

基于 BP 神经网络算法的河湖生态健康评价研究

张天琪

(江苏省泰州引江河管理处, 江苏 泰州 225300)

摘要:研究提出利用 BP 神经网络智能算法对河湖生态健康进行评价,通过构建基于 BP 神经网络的河湖生态健康评价系统模型,根据评价指标的数量设定 BP 神经网络输入层节点个数为 18,同时依据河湖生态健康指数的种类个数设定输出层节点为 5 个。通过训练 BP 神经网络模型,在第 573 次迭代的时候,训练模型满足所设定的误差要求,所得到的 BP 神经网络模型可根据相关评价指标准确评价河湖生态健康指数。

关键词:BP 神经网络; 河湖生态; 健康指数; 评价指标

中图分类号:X826

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)06-0015-05

Study on the ecological health evaluation of rivers and lakes based on BP neural network algorithm

ZHANG Tianqi

(Jiangsu Taizhou Leading River Administrative Office, Taizhou 225300, China)

Abstract: BP neural network intelligent algorithm was proposed to evaluate the ecological health of rivers and lakes. By constructing a model of river and lake ecological health evaluation system based on BP neural network, the number of BP neural network input layer nodes were set to 18 according to the number of evaluation indicators, while the output layer nodes were set to 5 according to the species number of the ecological health index of rivers and lakes. By training the BP neural network model, the training model met the set error requirements at the 573th iteration. The obtained BP neural network model could accurately evaluate the ecological health index of rivers and lakes according to relevant evaluation indicators.

Key words: BP neural network; river and lake ecology; health index; evaluation indicator

1 概 述

近年来,随着经济发展带来河、湖等水环境污染、水资源短缺问题。健康的河湖生态环境对促进当地生态平衡、生物多样性等发挥着至关重要的作用。因此,建立一套既符合理论,又满足实际需求的河湖生态健康评价方法迫在眉睫。

针对河湖生态健康评价方法,众多专家和学者

展开大量而深入的研究。崔东文等^[1]通过筛选河流生态健康评价指标,利用随机森林算法建立河湖生态评价模型。王桂林等^[2]利用权重系数法对相同准则层下的不同指标层系数赋予不同权重数值,通过求和方式计算判定河流的生态健康程度。张智伟^[3]通过考虑河流的自然和社会共计 38 个量化属性,构建目标层、准则层等 5 层体系,以此来量化河流的健康程度。段长桂等^[4]通过克服投影寻踪

收稿日期:2020-02-20

作者简介:张天琪(1995—),女,本科,研究方向为微机继电保护及河道治理评价。E-mail:tianqi_zhang1995@163.com

模型求解方法的缺点,借助于猴群算法对河流健康进行评价。上述针对河湖生态健康评价方法存在对指标赋权人为主观性大、建模复杂困难、精度低等不足之处。

考虑上述应用背景的特殊性,基于 BP (back propagation) 神经网络算法的河湖生态健康评价方法被提出。本文通过构建 BP 神经网络架构,选取合适的输入层、隐藏层以及输出层节点个数,学习归纳输入层到输出层的映射关系,从而可以有效对河湖的生态健康状况进行评价。

2 BP 神经网络算法简介及训练步骤

2.1 BP 神经网络算法简介

BP 神经网络属于人工智能算法,由于其不涉及状态变量的建模问题,主要利用数据驱动的思想同时借助于大量的训练数据来实现对权重和阈值的寻优操作。BP 神经网络的计算主要包括前向和反向传播。BP 神经网络架构如图 1 所示,其主要包括输入层,隐含层和输出层。

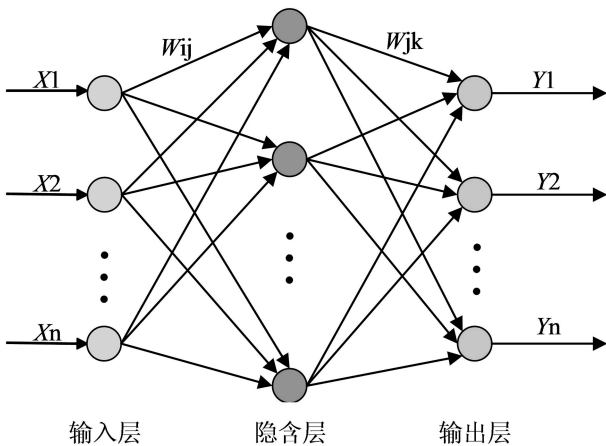


图 1 BP 神经网络架构

2.2 BP 神经网络训练步骤

BP 神经网络的训练步骤如下所示,主要涉及到 BP 神经网络模型的初始化操作,模型的构建以及权重更新等。

对河湖健康评价模型中的权重进行随机初始化,利用反正切函数归一化:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

将 BP 神经网络的状态参量进行整合,并且作为输入层的输入向量,输入层节点的个数主要取决于河湖健康评价系统中不相关评价指标的个数:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)^T \quad (2)$$

