

doi: 10.11918/j.issn.0367-6234.2015.11.015

PCNN 文本图像分割的细菌觅食优化算法

廖艳萍, 张 鹏

(哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 150001 哈尔滨)

摘要:为解决脉冲耦合神经网络(pulse-coupled neural network, PCNN)模型参数人工凭经验和需要反复实验才能确定的难题,提出一种基于改进的PCNN模型.以最大类间方差函数作为细菌觅食算法的适应度函数,采用细菌觅食优化算法搜索最优参数的图像分割算法,避免了人工实验设定参数的盲目性.实验结果表明,该算法可以有效实现文本图像分割,并且分割效果明显优于对比算法.

关键词:细菌觅食;优化算法;PCNN;文本图像分割

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2015)11-0089-04

PCNN image segmentation method based on bacterial foraging optimization algorithm

LIAO Yanping¹, ZHANG Peng²

(College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, 150001 Harbin, China)

Abstract: To handle the difficult task of setting the relative parameters properly in the research and application of Pulse Coupled Neural Networks (PCNN), an improved PCNN algorithm is proposed. It uses the maximum between-cluster variance function as the fitness function of bacterial foraging optimization algorithm, and adopts bacterial foraging optimization algorithm to search the optimal parameters, and eliminates the trouble of manually setting the experiment parameters. Experimental results show that the proposed algorithm can effectively complete document image segmentation, and result of the segmentation is obviously better than the contrast algorithms.

Keywords: bacterial foraging; optimization algorithm; PCNN; document image segmentation

细菌觅食算法(BFA)是一种模拟人类大肠杆菌觅食行为的优化算法(BFOA)^[1],适用于优化问题的求解,目前广泛应用于图像分割^[2]、图像边缘检测^[3]等领域.

脉冲耦合神经网络 PCNN(pulse coupled neural networks)是一种新型人工神经网络,与传统意义上的人工神经网络有着根本性的差别,以更接近生物视觉机制的优越性,被广泛应用于图像处理等方面^[4].PCNN在实际应用于图像分割时需要设置多个参数,并且对于不同的情况要设置不同的参数,大大限制了PCNN的应用.文献[5]针对目前脉冲耦合神经网络神经元模型中的参数主要通过人工定义的问题,提出一种基于量子微粒群优化算法的PCNN

参数自动确定方法.文献[6-7]分别提出了基于改进的最大熵函数和改进的最大类间方差作为优化算法的适应度函数.文献[8]对Niblack法提出了改进,并将其应用于文本图像的分割.在像素判断过程中更多地考虑局部窗口方差 σ 的大小.对于方差较小的情况,认为该窗口处于平缓的背景区域,置相应像素灰度值为150,介于255和0两值之间,使分割图像呈现三值化.该改进使分割图像画面整洁度有所提高,但算法仍对字符大小敏感,且没有解决算法处理速度的问题.文献[9]设计了一种仅需两次迭代,参数设置自适应于图像统计特征的PCNN图像分割算法,避免了凭经验设定参数、多次迭代造成运行时间长的问题,但是在迭代过程中仍有参数需要人工凭经验设置.

针对以上问题,结合细菌觅食优化算法的全局搜索能力,本文提出了一种基于BFA的PCNN迭代过程中确定参数的方法,利用BFA算法在解空间中搜索PCNN迭代过程中参数的最优值,避免人工确

收稿日期: 2013-07-08.

基金项目: 国家自然科学基金(61240007); 中央高校基本科研业务费专项(HEUCF130805).

作者简介: 廖艳萍(1980—),女,讲师.

通信作者: 张 鹏, kldzp@126.com.

定参数的盲目性,实现 PCNN 迭代参数自动确定.

1 PCNN 图像三值化分割方法

1.1 PCNN 图像分割原理

简化的 PCNN 神经元结构由接收域、调制部分和脉冲发生器三部分组成,图 1 是一个 PCNN 神经元的数学模型.

