

人工神经网络模型在太湖富营养化评价中的应用

任 黎,董增川,李少华

(河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098)

摘要 根据湖泊富营养化程度影响因素多,评价因素与富营养化等级之间关系复杂且是非线性的特点,研制了一个能自动对湖泊富营养化程度做出正确评价的 BP 人工神经网络模型,并在太湖富营养化评价中得到了应用.结果表明:只要把观测数据提供给网络,借助计算机就可获得能客观地反映水质富营养化状况的评价结果.对于富营养化标准样本,一旦训练完毕,只需通过简单的加法和乘法运算,就可对湖泊水质富营养化程度进行评价.

关键词 太湖;富营养化评价;BP 网络模型

中图分类号 X524 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2004)02-0147-04

为了评价湖泊的营养状况,国内外先后提出了特征法、参数法、营养状态指数法、图解法、生物评价法和评分法等多种评价方法.由于影响富营养化程度的因素很多,评价因素与富营养化等级之间的关系复杂,各等级之间的关系模糊,并且这些方法均有其适用条件和局限性,因此至今尚未形成一种统一的确定的评价模型^[1].

人工神经网络模型是 20 世纪 80 年代获得迅速发展的一门非线性科学,它可以模拟人脑的一些基本特性,如自适应性、自组织性和容错性能.这种模型已应用于模式识别、系统辨识等领域,并取得了很好的效果^[2].因此,本文试图研制一个能自动对湖泊富营养化程度做出正确评价的 BP 人工神经网络模型.

1 BP 人工神经网络模型^[3]

BP 人工神经网络模型是人工神经网络模型中最具有代表意义和广泛应用的模型. BP 人工神经网络模型设计的最大特点是网络权值是通过使网络模型输出值与已知的样本输出值之间的误差平方和达到期望值而不断调整出来的,并且确定 BP 神经网络评价模型时涉及隐含层及其节点数、转移函数、学习参数和网络模型的最后选定等问题.

BP 网络评价模型中隐含层的层数及各隐含层中神经元个数的确定方法是,先根据经验进行初步设计,然后再反复进行调试,最终以 BP 网络评价模型的全局误差趋于极小(或小于预先给定的允许误差)作为选取的准则.本文经多次尝试确定了其结构,如图 1 所示.该网络经过学习训练后,全局误差趋于极小,即该网络是收敛的.该 BP 网络评价模型有 3 层,即 1 个输入层、1 个隐含层和 1 个输出层.输入层有 5 个神经元,它们分别对应于湖泊富营养化评价的 5 个参数——叶绿素、透明度、总磷、总氮、化学需氧量.另外,隐含层有 5 个神经元,输出层有 1 个神经元.

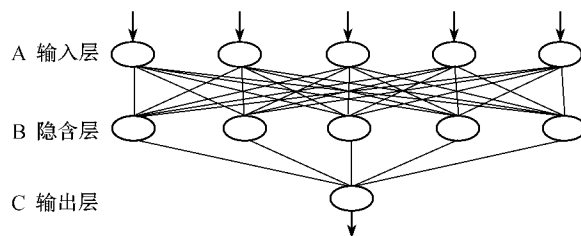


图 1 湖泊富营养化的 BP 网络评价模型

Fig.1 BP neural network model for lake eutrophication assessment

2 评价标准的确定

评价标准的确定是湖泊富营养化程度评价中极为重要的一环. 为了对太湖富营养化程度进行评价, 参考相崎宇弘和郁根森 2 种标准^[1]并结合太湖具体情况, 提出评价太湖富营养化程度的 5 个评价指标 8 种类型的评价标准, 如表 1 所示.

表 1 太湖富营养化程度评价标准
Table 1 Assessment standard of Taihu Lake eutrophication

等级	营养类型	叶绿素质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	透明度 /m	总磷质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	总氮质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	化学需氧量 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
I	贫营养	0.0016	8.00	0.0046	0.079	0.48
II	贫—中营养	0.0041	4.40	0.0100	0.160	0.96
III	中营养	0.0100	2.40	0.0230	0.310	1.80
IV	中—富营养	0.0260	1.30	0.0500	0.650	3.60
V	富营养	0.0640	0.73	0.1100	1.200	7.10
VI	重富营养	0.1600	0.40	0.2500	2.300	14.00
VII	严重富营养	0.4000	0.22	0.5550	4.600	27.00
VIII	异常富营养	1.0000	0.12	1.2300	9.100	54.00

3 评价指标的选择

要确切、快速地对产生富营养化的现象进行评价, 必须选择正确的评价指标. 与湖泊富营养化有密切关系的指标很多, 这些指标可分为物理、化学和生物学指标.

