

人工鱼群算法在湖泊富营养化综合评价中的应用

赵晓莉 李祚泳 闫 军

(成都信息工程学院环境工程系 四川 成都 610041)

摘要 提出了一种对多项指标都能普遍适用的湖泊水质富营养化评价的逻辑斯谛模型,将人工鱼群算法应用于逻辑斯谛曲线模型中的参数优化,并用优化后的逻辑斯谛曲线模型对湖泊富营养进行综合评价。对我国 5 个湖泊富营养化实测数据进行评价实例研究,并与其他多种评价方法进行比较,结果表明该模型具有实用性和可行性。

关键词 人工鱼群算法 湖泊 富营养化 综合评价

中图分类号:X824 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2008)01-0049-03

Application of artificial fish swarm algorithm to assessment of lake eutrophication

ZHAO Xiao-li, LI Zuo-yong, YAN Jun

(Department of Environmental Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610041, China)

Abstract A logistic model for multiple indices in water eutrophication evaluation of lakes was proposed. The artificial fish swarm algorithm was applied to optimizing the parameter of the logistic curve model. Comparing with the assessment results of eutrophic states of five major lakes in China by other methods, the results of optimized logistic curve model indicate the practicability and feasibility of the present model.

Key words artificial fish swarm algorithm; lake; eutrophication; comprehensive assessment

湖泊富营养的评价是根据实测的各项富营养化指标浓度值等多个不确定性信息,采用适当的不确定性研究模型或方法,对湖泊富营养化程度做出判断。国内一些研究者提出了营养状态指数法、神经网络评价^[1]、分形理论评价^[2]等多种评价方法。这些方法处理非线性的方式不同,在取舍对象信息时有些差异,因而各有利弊。湖泊富营养化变化总是经历初期变化缓慢,中期快速变化,后期又逐渐趋于稳定的发展进程,类似于逻辑斯谛曲线的变化趋势。因此,本文采用逻辑斯谛曲线模拟湖泊富营养化发展阶段,并将鱼群算法应用于逻辑斯谛曲线模型中参数的优化,建立了优化后的湖泊富营养化评价逻辑斯谛模型,并取得了实际应用效果。

1 人工鱼群算法

人工鱼群算法^[3]是一种基于模拟鱼群行为的随

机搜索优化算法,主要利用了鱼的觅食、聚群和追尾行为,从构造单条鱼的底层行为做起,通过鱼群中各个体的局部寻优达到全局最优值在群体中突现出来的目的。该算法具有良好的克服局部极值、取得全局极值的能力,并且算法的实现无需目标函数的梯度值等特性,故其对搜索空间具有一定的自适应能力。

以求函数 Y 的极大值为例,说明人工鱼典型行为的实现过程^[4]:

a. 觅食行为(AF_pre) 设人工鱼的当前状态为 X_i ,在其感知范围内随机选择 1 个状态 X_j ,如果 $Y_i < Y_j$,则向该方向前进 1 步;反之,再重新随机选择状态 X_j ,判断是否满足前进条件;反复几次后,如果仍不满足前进条件,则随机移动 1 步。

b. 聚群行为(AF_swarm) 设人工鱼的当前状态为 X_i ,探索当前邻域内(即 $d_{ij} < \text{Visable}$)的伙伴数目 n 及伙伴中心位置 X_c 。其中, d_{ij} 表示人工鱼 i 与 j

之间的距离 ;Visable 表示人工鱼的可视范围。如果表明伙伴中心有较多的食物 ,并且不太拥挤 ,则朝伙伴的中心位置方向前进 1 步 ,否则执行觅食行为。

$Y_c/e^{A_q} > \delta Y_i$
式中 : Y_c 为邻域内伙伴中心位置食物的浓度值 ; A_q 为安全系数 ; δ 为拥挤度因子。

c. 追尾行为(AF_follow)。设人工鱼当前状态为 X_i ,探索当前邻域内(即 $d_{ij} < \text{Visable}$)的伙伴中 Y_j 为最大的伙伴 X_j ,如果 $Y_j/e^{A_q} > \delta Y_i$,表明伙伴 X_j 处的状态具有较高的食物浓度并且其周围不太拥挤 ,则朝伙伴 X_j 的方向前进一步 ,否则执行觅食行为。

d. 行为选择(AF_evaluate)。根据所要解决的问题性质 ,对人工鱼当前所处的环境进行评价 ,从而选择一种行为。如对于求取极大值的问题 ,最简单的评估方法可以用试探法 ,就是模拟执行聚群、追尾等行为 ,然后评价行动后的值 ,选择其中的最大者来实际执行 ,缺省的行为方式为觅食行为。