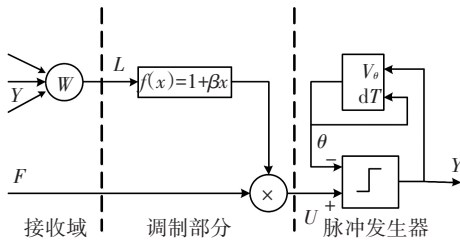


图 1 PCNN 神经元模型

由经典 PCNN 神经元模型改进得到的数学方程描述为^[10]

$$\begin{aligned} F_{ij}[n] &= I_{ij}, \\ L_{ij}(n) &= v_L \sum_{kl} W_{ijkl} Y_{kl}(n-1), \\ U_{ij}(n) &= F_{ij}(n) [1 + \beta L_{ij}(n)], \\ \theta_{ij}(n) &= \exp(-\alpha_\theta) \theta_{ij}(n-1) + V_\theta Y_{ij}(n-1). \\ Y_{ij}(n) &= \begin{cases} 1, & U_{ij}(n) \geq \theta_{ij}(n); \\ 0, & U_{ij}(n) \leq \theta_{ij}(n). \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $F_{ij}(n)$ 是第 (i,j) 神经元的 n 次反馈输入, I_{ij} 为图像在坐标 (i,j) 处的灰度值, $L_{ij}(n)$ 是连接项, W 是连接权矩阵, $U_{ij}(n)$ 是内部活动项, β 是连接系数, $\theta_{ij}(n)$ 为动态阈值, α_θ 是相应的衰减系数, V_θ 是幅度常数, $Y_{ij}(n)$ 是 PCNN 脉冲输出值.

PCNN 用于图像分割时,二维图像每一个像素的灰度值对应每个神经元的输入.其中某一个像素激发产生的脉冲输出,会引起附近其他类似灰度像素对应神经元的激发,产生脉动输出序列 $Y[n]$.显然序列 $Y[n]$ 包含有图像区域、边缘、纹理特征等信息.由此,相似的神经元就形成了一个神经元集群,该神经元集群就像一个巨神经元,同步发放出脉冲输出.一个神经元集群对应着图像中相同灰度的区域,不同的神经元集群则分别对应着图像中不同的区域.因此由 PCNN 的脉冲传播特性所引发的同步脉冲发放,就可以实现图像的分割^[11].

1.2 改进的 PCNN 三值化图像分割原理^[9]

文献[9]对 PCNN 进行改进,连接系数 β 放弃固定值,改为对应不同灰度值像素的神经元设定不同的连接系数,即

$$\beta_{ij} = 1 - 0.5I_{ij}. \quad (2)$$

其中, I 为像素值归一化到 $[0,1]$ 的灰度图像, I_{ij} 为

点 (i,j) 处的灰度值.式(2)表明对外部激励较高的神经元给予较低的邻域连接强度,而对于对外部激励较低的神经元给予较高的邻域连接强度.

同时,用式(3)代替式(1),令连接输入体现出中心像素所在区域的灰度值水平:

$$L_{ij}(n) = V_L \sum_{kl} W_{ijkl} Y_{kl}(n-1) I_{kl}. \quad (3)$$

以式(4)取代常数 α_θ , 表征灰度值越高,神经元动态门限下降越快,越易点火,反之动态门限下降越慢,点火难度越高:

$$\alpha_{\theta_{ij}} = I_{ij}. \quad (4)$$

再用 PCNN 进行两次迭代实现二值分割.初始化参数令 $L[0] = U[0] = E[0] = 0$, $W = \begin{bmatrix} 0.707 & 1 & 0.707 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0.707 & 1 & 0.707 \end{bmatrix}$, $Y[0] = 1$, V_E 在第一次迭代中取

$$V_E = 2\mu_1 + k_1. \quad (5)$$

其中 μ_1 为图像 I 的灰度均值, k_1 为修正系数.计算可得首次迭代结果为 $Y[1] = \text{step}(U[1] - E[1])$.第二次迭代中根据第一次点火的结果设置为

$$V_E = [0.5 \times \mu_2 + 0.5 \times (s_2/\mu_2) + k_2] \times L. \quad (6)$$

式中: s_2 和 μ_2 分别为 B 的标准差和均值,其比值为点集 B 的对比度; k_2 为一分段函数,用于在适当情况下作为补偿值.当点集 B 的均值 μ_2 较高,且对比度 s_2 相对过高时,会使 V_E 值过高,此时使 k_2 取负值,令 V_E 减小;当 μ_2 过低时, V_E 值过低,此时使 k_2 取正值,令 V_E 升高,维持动态门限在合理水平.计算可得二次点火输出结果为 $Y = \text{step}(U[2] - E[2])$.两次点火结果的叠加即为算法设计所需实现的三值化分割.