根据太湖实际情况和所收集到的资料, 本文选择与太湖富营养化状况直接有关的总磷质量浓度、总氮质量浓度、化学需氧量、透明度和叶绿素质量浓度作为评价指标^①.

4 应用实例

为了提高计算精度, 减少学习次数, 根据给出的太湖富营养化评价标准(见表 1), 给出对应于富营养化程度的 8 个等级、8 个人为设定的学习模式及希望输出值, 如表 2 所示.

表 2 BP 网络评价模型评价的训练样本
Table 2 Training samples for BP neural network model

模式对	叶绿素质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	透明度 /m	总磷质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	总氮质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	化学需氧量 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	营养类型	希望 输出值
1	0.0016	8.00	0.0046	0.079	0.48	贫营养	0.0000
2	0.0041	4.40	0.0100	0.160	0.96	贫—中营养	0.1430
3	0.0100	2.40	0.0230	0.310	1.80	中营养	0.2860
4	0.0260	1.30	0.0500	0.650	3.60	中—富营养	0.4290
5	0.0640	0.73	0.1100	1.200	7.10	富营养	0.5720
6	0.1600	0.40	0.2500	2.300	14.00	重富营养	0.7150
7	0.4000	0.22	0.5550	4.600	27.00	严重富营养	0.8580
8	1.0000	0.12	1.2300	9.100	54.00	异常富营养	1.0000

BP 网络评价模型训练之前, 网络各参数初始值如下:

a. 输入层到隐含层的连接权矩阵

$$w_{ij} = \begin{bmatrix} 0.2028 & 0.0153 & 0.4186 & 0.8381 & 0.5028 \\ 0.1987 & 0.7468 & 0.8462 & 0.0196 & 0.7095 \\ 0.6038 & 0.4451 & 0.5252 & 0.6813 & 0.4289 \\ 0.2722 & 0.9318 & 0.2026 & 0.3795 & 0.3046 \\ 0.1988 & 0.4660 & 0.6721 & 0.8318 & 0.1897 \end{bmatrix}$$

① 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 太湖富营养化调查研究报告(1990~1991年). 1992.

b. 隐含层的阈值

$\alpha_j = [0.6979 \quad 0.3784 \quad 0.8600 \quad 0.8537 \quad 0.5936]$

c. 隐含层到输出层的连接权矩阵

$u_i = [0.4966 \quad 0.8998 \quad 0.8216 \quad 0.6449 \quad 0.8180]$

d. 输出层的阈值

$r = [0.3675]$

学习系数

$\eta_1 = 0.6 \qquad \eta_2 = 0.6$

根据太湖富营养化评价标准(表 1),以表 2 中的数据对如图 1 所示的 BP 网络评价模型进行训练,当完成 80 008 次训练之后,全局误差值为 0.000 1,达到了所要求的精度,因此结束训练.训练后 BP 网络评价模型输出的评价标准如表 3 所示.

表 3 训练后 BP 网络评价模型输出的评价标准

Table 3 Assessment standard deduced by BP neural network model after being trained

营养类型	叶绿素质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	透明度 /m	总磷质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	总氮质量浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	化学需氧量 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	希望 输出值	实际 输出值
贫营养	0.0016	8.00	0.0046	0.079	0.48	0.0000	0.0117
贫—中营养	0.0041	4.40	0.0100	0.160	0.96	0.1430	0.1401
中营养	0.0100	2.40	0.0230	0.310	1.80	0.2860	0.2885
中—富营养	0.0260	1.30	0.0500	0.650	3.60	0.4290	0.4269
富营养	0.0640	0.73	0.1100	1.200	7.10	0.5720	0.5744
重富营养	0.1600	0.40	0.2500	2.300	14.00	0.7150	0.7125
严重富营养	0.4000	0.22	0.5550	4.600	27.00	0.8580	0.8595
异常富营养	1.0000	0.12	1.2300	9.100	54.00	1.0000	0.9945

