。如图 3 所示, 阈值 (s, t) 将图像分为目标区 B 和背景 A, 还有 C 和 D 表示边缘和噪声。所以二维熵真正包含目标和背景的最大信息量, 同时能够有效保留住细节部分。

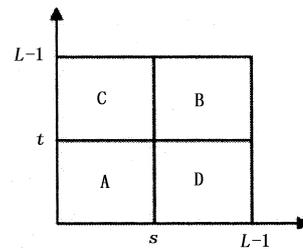


图 3 图像二维平面直方图

Fig. 3 two-dimensional histogram

使用结合熵的定义, 得到图像的二维熵和阈值向量 (s, t) 的计算关系。设阈值向量为 (s, t) , 分别得到 A 区域、B 区域的熵:

$$H(A) = \lg(P_A) + \frac{H_A}{P_A} \quad (3)$$

$$H(B) = \lg(P_B) + \frac{H_B}{P_B} \quad (4)$$

其中:

$$P_A = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{ij} \quad (5)$$

$$H_A(s, t) = - \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{ij} \lg p_{ij} \quad (6)$$

$$P_B = \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} p_{ij} \quad (7)$$

$$H_B(s, t) = - \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} p_{ij} \lg p_{ij} \quad (8)$$

这样得到图像的总熵为:

$$H(s, t) = H_A(s, t) + H_B(s, t) \quad (9)$$

根据最大熵原则, 阈值 (s, t) 就是使 $H(s, t)$ 最大的值:

$$(s, t) = \text{Arg} \{ \max(H(s, t)) \}$$

4 基于人工鱼群算法的阈值选择算法

对于阈值量 (s, t) 的求取, 运用简单推广的穷举搜索法在理论上能够得到结果, 但是要经过至少 L^2 次熵运算。本文运用人工鱼群算法进行阈值寻优, 这种算法使用简单而快速, 下面对其进行具体介绍。

人工鱼群算法是一种基于模拟鱼群行为的优化算法。在一片水域中, 鱼往往能自行或尾随其他鱼

找到营养物质多的地方,因而鱼生存数目最多的地方一般就是本水域中营养物质最多的地方,其数学模型描述如下:

假设在一个 n 维的目标搜索空间中,有 N 条组成一个群体的人工鱼,每条人工鱼个体的状态可表示为向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 其中 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为欲寻优的变量;人工鱼当前所在位置的食物浓度表示为 $Y = f(X)$, 其中 $Y = f(X)$ 为目标函数;人工鱼个体之间的距离表示为 $d_{ij} = \|X_i - X_j\|$; $visual$ 表示人工鱼的感知范围, $step$ 为人工鱼移动的步长, δ_{max} 为最大拥挤度因子; $trynumber$ 表示人工鱼每次觅食最大的试探次数。

4.1 行为描述

4.1.1 随机行为

人工鱼在其感知范围内随机移动。

4.1.2 觅食行为

人工鱼在其感知范围内往食物多的方向移动的一种行为。

4.1.3 聚群行为

如果临近伙伴的中心有较多的食物并且不太拥挤,则人工鱼朝伙伴的中心位置方向前进一步,否则执行觅食行为。

4.1.4 追尾行为

当人工鱼的周围具有较高的食物浓度并且其周围不太拥挤,则其他人工鱼快速向其靠拢。

4.1.5 公告板

公告板用来记录最优人工鱼个体的状态。人工鱼在执行完一次迭代后将自身当前状态与公告板中记录的状态进行比较,如果优于公告板中的状态则用自身状态更新公告板中的状态。当整个算法的迭代结束后,公告板的值,即为我们所求的最优阈值。

4.2 行为选择

对每条人工鱼对当前所处的环境进行评价,模拟执行聚群、追尾等行为,评价行动后的值,选择其中的最大者来实际执行。

5 结论

5.1 实验结果

从前面的论述中我们看到,把人工鱼群算法运用到具体的 SEM 材料图像分割中,关键问题就是解决表示和适应度函数的选取。在这里我们结合二维熵的算法,把人工鱼 X 设为 (s, t) , 适应度函数(食物浓度) Y 设为 $H(s, t)$, 其中的解空间即是图像中像素灰度的分布空间 $(0 \sim 255, 0 \sim 255)$ 。

以下为具体算法流程:

(1) 求解图像的二维直方图。

(2) 确定适应度函数,用二维熵目标函数 $H(s, t)$ 作为适应度函数(食物浓度)。

(3) 随机生成 N 条人工鱼 (s_i, t_i) , 其中 $(0 < s_i < 255, 0 < t_i < 255, i = 1, \dots, N)$, 形成初始鱼群。如图 4 所示,设有单条人工鱼 F , 坐标为 (s, t) , 其可视域 $visual$, 在其可视域内的可以感知其他人工鱼的信息;假设在其半径为 $visual$ 的圆内有 m 条人工鱼,则定义 F 的拥挤度 $\delta(F) = 0.04 \times m$; 设人工鱼的最大移动步长 $step$, 每次执行时,在 $1 \sim step$ 范围内随机选择步长进行移动;人工鱼每次移动时,最多可尝试次数为 $trynumber$, 如果仍不能找到符合条件的状态,则执行随机行为。

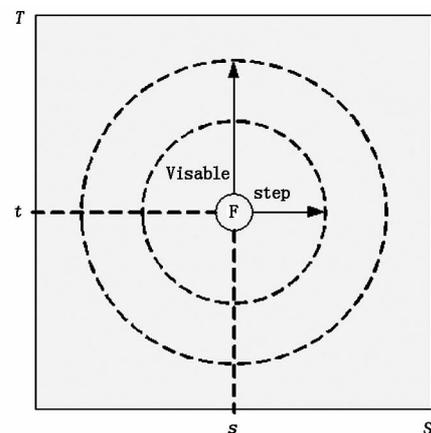


图4 人工鱼

Fig. 4 artificial fish

(4) 各个人工鱼分别执行聚群行为和追尾行为,通过比较食物浓度 $H(s, t)$ 选择最佳行为来执行,如果都不满足条件,则执行觅食行为。

如图 5 所示,人工鱼 A 的可视域内有三条人工鱼 B, C, D , 其中 O 点为 B, C, D 的中心坐标,流程如下:

a) 聚群过程

人工鱼 A 首先计算自己的食物浓度 $H(s_A, t_A)$, 并与点 O 的 $H(s_O, t_O)$ 做比较,如果 $H(s_A, t_A) < H(s_O, t_O)$ 且 $\delta(O) < \delta_{max}$, 则 A 朝 O 点方向随机移动一步(步长 $1 \sim step$), 否则聚群操作失败,转到下一步追尾操作。

b) 追尾过程

人工鱼 A 随机选择可视域内的人工鱼 B, C, D , 并计算其食物浓度 H_{rand} , 如果 $H(s_A, t_A) < H_{rand}$ 且 $\delta(rand) < \delta_{max}$, 则 A 朝该方向随机移动一步(步长 $1 \sim step$), 否则继续执行追尾操作直到尝试 $trynumber$ 次,此时执行随机操作。

c) 随机过程

人工鱼 A 随机选择移动方向, 并随机移动一步 (步长 1 ~ step)。

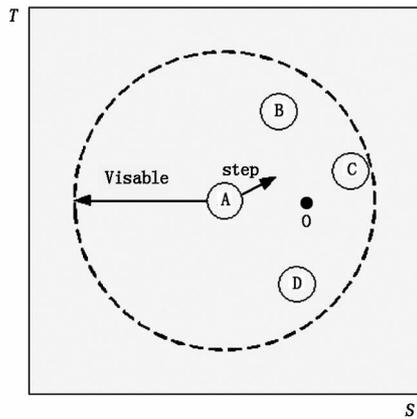


图5 人工鱼行为

Fig.5 artificial fish action

伪代码如下:

```

Fish A, B, C, D;
O = Avg(B, C, D); //求 B, C, D 的中心
If( $H_A < H_O$  &  $\delta(O) < \delta_{max}$ ) {
//如果中心的食物浓度高, 且不拥挤
 $A_{next} = A + \text{Random}(\text{Step}) \frac{O - A}{\|O - A\|}$ ; //聚群过程}
else {
while(trynum < 5)
{
if( $H_A < H_{Rand}$  &  $\delta(\text{Rand}) < \delta_{max}$ ) {
//追尾过程
 $A_{next} = A + \text{Random}(\text{Step}) \frac{\text{Rand} - A}{\|\text{Rand} - A\|}$ ; break;
}
trynum ++ ;
}
if(trynum = 5) { //随机过程
 $A_{next} = A + \text{Random}(\text{Step})$ ; }

