

基于 MATLAB 的神经网络在湖泊富营养化评价中的应用

韩 涛¹ 李怀恩¹ 彭文启²

(1. 西安理工大学水利水电学院 陕西 西安 710048 ; 2. 中国水利水电科学研究院水环境研究所 北京 100038)

摘要 :以 MATLAB 为工具 ,建立评价湖泊水体富营养化状态的 BP 神经网络模型 ,应用此模型对我国 9 个湖泊富营养化程度进行评价。将此评价结果与用分级评分法、模糊数学法、Fuzzy-Grey 决策法的评价结果进行比较分析 ,得出较一致的结论。同时表明用 MATLAB 构建神经网络简洁、高效 ,具有更好的通用性和实用性。

关键词 :湖泊 ;富营养化 ;BP 神经网络 ;MATLAB

中图分类号 :X824 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2005)01-0024-03

Application of neural network based on MATLAB toolbox to the evaluation of lake eutrophication

HAN Tao¹ , LI Huai-en¹ , PENG wen-qi²

(1. Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering , Xi 'an University of Technology , Xi 'an 710048 , China ;
2. Department of Water Environment , China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100038 , China)

Abstract :A BP neural network model based on MATLAB toolbox is established to assess the eutrophication of lakes . It is applied to the evaluation of 9 lakes in China . The results fit well with those concluded by the grading evaluation method , the fuzzy mathematics method , and the fuzzy-Grey decision-making method . It shows that this simple , clear , and efficient model can be generally and practically used .

Key words :lake ;eutrophication ; BP neural network ; MATLAB

湖泊水体营养化状态的评价 ,是环境评价中一个重要内容。湖泊富营养化评价的目的是为了准确反映水环境的质量和污染状况 ,并预测将来的发展趋势 ,为开展环境污染和综合治理、环境规划及管理提供科学依据^[1]。湖泊富营养化程度的评价实际上是一个典型的模式识别问题。目前 ,BP 人工神经网络被广泛应用于模式识别问题^[2]。神经网络的建立要求网络设计人员有较好的编程基础 ,从而限制了神经网络的广泛应用。本文应用 MATLAB 语言 ,构造出神经网络的激活函数 ,建立了评价湖泊水体富营养化状态的 BP 神经网络模型 ,从而避免了繁琐的编程 ,提高了效率和解题质量。

1 模型的建立

1.1 模型的 BP 网络结构

1.1.1 模型结构的建立

多层 BP 网络有输入节点、输出节点和一层或

多层隐节点。1988 年 ,Cybenko 指出 ,当各结点均采用 S 型压缩函数时 ,一个隐层就足以实现任意判决分类问题^[3]。1989 年 ,Robert Hecht-Nielson 也证明了对于任何在闭区间内的一个连续函数都可以用一个隐层的 BP 网络来逼近 ,因而一个 3 层的 BP 网络可以完成任意的 n 维到 m 维的映射^[4]。在此采用一个 3 层的 BP 网络 ,即输入层、一个隐含层和输出层。湖泊富营养化状态的评价涉及 TN、TP、耗氧量、生物量和透明度 5 个参数 ,输入层取 5 个节点。富营养化状态分为 6 个级别 ,输出层取 6 个节点。如何确定 BP 网络隐含层中神经元的个数 ,目前尚无理论上的依据^[5]。在实际工作中 ,都是先根据经验进行初步设计 ,然后再反复调整尝试 ,最终以 BP 网络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。笔者经过多次尝试 ,最后确定其隐层神经元的个数为 8 个。网络结构见图 1。

作者简介 韩涛(1979—)男 ,河南范县人 ,硕士研究生 ,研究方向为水资源保护及水利信息化 ,E-mail :98hantao@sina.com

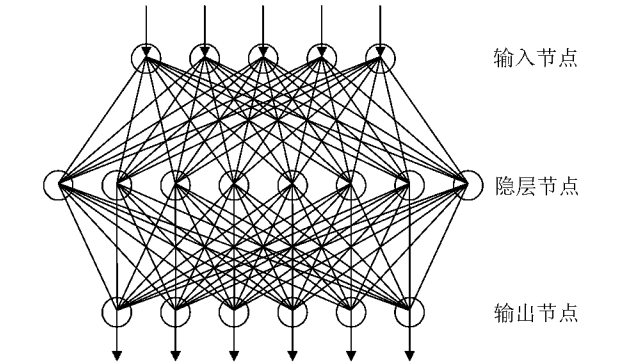


图 1 BP 神经网络结构

1.1.2 模型结构的实现

通过调用 MATLAB 指令 `net = newff( PR [ S1 S2 ...Sn ],{TF1 TF2...TFn },BTF ,BLF ,PF)` 创建 BP 神经网络。PR 为输入向量的取值范围 ; S_i 为第 i 层的神经元个数 ,共 n 层 ; TF_i 为第 i 层的传递函数 ;BTF 为 BP 网络的训练函数 ;BLF 为 BP 网络权值和阈值学习函数 ;PF 为性能函数。本模型采用各函数为

```
Net = newff( minmax( ),[ 8 ,6 ],{ 'tansig ', 'purelin '}, 'traincgf ', 'learnngdm ', 'mse ')
```