BP 网络评价模型训练结束后,网络各参数值如下:

a. 输入层到隐含层的修正连接权矩阵

$w_{ij} = \begin{bmatrix} 0.2991 & -0.3768 & 0.4415 & 1.0075 & -0.0223 \\ 0.2106 & 0.2511 & 0.8736 & 0.2592 & 1.9266 \\ 1.5760 & -0.7506 & 1.0615 & -0.3781 & 0.1154 \\ 0.2946 & 0.2884 & 0.2502 & 0.7923 & 2.2842 \\ 0.4993 & -0.3990 & 0.7627 & -0.8703 & 0.1716 \end{bmatrix}$

b. 隐含层的阈值

$\alpha_j = [-2.0003 \quad 0.9901 \quad 4.5907 \quad 2.3087 \quad 1.3244]$

c. 隐含层到输出层的修正连接权矩阵

$u_i = [7.7047 \quad -2.1078 \quad 3.9921 \quad -3.0167 \quad 2.7839]$

d. 输出层的阈值

$r = [2.4852]$

笔者利用本文所建立的模型对太湖 1994~2000 年的富营养化状况进行了评价.由评价结果可知,1994~2000 年太湖共出现 5 种营养类型,即贫—中营养、中营养、中—富营养、富营养和重富营养.在各营养类型中,中—富营养区分布最广,约占全湖面积的 70% 以上,主要分布在湖心、南部沿岸区和东部沿岸区;其次是中营养区和富营养区,中营养区主要分布在东太湖及部分东部沿岸区,富营养区则出现在北部湖区(如梅梁湖、五里湖)和西部岸边带,夏季富营养区约占全湖面积的 10%.这些区域一方面受城市污水的影响,另一方面也是入湖河道污染物负荷最大区域.贫—中营养和重富营养是太湖 2 个极端的营养类型,平均而言,太湖 2000 年处于中—富营养状态,营养水平处于中营养向富营养发展的过渡状态.

5 结 语

人工神经网络是一种高度非线性关系映射,它能够学习大量模式的映射关系,可避免模糊综合评价和灰

色聚类等方法权值赋值和隶属函数确定中人为因素的影响,因而可减少评价过程中的人为主观因素.

应用 BP 人工神经网络进行太湖富营养化评价,只要把观测数据提供给网络,借助计算机就可获得客观地反映水质富营养化状况的评价结果.此外,BP 人工神经网络,对于富营养化标准样本,一旦训练完毕,只需通过简单的加法和乘法运算,就可对湖泊水质富营养化进行评价,因此该方法实用性强、通用性好.

参考文献：

[1] 金相灿.中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社,1990.20—24.

[2] 王伟.人工神经网络原理[M].北京:北京航空航天大学出版社,1995.57—62.

[3] 胡守仁,余少波.神经网络导论[M].北京:国防科技大学出版社,1993.73—88.

Application of artificial neural network model to
assessment of Taihu Lake eutrophication

REN Li , DONG Zeng-chuan , LI Shao-hua

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The degree of lake eutrophication is affected by many factors. In consideration of the complicated non-linear characteristics of the relationships between the eutrophication degree and some related factors , a BP artificial neural network , which can give correct assessment of lake eutrophication automatically , is developed and applied to assessment of the eutrophication of the Taihu Lake. The result shows that the model can reflect the eutrophication degree of water quality of the Taihu Lake through the computer with observed data , and that , once the BP neural network is trained by use of the standard samples , the eutrophication assessment of the lake water quality can be made through simple operation of the network.

Key words : Taihu Lake ; assessment of eutrophication ; BP network model

《河海大学学报(哲学社会科学版)》征订启事

(CN32 - 1521/C , ISSN1671 - 4970 , 季刊 , 自办发行)

本刊以马列主义、毛泽东思想和邓小平理论为指导,坚持实事求是的思想路线,贯彻“双百”方针,弘扬时代主旋律,理论联系实际,为社会主义物质文明与精神文明建设服务.

本刊为哲学与社会科学类学术期刊,主要刊登哲学、政治学、文学、史学、语言学、法学、社会学、心理学、经济学、管理学、高等教育学等社会科学方面的研究成果、学术论文、综述等学术性文章.本刊可供上述有关专业的研究人员、管理人员和大专院校师生阅读与参考.本刊为中国学术期刊(光盘版)入编期刊与中国学术期刊网入编期刊.

本刊由河海大学主办,每季末出版,国内外公开发行,每本定价 5 元,每本邮费 1 元,全年订费 24 元.欢迎广大读者直接向编辑部订阅.联系地址:南京市西康路 1 号《河海大学学报(哲学社会科学版)》编辑部,邮政编码 210098.联系电话 (025) 83786376.