2 逻辑斯谛曲线模型

逻辑斯谛曲线(Logistic Curve)是由荷兰生物学家 Verhulst 提出的 ,该模型的曲线可分为三个部分 ,先缓慢增加 ,然后快速增加 ,后又逐渐趋于稳定 ,可反映事物的发生、发展和成熟的一般规律 ,它又称生长曲线。该曲线似“ S ”形 ,故又称 S 曲线。由于 S 曲线富有弹性 ,故在地学、环境、生态学、人口学、经济预测等许多领域得到广泛应用。逻辑斯谛曲线的数学方程为

$$y(t) = \frac{L}{1 + e^{a - rt}} \tag{1}$$

式中 : $y(t)$ 为时刻 t 的待预测变量 ; L 为预测变量的饱和值 ; r 为增长率 ; a 为积分常数。

3 逻辑斯谛曲线模型的分析实例

3.1 训练数据集的选取

若选取如表 1 所示的湖泊富营养化评价标准^[1]中叶绿素(Chla)、透明度、总磷(TP)、总氮(TN)、化学需氧量(COD)、生物量作为富营养化评价指标 ,并在富营养化各评价等级范围内随机生成 5 个建模样本 ,共生成 25 个标准建模样本。

表 1 湖泊富营养化评价标准

等级	营养类型	$\rho(\text{Chla})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	透明/度/m	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	生物量/(万个 $\cdot\text{L}^{-1}$)
I	贫营养	0.0016	8.00	0.0046	0.079	0.48	15
II	中营养	0.0100	2.40	0.0230	0.310	1.80	50
III	富营养	0.0640	0.73	0.1100	1.200	7.10	100
IV	重富营养	0.1600	0.40	0.2500	2.300	14.00	400
V	异常富营养	1.0000	0.12	1.2300	9.100	54.00	1000

注 透明度为逆向指标。

为避免模型输出的随意性 ,利用式(2)对指标数据进行归一化处理。

$$x(i) = \begin{cases} z_i/z_{i0} & \text{正向指标} \\ z_{i0}/z_i & \text{逆向指标} \end{cases} \tag{2}$$

式中 : z_i 为第 i 个指标的实测浓度值 ; z_{i0} 为第 i 个指标的第 5 级标准浓度值。

3.2 模型的确定

设某个湖泊富营养化等级为 $P(j)$,评价指标为 x ,指标为 m 。其中 ,富营养化越严重 ,各指标值越大(逆向指标值越小) ,等级就越高 ,贫营养级设为 1 ,异常富营养级设为 N 。各指标值(作为横坐标)与富营养化等级(作为纵坐标)之间呈单调递增关系 ,故用逻辑斯谛曲线来描述是十分合适的 ,即 :

$$P(j) = N[1 + e^{c_0 + c_1x_{1j} + c_2x_{2j} + \dots + c_mx_{mj}}] \tag{3}$$

式中 : $P(j)$ 为湖泊富营养化等级模型的计算值 ,为不超过 N 的正实数 ,本文取 $N = 5$; $c_0, c_1, \dots, c_m$ 为模型参数 ,本文选取 6 个富营养化评价指标 ,故 $m = 6$ 。

设计优化目标函数为

$$\min Q = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |P_k - P_{ko}| \tag{4}$$

式中 : K 为富营养化评价分级标准数目 ,取 $K = 5$; P_k 为第 k 个等级的实际输出值 ; P_{ko} 为第 k 个等级的期望输出值。5 个等级的期望输出值 P_{ko} 可分别设置为 :1.0 2.0 3.0 4.0 5.0。

3.3 评判标准

利用鱼群算法优化式(3)中的 $c_0, c_1, \dots, c_6$ 。鱼群规模为 15 ,步长为 1.5 ,可视范围(Visable)为 7 ,拥挤度因子 δ 为 0.618 ,安全度系数 A_q 为 0.6 。目标函数取值随搜索次数变化 ,如图 1 所示 ,由图 1 可知 $Q_{\min} = 0.0394$ 。

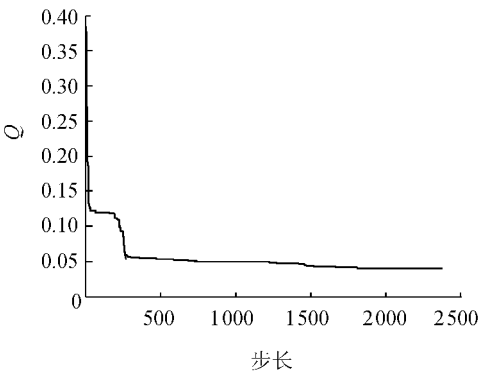


图 1 目标函数曲线

程序设置为当目标函数达到预设值或是当目标函数值随着搜索次数增加而不再减小时 ,搜索停止 ,此时所得到的解认为是满意解。最后得到优化好的参数值 ,见表 2 。

表 2 模型参数优化值						
c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
0.305 5	- 0.963 0	1.408 9	- 0.019 5	- 1.597 8	- 3.717 5	- 1.341 4

根据表 2 的参数值 ,可以得到优化好后的湖泊富营养化逻辑斯谛曲线评价模型：

$$P = 5 [1 + e^{0.305 5 + (- 0.963 0)x_1 + 1.408 9x_2 + (- 0.019 5)x_3 + (- 1.597 8)x_4 + (- 3.717 5)x_5 + (- 1.341 4)x_6}]^{-1} \quad (5)$$