2 改进的细菌觅食优化算法

2.1 细菌觅食算法的基本原理

细菌觅食算法是一种全局随机搜索算法,模拟了大肠杆菌在人体肠道内寻找营养源而产生的趋化、复制和驱散 3 种基本行为.趋化行为模拟了细菌的运动过程,包括翻转和前进 2 种模式,细菌在翻转后如果适应度值大于原值则延此方向继续前进,直达到预定步数或适应度值不在变大.此时细菌进行复制行为,在复制前对细菌个体适应度值进行计算,保留适应度值高的半数细菌进行复制.最后为了避免细菌陷入局部极值,在复制行为结束后还要进行驱散操作,细菌以某一概率被驱散到搜索空间中的任意位置.

2.2 改进的细菌觅食算法

在基本细菌觅食算法里,细菌在趋化过程中是

以固定步长移动的,如果步长设置过小则算法会过早收敛,而且容易陷入局部极值点;如果步长设置过大则会降低算法的收敛速度,同时容易跳过最优解.因此,可以设置一种随细菌适应度值而改变的运动步长,即当适应度值小时步长变大,适应度值大时步长变小.公式如下:

$$C = \frac{aJ(i,j,k,l)}{J(i,j+1,k,l)} + b. \quad (7)$$

其中 a 为系数, $J(i,j,k,l)$ 为第 i 个细菌第 j 次趋化第 k 次复制第 1 次驱散的适应度值. b 为附加值,如果当前细菌 $J(i,j,k,l)$ 为菌群中最大值, b 为 0; 否则设 b 为一较小数值,保证了菌群可以跳出局部极值点.

2.3 算法主要步骤与流程

细菌觅食优化算法主要计算步骤如下:

Step 1 初始化参数 $p, S, N_c, N_s, N_{re}, N_{ed}, P_{ed}, C(i), \theta^i$.

Step 2 驱散行为循环: $l = l + 1$.

Step 3 复制行为循环: $k = k + 1$.

Step 4 趋向行为循环: $j = j + 1$.

1) 计算细菌 i 的适应度值 $J(i,j,k,l)$.

2) 令 $J_{\text{last}} = J(i,j,k,l)$, 存储为细菌 i 目前最好的适应度值.

3) 生成一个随机向量 $\Delta(i)$, 取值在 $[-1, 1]$ 之间. 翻转运动公式为

$$P(i,j+1,k,l) = P(i,j,k,l) + C(i)\Delta(i).$$

4) 计算 $J(i,j+1,k,l)$, 按照式(7)更新步长 $C(i)$, 如果 $J(i,j+1,k,l) > J(i,j,k,l)$, 且没有达到预设最大前进步数 N_s , 则细菌按式(8)前进; 否则转入 Step 1.

$$P(i,j+1,k,l) = P(i,j+1,k,l) + C(i)\Delta(i). \quad (8)$$

Step 5 若 $j < N_c$, 返回 Step4 进行趋向行为.

Step 6 对给定的 k, l 以及每个 $i = 1, 2, \dots, S$, 将菌群各个细菌适应度值按从大到小顺序排列, 保留前 $S/2$ 个细菌进行复制.

Step 7 若 $k < N_{re}$, 返回 Step 3.

Step 8 将每个细菌按概率 P_{ed} 重新分配到整个寻优空间. 若 $l < N_{ed}$, 则返回 Step2, 否则算法结束.

3 基于细菌觅食优化算法的 PCNN 图像分割方法

分 PCNN 图像三值化分割实质上是在连续灰度范围 $[0, 255]$ 中求解选出 2 个阈值, 将图像分成黑色、灰色和白色 3 个区域的过程. 而细菌觅食算法可以在封闭的连续空间中求解最优解, 这里每个细菌

可以看做一个阈值, 细菌所在位置食物浓度对应适应度值, 通过细菌觅食优化算法可以快速搜索最优解.

细菌觅食算法是寻找全局最优解, 即找到整个菌群中具有最大适应值的细菌, 使用最大类间方差法 (OTSU) 可以满足上述条件.