1.2 BP 网络的训练

1.2.1 BP 网络的训练方法

训练 BP 网络之前 ,必须设置权值和阈值的初始值。本文采用 MATLAB 函数 `init()` 初始化网络权值和阈值 ,此函数会根据网络的初始化函数以及它的参数值来设置网络权值和阈值的初始值。性能函数采用 `mse()` (网络输出和目标输出的均方误差) ,其值定为 $1e-3$ 。在训练的过程中 ,网络的权值和阈值被反复调整 ,以减少网络的性能函数的值 ,直到达到 $mse < 1e-3$ 。MATLAB 神经网络工具箱提供了多

种训练函数 ,通过试用比较 ,笔者选择共轭梯度 Fletcher-Reeves 算法 ,结果证明 ,此算法收敛速度快 ,效果好。图 2 为共轭梯度 Fletcher-Reeves 算法网络的训练次数与网络输出误差变化规律。

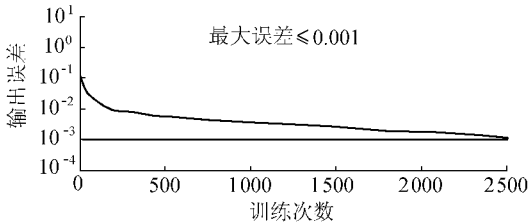


图 2 训练次数与输出误差变化规律

1.2.2 选取学习样本及样本的初始化

好的 BP 网络模型应具有较强的鲁棒性和泛化能力 ,学习样本的选取是关键。在表 1 湖泊富营养化评价标准中 ,对应于各富营养化等级的各项评价参数的值均是一个区间值 ,用 MATLAB 中的 `rand()` 函数在每等级规定的范围内进行随机取值 ,共生成 3000 个学习样本。为便于利用 MATLAB 神经网络工具箱中的训练函数 ,用 MATLAB 提供的最大最小函数 `premnmx()` 对学习样本进行预处理 ,将各参数的值量化到范围 $[-1,1]$ 内 ,然后将各参数值作为输入单元 ,其所对应等级作为期望输出(表 2) ,进行网

表 1 湖泊富营养化评价标准

评价参数	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	耗氧量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	生物量/ ($10^4 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$)	透明度 /m
极贫营养	< 1	< 20	< 0.09	< 4	> 37.0
贫营养	4	60	0.36	15	12.0
中营养	23	310	1.80	50	2.4
富营养	110	1200	7.10	100	0.55
重富营养	> 660	> 4600	> 27.10	> 1000	< 0.17

表 2 部分学习样本及期望输出

项目 /样本	学习样本					期望输出					
	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	好氧量 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	生物量 ($10^4 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$)	透明度 /m	极贫 营养	贫营养	中营养	中富 营养	富营养	重富 营养
1	0.5	15	0.05	1	38.0	1	0	0	0	0	0
2	3.0	40	0.35	12	15.0	0	1	0	0	0	0
3	20.0	250	1.00	30	4.0	0	0	1	0	0	0
4	60.0	900	3.00	80	1.3	0	0	0	1	0	0
5	150.0	1500	15.00	300	0.3	0	0	0	0	1	0
6	700.0	5000	40.00	1500	0.1	0	0	0	0	0	1

表 3 部分检验样本的实际输出和期望输出比较

项目 /样本	检验样本					实际输出						期望输出					
	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	耗氧量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	生物量/ ($10^4 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$)	透明度 /m	极贫 营养	贫 营养	中 营养	中富 营养	富 营养	极富 营养	极贫 营养	贫 营养	中 营养	中富 营养	富 营养	极富 营养
1	0.2	5	0.01	1	37.0	1.03	-0.02	0.00	-0.01	0.00	0.00	1	0	0	0	0	0
2	2.0	40	0.20	10	20.0	-0.01	1.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0
3	10.0	100	1.00	30	5.0	0.00	-0.02	1.04	-0.01	0.00	0.00	0	0	1	0	0	0
4	50.0	500	6.00	70	1.0	0.00	0.00	-0.02	0.98	-0.04	0.00	0	0	0	1	0	0
5	500.0	3000	20.00	500	0.3	0.00	0.00	-0.01	-0.01	1.01	0.00	0	0	0	0	1	0
6	1000.0	5000	30.00	2000	0.1	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	1.00	0	0	0	0	0	1

络权重和阈值训练。

1.2.3 训练结果的检验

为验证模型的泛化和预测能力 ,用上述方法 随机抽取检验样本 100 个 ,对模型进行检验。部分样本的检验结果和期望输出见表 3。通过比较可以得出 ,此模型有较强的泛化和预测能力 ,可以用于湖泊水体的富营养化评价。

