

基于二维 Tsallis 交叉熵直线型 图像阈值分割方法

来 磊, 卢文科, 邓开连
(东华大学 信息学院, 上海 201620)

摘 要: Tsallis 熵具有非广延性, 其用于图像分割取得了比 Shannon 熵好的分割效果。但传统 Tsallis 熵分割主要基于点的分割, 其不足处在于忽略边界区域的信息。为消除忽略边界区域信息给图像分割带来的不足, 在二维 Tsallis 交叉熵基础上提出了二维 Tsallis 交叉熵直线型分割方法, 并将聚类小生境粒子群算法应用于最佳二维阈值的搜索当中, 最佳阈值搜索速度有了明显提高, 所得阈值较为理想。实验表明此方法取得了比传统 Tsallis 熵分割法较好的分割效果。

关键词: 粒子群算法; Tsallis 交叉熵; 二维直线; 图像分割

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)06-0105-04

New Image Thresholding Segmentation Methods Based on Two - Dimensional Tsallis Cross - Entropy Liner - Type

LAI Lei, LU Wen-ke, DENG Kai-lian

(Department of Information, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Non-extensive is a property of Tsallis entropy, its segmentation performance is superior to thresholding methods using Shannon entropy. But traditional Tsallis entropy image thresholding segmentation method is based on point segmentation, the disadvantage is to neglect the information of borders. In order to remove the disadvantage, present a two-dimensional Tsallis cross-entropy liner-type threshold segmentation method based on Tsallis cross-entropy, then the Clustering-Based Niching Particle Swarm Optimization (CBNPSO) is used to search the best two-dimensional threshold vector, experimental results show that the proposed method can give better segmentation results than traditional Tsallis entropy thresholding image segmentation method.

Key words: PSO; Tsallis cross-entropy; two-dimensional; image segmentation

0 引 言

图像分割 (Image Segmentation) 是图像处理中的关键技术之一, 其目的是将图像中的目标区域与背景区域相分离。阈值分割算法是图像分割中应用数量最多的一类算法, 其基本原理为在具有双峰值灰度分布的目标区域、背景区域图中选择合适的阈值, 以此阈值与图像灰度对比, 从而将目标区域与背景区域分离。研究人员提出了许多熵阈值分割法。文献[1]提出最大后验熵上限法, 文献[2]提出一维最大熵阈值法, 文献[3]提出了二维熵阈值法。以上基于 Shannon 熵阈值法忽略了目标区域与背景区域灰度概率分布的相关性, 因此在阈值的选择上有一定不准确。随后文献[4]提出了 Tsallis 熵, 研究人员提出了最大 Tsallis 熵阈

值法、二维 Tsallis 熵阈值最大法、最小 Tsallis 交叉熵阈值法^[5]、二维最大 Tsallis 交叉熵^[6], 以上基于 Tsallis 熵阈值法考虑了目标与背景灰度概率分布的相关性问题。二维最大 Tsallis 交叉熵阈值法, 不仅考虑到像素点的灰度信息, 还考虑到像素点的空间信息, 因此对信噪比较低的图像的分割具有较好的效果, 但它是基于点的分割, 其不足处在于忽略边界区域的信息。文献[7]在二维 Otsu 法的基础上提出了二维 Otsu 曲线阈值分割法。聚类小生境粒子群算法^[8]在解决优化问题时具有简洁性、易于实现、搜索更稳定、搜索效率高等特点。文中提出了二维 Tsallis 交叉熵直线型分割方法, 并将聚类小生境粒子群算法应用于阈值搜索当中, 实验表明不但提高了算法的分割性能, 而且提高了算法的实时性。

收稿日期: 2009-09-18; 修回日期: 2009-12-23

作者简介: 来 磊 (1983-), 男, 陕西西安人, 硕士, 研究方向为计算机视觉。

1 聚类小生境粒子群算法 (CBNPSO)