文献[8]中三值化分割方法需要选出 2 个阈值来分割图像. 故采用基于最大类间方差来寻找最佳的分割阈值的 OTSU 多阈值分割方法中的计算公式作为适应度函数^[12]. 设图像的灰度级为 L , 其中第 i 级像素为 N_i 个, i 的值在 0 到 $L-1$ 之间, 两个阈值分别为 t_1 和 t_2 , 且 $t_1 < t_2$, 将图像分为 C_0, C_1 和 C_2 三类, 则可以根据如下公式进行适应度值计算:

$$\{t_1^*, t_2^*\} = \operatorname{argmax}\{\sigma_B^2(t_1, t_2)\}, \\ 0 \leq t_1 \leq t_2 \leq L-1.$$

其中 σ_B^2 为类间方差公式:

$$\sigma_B^2 = \sum_{k=1}^M \omega_k (\mu_k - \mu)^2, \quad k = 1, 2, 3.$$

μ 为图像的总平均灰度级:

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-2} i \times p_i.$$

μ_k 为 C_k 类像素的平均灰度:

$$\mu_k = \sum_{i \in C_k} i \times P_i / \omega_k.$$

P_i 为第 i 级出现的概率:

$$P_i = N_i / N, \quad i = 0, 1, 2, \dots, L-1.$$

$$\omega_k = \sum_{i \in C_k} P_i.$$

4 实验结果与分析

设置细菌觅食优化算法搜索维度 p 为 4 维, 分别为式(2)中 I_{ij} 的系数, 这里放弃人为凭经验设定的固定值, 将其改为 x . 式(4)中为 I_{ij} 增加系数 y , 式(5)和式(6)中的修正系数为 k_1 和 k_2 , 菌群规模 $S = 26$, 趋化行为循环次数 $N_c = 30$, 复制行为循环次数 $N_{re} = 2$, 驱散行为循环次数 $N_{ed} = 2$, 驱散概率 $P_{ed} = 0.2$, 趋化行为中单向运动的最大步数 $N_s = 4$.

为考察算法的可行性, 用 matlab 对上述算法进行仿真实验, 采用国际文档分析和识别大会 (ICDAR) 在 2011 年组织的文本定位比赛数据集中的图片进行测试. 图 2 中的 (b)、(e)、(h) 图为文献[8]中分割算法的分割结果, (c)、(f)、(i) 图为本文算法的分割结果. 文献[8]算法对字符大小敏感, 对尺寸较大的字符会出现过分割, 且容易引入大量噪声, 图 2(e) 中文字背景严重粘连. 本文算法较好地处理了低对比度情况, 分割结果也较为平滑、干净.



(a)原图



(b)文献[8]算法分割结果



(c)本文算法分割结果



(d)原图



(e)文献[8]算法分割结果



(f)本文算法分割结果



(g)原图



(h)文献[8]算法分割结果



(i)本文算法分割结果

图 2 不同图片分割效果对比

5 结 论

对 PCNN 三值化分割算法进行改进,融入了细菌觅食优化算法,通过细菌觅食优化算法实现参数自动确定,省去了大量的人工试验.实验结果表明,分割效果良好,并明显优于对比分割算法,为后续文本识别的精度提供了保证.

参考文献

- [1] PASSINO K M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control[J]. IEEE Control Systems, 2002, 22(3): 52-67.
- [2] SATHYA P D, KAYALVIZHI R. Modified bacterial foraging algorithm based multilevel thresholding for image segmentation[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2011, 24(4): 595-615.
- [3] HANMANDLU M, VERMA O P, KUMAR N K. A novel optimal fuzzy system for color image enhancement using bacterial foraging [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(8): 2867-2879.
- [4] JOHNSON J L, PADGETT M L. PCNN models and applications[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1999, 10(3): 480-498.
- [5] 许新征,丁世飞,史忠植,等.一种基于 QPSO 的脉冲耦合神经网络参数的自适应确定方法[J].模式识别与人工智能, 2012, 25(6): 909-915.
- [6] 卢桂馥,刘金飞,王勇,等.基于微粒群算法和脉冲耦合神经网络的图像分割算法[J].计算机技术与发展, 2008, 18(7): 90-92.
- [7] 卢桂馥,王勇,窦易文.一种参数自动寻优的 PCNN 图像分割算法[J].计算机工程与应用, 2010, 46(13): 145-146.
- [8] 顾胜兰.自然场景下的文本定位与提取[D].上海:上海交通大学, 2009: 71.
- [9] 严冬梅.无需设置参数的快速 PCNN 图像分割[J].应用科技, 2013, 40(2): 35-39.
- [10] 宋寅卯,刘国乐.一种改进的 PCNN 图像分割算法[J].电路与系统学报, 2010, 15(1): 77-81.
- [11] 张志宏,马光胜. PCNN 模型参数优化与多阈值图像分割[J].哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(3): 240-242.
- [12] 姜允志.若干仿生算法的理论及其在函数优化和图像多阈值分割中的应用[D].广州:华南理工大学, 2012.

(编辑 王小唯)