```

(5) 人工鱼完成迭代后, 比较自身的函数值和公告板的值, 如优于公告板的值则取代之, 否则公告板的值不变。

(6) 输出最优解, 根据最优解对图像进行阈值分割。

在程序中, $N = 10$, $visual = 10$, $step = 5$, $\delta = 0.2$, $trynumber = 5$, 软件环境是 matlab7.0。如图 6、图 7 所示, 由于人工鱼群的初始状态是随机产生的, 所以在计算初期的食物浓度一般很低, 随着人工鱼的觅食行为和追尾行为, 鱼群的食物浓度向局部以及全局最优收敛; 与此同时, 人工鱼的执行聚群行为, 使

得一部分鱼离开最优区域, 再去搜索其他的区域, 从而避免陷入局部最优解。

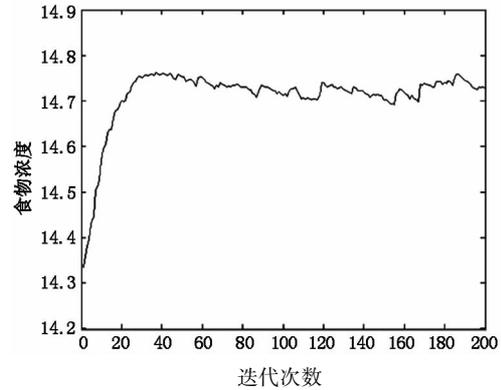


图6 Lena 图像的收敛曲线

Fig.6 Lena image curve

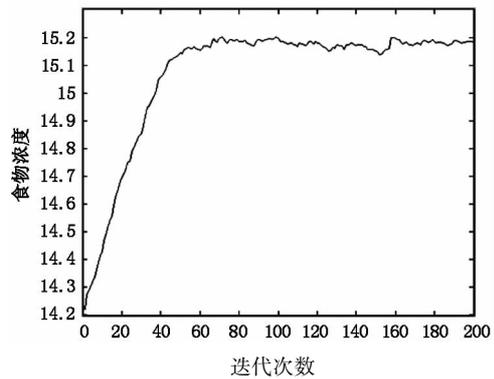


图7 本文图像的收敛曲线

Fig.7 SEM image curve

图 8 是 Lena 图像, 图 9 是 Lena 分割后的结果, 分割阈值是 (99, 95)。



图8 Lena 原图

Fig.8 Lena original image



图9 Lena 图像分割结果

Fig.9 Lena image segmentation

图10是本文材料图像分割后的结果,其分割阈值(134,131)。



图10 SEM材料图像分割结果

Fig.10 SEM image segmentation

6 结束语

对纤维材料图像的分析是计算机图像处理技术与材料领域研究的新结合点。本文在对纤维材料图像进行平滑去噪和边缘细化等预处理的基础上,采取二维最大熵法,以人工鱼群算法寻优,有效地对目标孔洞边缘进行了提取。这一工作是后续孔洞参数计算的重要前期处理过程。由于部分孔洞的边缘灰度不连续,呈弱边缘现象,导致分割后的图像部分孔洞不连续,如图10所示,这些都是需要解决的问题,将在以后的工作中对此展开更为深入的研究。

参考文献:

- [1] A A Malcolma, H Y Leong, A C Spowage, et al. Image segmentation and analysis for porosity measurement[J].

J. Mater. Process. Tech,2007,1:391-396.

- [2] 江林佳,朱煜. SEM材料图像目标区域分割[J]. 华东理工大学学报:自然科学版,2007,33(6):861-864.
- [3] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社,2001:88-96.
- [4] 朱煜,江林佳. 基于遗传模糊C-均值与概率松弛法的图像分割研究[J]. 激光与红外,2008,38(4):392-395.
- [5] 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形学学报,2002,16(4):530-534.
- [6] Pun T. A new method for gray level picture threshold using the entropy of histogram[J]. Signal Processing, 1980,2(3):223-237.
- [7] Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A new method for gray level picture threshold using the entropy of the histogram[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985,29(3):273-285.
- [8] 杨海峰,侯朝楨. 基于二维灰度直方图的蚁群图像分割[J]. 激光与红外,2005,35(8):614-617.
- [9] 李晓磊,邵之江,钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式:鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践,2002,22(11):32-38.
- [10] 李晓磊,钱积新. 基于分解协调的人工鱼群优化算法研究[J]. 电路与系统学报,2003,8(1):1-6.