粒子群算法最早是由 Eberhart 和 Kennedy 共同提

出的^[9],其基本思想是受他们早期对许多鸟类的群体行为建模与仿真研究结果的启发。它是一个简单的算法,能够有效地优化各种函数。在 CBNPSO 中每个粒子代表着一个潜在的解。如:在一个 D 维的目标搜索空间中,每个粒子看成空间内的一个点,设群体由 m 个粒子构成, $z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iD})$ 为第 i 个粒子($i = 1, 2, \dots, m$) 的 D 维位置矢量,根据事先设定的适应值函数(与要解决的问题有关)计算 z_i 当前的适应值,即可衡量粒子位置的优劣; $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$ 为粒子 i 的飞行速度,即粒子的移动距离; $p_{ibest} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$ 为粒子目前为止搜索到的最优位置; $p_{gbest} = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD})$ 为整个粒子群目前为止搜索到的最优位置。在每次迭代中,粒子根据以下公式更新速度和位置:

$$v_{id}^{k+1} = \omega v_{id}^k + c_1 r_1 (p_{id} - z_{id}^k) + c_2 r_2 (p_{gd} - z_{id}^k) \quad (1)$$

$$z_{id}^{k+1} = z_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (2)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m, d = 1, 2, \dots, D, k$ 为迭代次数, r_1 和 r_2 为 $[0, 1]$ 之间的随机数,此参数用来保持群体的多样性。 ω 为惯性权重因子。 c_1, c_2 为学习因子,其使粒子具有自我总结和向群体中优秀个体学习的能力,从而向自己的历史最优值以及群体内历史最优值靠近。粒子群算法中要对速度的最大值进行限制,最大值为 v_{max} ,最小值为 v_{min} ,此值太大会导致粒子跳过最好解,太小会导致对空间搜索不充分。在 CBNPSO 中,设定粒子个数,达到一定规模的子粒子群(小生境)即一个粒子簇。通过采用一种基于密度的聚类算法,CBNPSO 算法将相互距离小于给定极值 ϕ 的粒子连接成一个子粒子群。当子粒子群的粒子个数大于所设的最小聚类簇规模 MinPts 时,就将此粒子群设为一个粒子的聚类簇。在 CBNPSO 算法的初始化阶段,算法将随机产生一个没有划分子粒子群的粒子群 D_0 。在迭代中, D_0 不断聚类出子粒子群 D_i ,其他未被任何子粒子群包括的单独粒子留在 D_0 。对 D_0 内的粒子采用群内最优搜索, D_i 子粒子群内的粒子采用全局最优搜索。

2 Tsallis 交叉熵

Shannon 熵具有广延性,一个系统分成两个子系统后,整个系统的 Shannon 熵等于两个子系统的 Shannon 熵之和,即 $S(A+B) = S(A) + S(B)$,这一特性忽略了子系统之间的相互作用。随后 Tsallis 提出了非广延性的 Tsallis 熵,即:

$$\text{令 } P = (p_1, p_2, \dots, p_n) \in \Delta_n$$

其中 $\Delta_n = \{(p_1, p_2, \dots, p_n) \mid p_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n,$

$$n \geq 2, \sum_{i=1}^n p_i = 1\}$$

$$H_n^\alpha = \frac{1}{\alpha-1} [1 - \sum_{i=1}^n p_i^\alpha] \quad (3)$$

α 为实时参数, $\alpha \neq 1$, 根据 Tsallis 熵的非广延性,两个子系统的熵之和可表示为:

$$S(A+B) = S(A) + S(B) + (1-q)S(A)S(B) \quad (4)$$

在图像处理中,考虑到目标和背景之间的信息量差异、相互关系,文献[5]给出了 Tsallis 交叉熵的定义:

两概率分布, $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ 和 $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$, 并满足 $p_i \geq 0, q_i \geq 0, \sum_i p_i = \sum_i q_i = 1$ 。则 P, Q 之间的 Tsallis 交叉熵为:

$$D_q = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \frac{(q_i/p_i)^{1-q} - 1}{q-1} + \sum_{i=1}^n q_i \cdot \frac{(p_i/q_i)^{1-q} - 1}{q-1} \quad (5)$$