2 实 例 应 用

表 4 列出了我国 9 个湖泊的水质监测资料。监测数据经最大最小函数 $\text{premnmx}()$ 处理后 ,输入到 BP 网络模型 ,调用仿真函数 $\text{sim}()$ 实现对 9 个湖泊水体的富营养化评价输出。网络输出和评价结果见表 5。

表 4 9 个湖泊水质资料 (1987 ~ 1988 年)

湖泊	TP/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	TN/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	耗氧量 ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	生物量/ ($10^4\text{个}\cdot\text{L}^{-1}$)	透明度 (m)
青海湖	20	220	1.40	14.6	4.50
太 湖	20	900	2.83	100.0	0.50
呼伦湖	80	130	8.29	11.6	0.50
洪泽湖	100	460	5.50	11.5	0.30
巢 湖	30	1670	6.26	25.3	0.25
滇 池	20	230	10.13	189.2	0.50
武汉东湖	105	2000	10.70	1913.7	0.40
杭州西湖	130	760	10.30	6920.0	0.35
洱 海	34	490	2.11	22.3	3.30

3 结果比较分析

表 6 列出了用分级评分法^[6]、模糊数学法^[7]、Fuzzy-Grey 决策法(F-G 决策法)^[8]和本文方法分别对 9 个湖泊富营养化程度的评价结果。

比较表明 ,用本文的方法所得出的评价结果能够反映出湖泊水体的富营养化水平。笔者认为 ,本文采用足够多的学习样本对网络进行训练 ,最大限度地避免了人为主观因素的影响 ,并经过检验样本的检验证明了网络具有很强的泛化能力 ,所以其评价结果更客观、可靠。

表 5 输出和评价结果

湖 泊	极贫营养	贫营养	中营养	中富营养	富营养	重富营养	评价
青海湖	0.002	0.828	0.003	0.001	-0.002	0.003	贫营养
太 湖	-0.002	0.002	-0.019	1.045	-0.028	-0.001	中富营养
呼伦湖	-0.002	-0.008	-0.006	-0.012	1.006	-0.011	富营养
洪泽湖	0.000	-0.005	-0.006	-0.010	1.008	-0.001	富营养
巢 湖	0.000	-0.001	-0.007	0.107	0.898	-0.001	富营养
滇 池	0.001	-0.003	-0.005	-0.005	1.001	-0.002	富营养
武汉东湖	0.004	0.003	0.004	0.003	-0.006	1.009	重富营养
杭州西湖	-0.069	-0.003	-0.014	-0.070	0.022	0.910	重富营养
洱 海	-0.060	1.056	-0.006	0.002	0.002	-0.002	贫营养

表 6 不同方法评价结果比较

湖 泊	本文方法	分级评分法	模糊数学法	F-G 决策法
青海湖	贫营养	贫中营养	中营养	贫中营养
太 湖	中富营养	中富营养	中营养	富营养
呼伦湖	富营养	中富营养	中营养	富营养
洪泽湖	富营养	中富营养	中营养	富营养
巢 湖	富营养	中富营养	富营养	富营养
滇 池	富营养	中富营养	富营养	富营养
武汉东湖	重富营养	富营养	富营养	富营养
杭州西湖	重富营养	重富营养	富营养	富营养
洱 海	贫营养	贫中营养	中营养	中营养

4 结 语

本文应用 MATLAB 工具 ,创建了评价湖泊水体富营养化状态的 BP 神经网络模型。应用该模型对我国 9 个湖泊的富营养化状态进行评价 ,并与其他方法的评价结果进行比较 ,结果表明 ,本文建立的模型具有较好的客观性 ,用 MATLAB 建立神经网络简洁、高效 ,具有更好的通用性和实用性。

参考文献 :

[1] 张忠祥 ,钱易 .城市可持续发展与水污染防治对策[M].北京 :中国建筑工业出版社 ,1998.290 ~ 324.
[2] 闻新 ,周露 ,李翔 ,等 .MATLAB 神经网络仿真与应用[M].北京 :科学出版社 ,2003.1 ~ 3.
[3] 周继成 .人工神经网络[M].北京 :科学普及出版社 ,1993.56.
[4] 张立明 .人工神经网络的模型及其应用[M].上海 :复旦大学出版社 ,1993.43.
[5] 王伟 .人工神经网络原理[M].北京 :北京航空航天大学出版社 ,1995.20 ~ 76.
[6] 钱凯先 .国内外湖泊富营养化研究及对策[J].环境科学 ,1988 (2) 59 ~ 63.
[7] 曹斌 ,宋建社 .湖泊水质富营养化评价的模糊决策方法[J].环境科学 ,1991 ,12 (5) 88 ~ 91.
[8] 李祚泳 ,邓新民 ,张辉来 .湖泊富营养化程度的 Fuzzy-Grey 决策评价[J].系统工程 ,1990 (3) 60 ~ 65.