将表 1 中 6 个指标的 5 级标准共 25 个模拟样本归一化后的值代入式(5) ,计算出湖泊富营养化每个等级的平均值 ,并将相邻两个等级间的中值作为湖泊富营养化逻辑斯谛曲线模型的分级标准 ,见表 3。

表 3 湖泊富营养化 5 个等级的平均值及分级标准					
级别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
平均值	0.961 6	2.004 6	2.947 1	3.981 3	4.994 8
分级标准	≤1.483 1	1.483 1 ~ 2.475 9	2.475 9 ~ 3.464 2	3.464 2 ~ 4.488 1	≥4.488 1

3.4 模型检验

将已优化好的评价公式(5)应用于实际湖泊富营养化等级评价中 ,湖泊监测数据引自文献[5] ,其指标原始数据、计算出的评价指数以及判别结果如表 4 所示。

表 4 中国五大湖泊富营养化实测数据及评价指数值和评价结果

湖泊	透明度/ (1·m ⁻¹)	$\rho(\text{TP})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{TN})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{COD})$ / (mg·L ⁻¹)	生物量/ (万个·L ⁻¹)	评价 指数值	评判 级别
青海湖	0.22	0.02	0.22	1.40	14.6	1.554 5	2 级
武汉东湖	2.50	0.11	2.00	10.70	1913.7	4.813 9	5 级
杭州西湖	2.86	0.13	2.76	10.30	6920.0	4.999 8	5 级
巢 湖	4.00	0.03	1.67	6.26	25.3	2.981 9	3 级
滇 池	2.00	0.02	0.23	10.13	189.3	3.231 5	3 级

3.5 比较与分析

用多种评价方法^[5-6]对上述 5 个湖泊进行比较分析 ,结果列于表 5。

评价方法	青海湖	武汉东湖	杭州西湖	巢湖	滇池
逻辑斯谛曲线模型	中营养	极富营养	极富营养	富营养	富营养
集对分析法	中营养	极富营养	极富营养	富营养	富营养
模糊综合评判法	中营养	富营养	富营养	富营养	富营养
模糊灰色评定法	中营养	富营养	富营养	富营养	富营养
评分统计法	中营养	富营养	极富营养	富营养	富营养
灰色聚类法	中营养	富营养	极富营养	富营养	富营养

由表 5 可知 ,利用鱼群算法优化的逻辑斯谛模型的评价结果与其他 5 种评价方法的结果基本吻合。

4 结 论

a. 人工鱼群算法是一种新的随机搜索优化算法。它通过并行运算寻优 ,可以用来解决一些非线性

性及离散的优化问题 ,为一些优化问题的解决提供了一条新的思路。

b. 本文利用鱼群算法对湖泊富营养化逻辑斯谛曲线评价模型进行优化 ,并对模型进行了实例检验。检验结果表明 ,利用鱼群算法优化逻辑斯谛曲线模型来评价湖泊富营养化等级是切实可行的。

参考文献：

[1]任黎 董增川.人工神经网络模型在太湖富营养化评价中的应用[J].河海大学学报 :自然科学版 ,2004 ,32(2) :147-150.
[2]刘光萍 杜萍.分形理论在湖泊富营养化评价中的应用[J].江西农业大学学报 ,2005 ,27(6) :925-929.
[3]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.
[4]唐剑东 熊信银.基于人工鱼群算法的电力系统无功优化[J].继电器 ,2004 ,32(19) :9-12.
[5]李凡修 辛焰.集对分析应用于湖泊富营养化评价研究[J].重庆环境科学 ,2000 ,22(6) :10-11.
[6]曹斌.湖泊富营养化评价的模糊决策方法[J].环境科学 ,1991 ,12(5) :88-91.

(收稿日期 2006-12-11 编辑 傅伟群)

· 简讯 ·

2007 全国大坝抗震防灾高级学术研讨会在河海大学举行

由中国水力发电工程学会抗震防灾专业委员会主办、河海大学水工结构研究所和中国水利水电科学研究院工程抗震中心承办的“ 2007 全国大坝抗震防灾高级学术研讨会 ”于 11 月 11 ~ 12 日在河海大学隆重举行。中国工程院陈厚群院士、中国科学院林皋院士和张楚汉院士、国家自然科学基金委水利学科主任李万红教授以及来自全国水利水电勘测设计、建设单位及高等院校、科研院所的 50 余名高级专家参加了研讨会。中国水电顾问集团公司昆明勘测设计研究院、成都勘测设计研究院等单位也参加了本次研讨会。

研讨会分两个专题“ 高混凝土坝抗震设计中的关键问题 ”、“ 高土石坝抗震设计中的关键问题 ”进行研讨。针对目前我国高坝抗震研究现状 ,选择具有代表性的高混凝土坝、高土石坝 ,分别邀请中国水电顾问集团公司成都勘测设计研究院和昆明勘测设计研究院 ,选择大岗山、溪洛渡、糯扎渡、长河坝、双江口等典型高坝 ,介绍或提出高混凝土坝抗震设计、分析和施工中存在的关键技术问题 ,与会专家进行了深入的研讨、交流。本次研讨会的举行对我国的高坝抗震防灾研究起着积极的推动作用。

(本刊编辑部供稿)