Tsallis 交叉熵也具有非广延性,一个系统分成 A, B 两个子系统时,则系统总的 Tsallis 交叉熵为:

$$D_q(A+B) = D_q(A) + D_q(B) + (1-q) \cdot D_q(A) \cdot D_q(B) \quad (6)$$

3 二维 Tsallis 交叉熵直线型分割方法

一维 Tsallis 交叉熵分割方法仅仅考虑了像素点的灰度信息,没有考虑像素点的空间信息,所以当图像的信噪比降低时分割效果不理想。利用原始灰度图像各个像素的每个像素及其周围邻域构成的一个区域,各像素点的灰度值 i , 和周围邻域的均值 j 构成二维向量 (i, j) , 统计 (i, j) 的发生概率 p_{ij} , 则 p_{ij} 构成该图像点灰度-区域均值的二维直方图。 $f(x, y), 1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N$ 为大小 $M \times N$ 图像的像素点灰度值,其灰度级为 $L, g(x, y)$ 为像素 (x, y) 的周围 $K \times K$ 邻域像素的灰度均值的平滑图像。

$$g(x, y) = \frac{1}{K \times K} \sum_{m=-(K-1)/2}^{(K-1)/2} \sum_{n=-(K-1)/2}^{(K-1)/2} f(x+m, y+n) \quad (7)$$

($g(x, y)$ 取整数, K 为邻域宽度)

设 r_{ij} 为 $f(x, y)$ 中灰度级为 $i, g(x, y)$ 中灰度为 j 的像素的个数, 则 $p_{ij} = \frac{r_{ij}}{M \times N}, 0 \leq i, j \leq L-1,$

$$\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij} = 1。$$

图 1 和图 2 分别是二维直方图区域和二维直线区域。

在二维直方图中,假设 (s, t) 是一阈值向量,它将图分成四个区域 A, B, C, D 。区域 A, B 代表目标和背景, C, D 代表边界点和噪声点。在一般的二维 Tsallis

交叉熵的阈值分割法中,由于边界点和噪声占较少的数量,假设目标和背景的概率和为1,忽略了边界区域的信息,以点 (s, t) 作为阈值分割图像。在文献[7]中充分考虑到边界区域对图像分割的影响,提出了曲线阈值二维 Otsu 法,此方法从点阈值分割转变为曲线阈值分割,通过实验表明此方法在图像分割中取得了比传统二维 Otsu 法更好的分割效果。

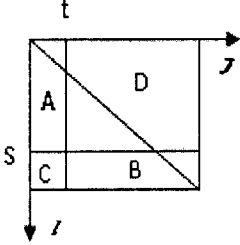


图1 二维直方图区域

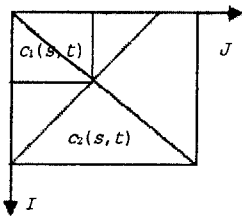


图2 二维直线区域

将曲线阈值分割方法应用到二维 Tsallis 交叉熵阈值分割法当中,假设 (s, t) 为选取的阈值点,作过 (s, t) 且垂直于对角线的直线 $r(i, j)$,将二维直方图分成两区域 $c_1(s, t)$ 、 $c_2(s, t)$,其分别代表目标区域和背景区域。则目标区域和背景区域的概率分别为:

$$p_{c1}(s, t) = \sum_{(i, j) \in c1} p_{ij} \quad (8)$$

$$p_{c2}(s, t) = \sum_{(i, j) \in c2} p_{ij} \quad (9)$$

目标区域和背景区域的均值为:

$$u_{c1}(s, t) = \frac{1}{p_{c1}(i, j) \in c1} \sum ij p_{ij} \quad (10)$$

$$u_{c2}(s, t) = \frac{1}{p_{c2}(i, j) \in c2} \sum ij p_{ij} \quad (11)$$

则定义目标区域和背景区域的二维 Tsallis 交叉熵为:

$$D_q^{c1} = \sum_{(i, j) \in c1} \left[ij p_{ij} \cdot \frac{1 - \left[\frac{ij}{u_{c1}(s, t)} \right]^q}{q - 1} + u_{c1}(s, t) \cdot p_{ij} \cdot \frac{1 - \left[\frac{u_{c1}(s, t)}{ij} \right]^q}{q - 1} \right] \quad (12)$$

$$D_q^{c2} = \sum_{(i, j) \in c2} \left[ij p_{ij} \cdot \frac{1 - \left[\frac{ij}{u_{c2}(s, t)} \right]^q}{q - 1} + u_{c2}(s, t) \cdot p_{ij} \cdot \frac{1 - \left[\frac{u_{c2}(s, t)}{ij} \right]^q}{q - 1} \right] \quad (13)$$

则图像总二维 Tsallis 交叉熵为:

$$D_q(s, t) = D_q^{c1} + D_q^{c2} + (1 - q) \cdot D_q^{c1} \cdot D_q^{c2} \quad (14)$$

则最佳阈值取为 (s^*, t^*)

$$(s^*, t^*) = \text{Arg}[\min D_q(s, t)] \quad (15)$$

4 基于聚类小生境粒子群算法(CBNPSO)的阈值搜索算法

利用 CBNPSO 搜索二维 Tsallis 交叉熵直线型熵的简要流程如下:

步骤1:设置参数,包括最小聚类簇规模 MinPts 和最小区分距离 ϕ 。随机产生生成 M 个主粒子群 D_0 , 粒子的位置在 $[0, 255]$ 之间随机产生,速度在 $\pm v_{\max}$ 之间随机产生,设置迭代次数 t_{\max} 、惯性因子 ω 。

步骤2:对主粒子群进行单认知模式的 Lbest PSO 搜索运算,使主粒子群上的粒子尽量多的分布在二维 Tsallis 交叉熵函数的峰值上。

步骤3:使用聚类算法对 D_0 聚类,生成子粒子群 D_i 。

步骤4:对每个子粒子群 D_i 进行以下操作:

① 使用 Gbest PSO 算法搜索子粒子群粒子。

② 使用聚类算法对 D_i 进行聚类划分,将 D_i 粒子群划分成多个聚类簇,并将新生成的聚类簇从 D_i 中分离出去。

③ 当 D_i 中任两粒子的距离小于 MinPts 时,将符合条件的子粒子群合并。

④ 当独立子粒子与 D_i 中任意粒子距离小于 MinPts 时,将独立子粒子归入 D_i 中。

步骤5:重复步骤4,直到达到迭代次数或结果满足要求。

步骤6:输出最优阈值 (s^*, t^*) ,分割后的图像为 $f(x, y)$:

$$f_{s, t}(x, y) = \begin{cases} 0, & i + j \leq s + t \\ L - 1, & i + j > s + t \end{cases} \quad (16)$$

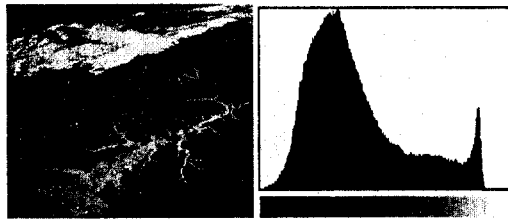
5 实验结果和分析

仿真实验在 VC++ 6.0 环境下,计算机采用奔腾 4.2.0GHz CPU、1G 内存处理器上运行。为验证算法有效性实验中分别采用最小 Tsallis 交叉熵法、二维 Tsallis 交叉熵直线型分割方法,对两幅图像进行分割,并将结果进行对比。两幅图像分别是遥感图像和细菌图像,如图3和图4所示。

6 结束语

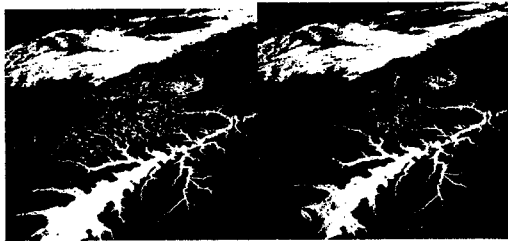
从以上实验仿真结果中看,二维 Tsallis 交叉熵直线型分割方法分割效果要略优于 Tsallis 交叉熵阈值分

割效果。二维 Tsallis 交叉熵直线型分割方法,不仅考虑边界区域的信息,还考虑目标和背景间的信息量差



遥感图像

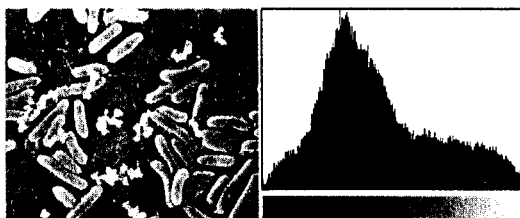
直方图



Tsallis 交叉熵法

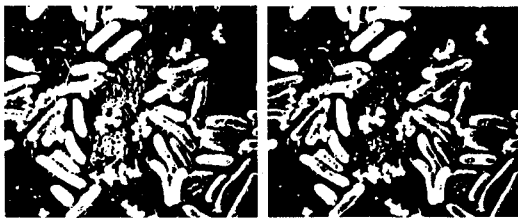
二维 Tsallis 交叉熵直线型

图 3 遥感图像分割结果



细菌图

直方图



Tsallis 交叉熵法

二维 Tsallis 交叉熵直线型

图 4 细菌图像分割结果

异,有效地实现了图像的分割。另外其具有算法简单,运行速度快的特点,可见二维 Tsallis 交叉熵直线型分割方法是一种有效的分割方法。

参考文献:

- [1] Pun T. A new method for grey - level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Signal Processing, 1980 (2):223 - 237.
- [2] Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A new method for grey - level picture thresholding using the entropy of the histogram [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985 (3):273 - 285.
- [3] Abutaleb A S. Automatic thresholding of gray - level pictures using two - dimensional entropy[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989(1):22 - 32.
- [4] Albuquerque M P, Esquef I A. Image thresholding using Tsallis entropy[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(9):1059 - 1065.
- [5] Tang Yinggan, Di Qiuyan, Cuan Xinping. Method for thresholding image segmentation based on minimum Tsallis - cross entropy[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29:1868 - 1872.
- [6] Sahoo P K, Arora G. Image thresholding using two - dimensional Tsallis - Havraa - Charvat entropy[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27:520 - 528.
- [7] Fan Jiulun, Zhao Feng. Two - Dimensional Ostu's Curve Thresholding segmentation method for gray - level image[J]. Acta Electronica Sinica, 2007(4):751 - 755.
- [8] Wang Junnian, Shen Quntai. A Clustering - Based Niching Particle Swarm Optimization[J]. Information and control, 2005(5):213 - 217.
- [9] 纪震, 廖惠连, 吴青华, 等. 粒子群算法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

(上接第 104 页)

- [5] 姚晓宇, 赵晨. Linux 内核防火墙 Netfilter 实现与应用研究[J]. 计算机工程, 2003, 29(8):112 - 116.
- [6] 余青霓, 周刚. Linux 防火墙[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [7] 王春枝, 李涛向. 基于双层特征的 P2P 流量检测[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(7):238 - 241.
- [8] 蒋海明, 张剑英, 王青青, 等. P2P 流量检测与分析[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(7):74 - 76.
- [9] Karagiannis T, Broido A, Faloutsos M, et al. Transport Layer Identification of P2P Traffic[C]//Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement. New York, USA: ACM Press, 2004.
- [10] Nicoll J R, Bateman M, Ruddle A, et al. Challenges in mea-

surement and analysis of the BitTorrent content distribution model[C]//Proc of International Postgraduate Symposium on the Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting. Liver - pool: Liverpool John Moores University, 2004.

- [11] Constantinou F, Mavrommatis P. Identifying known and unknown peer - to - peer traffic[C]//Fifth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. Cambridge, MA, USA: IEEE Xplore, 2006:93 - 102.
- [12] 周诚, 戴忠, 江林. 基于 Netfilter 技术的复合防火墙系统研究与实现[J]. 计算机测量与控制, 2007(6):790 - 791.