计算河湖健康评价系统中单个隐含节点的输

出。根据向量 X 、权值 w_{ij} 和阈值 a ,求隐含层输出 H ,其主要是借助不同的权重系数将河湖健康评价系统中的评价指标耦合在一起。单个隐含层节点输出为

$$net_j = w_{1j}x_1 + w_{2j}x_2 + \dots + w_{nj}x_n \quad (3)$$

最终隐含层单个神经元的输出:

$$H_j = f(net_j - a_j) \quad (4)$$

计算隐藏层所有节点的输出。由于所建立的隐藏层的层数和隐藏层节点的个数不止一个。因此,假定隐藏层的节点数目为 1,将所有的输出归一化操作,则隐含层的输出向量:

$$H = (H_1, H_2, \dots, H_j, \dots, H_l)^T \quad (5)$$

计算输出层节点输出大小。BP 网络所具备强大的回归能力和拟合能力,原因在于隐藏层是多层结构以及每一层具备多个节点。将所有隐藏层节点的输出综合起来作为下一隐藏层节点的输入,以此类推可以使得 BP 神经网络自动的向前传播。最后根据输出层 H 、权值 w_{jk} 和阈值 b ,可以求得 BP 神经网络的预测输出值 O 。输出层各神经元的输出值:

$$net_k = w_{1k}H_1 + w_{2k}H_2 + \dots + w_{lk}H_l \quad (6)$$

最终输出层单个神经元的输出值:

$$O_k = g(net_k - b_k) \quad (7)$$

输出层期望得到的健康指数表示为

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_k, \dots, y_m)^T \quad (8)$$

计算河湖生态健康系统预测误差。河湖健康评价系统得到的预测健康指数与期望得到的健康指数存在误差,误差值大小代表河湖健康评价系统准确度大小。通过期望输出 Y 和预测输出 O 求预测误差 e :

$$e_k = Y_k - O_k \quad (9)$$

由于河湖健康评价系统的期望值与预测值存在误差,BP 神经网络通过反向传播调整权重将误差缩小。根据预测误差 e 求解新的权值 w_{ij}, w_{jk} :

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta H_j (1 - H_j) x(i) \sum_k w_{jk} e_k \quad (10)$$

通过不断循环迭代上述计算过程,会使得河湖健康评价系统的预测健康指数和期望健康指数之间的差距越来越小。

为了能够更加清晰地表述 BP 算法的更新权值和阈值的过程,可用图 2 表示。当网络误差达到预设精度,则结束 BP 神经网络算法的迭代过程。否

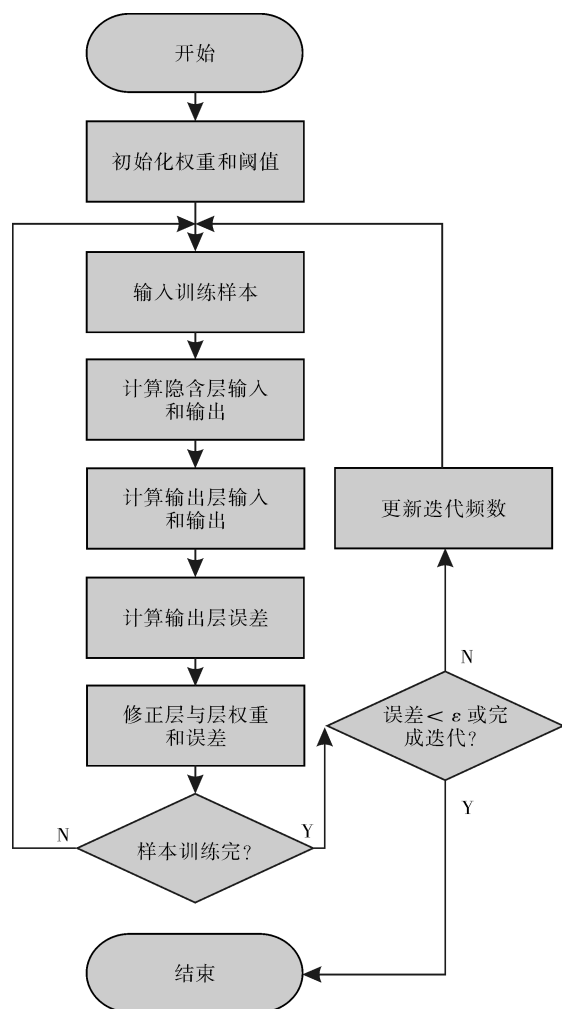


图2 BP神经网络算法示意

则,重复以上过程,直到满足停止条件。

3 河湖生态健康评价体系

3.1 评价指标筛选与确定

利用BP神经网络对河湖生态健康评价系统进行研究的过程中,需要全面考虑影响河湖生态健康的各层面指标。力求做到各指标之间不冗余、可区分性大、覆盖面广、可充分代表河湖生态健康的主要特征。

3.2 河湖生态健康评价分级

本研究将18项评价指标按照标准进行划分,除此之外,将河湖的生态健康评价共分为5类:健康、微健康、亚健康、微病态以及病态^[5],为便于利用数字化的方式对BP神经网络进行训练和测试,将上述的河湖生态健康分别用0,1,2,3,4进行表示^[6]。

3.3 河湖生态健康评价指标的样本处理

收集江苏省近几年河海生态的相关资料,构造

训练和测试样本。在标准的阈值范围内采用随机生成的方法构造200组样本,其中前170组用于BP神经网络模型的训练,最后30组用于检验模型。所生成样本类型,见表1。

本研究将影响河湖生态健康的指标分为4类,其分别是:水文特征、水质特征、水生态特征以及社会服务特征。每一个大类中包括若干河湖生态健康评价指标^[5],共计18项评价指标。

4 BP神经网络训练结果

本研究根据河湖评价指标设定输出层的个数为18个,根据实际的需求将隐含层的数量设置为3层^[7-8],隐藏层的数目分别是50、30、50。依据河湖健康评价等级将输出层的节点个数设置为5个。同时设定BP神经网络超参数:系统迭代误差为0.001,BP神经网络的迭代次数为1000次,最终的训练曲线见图3。

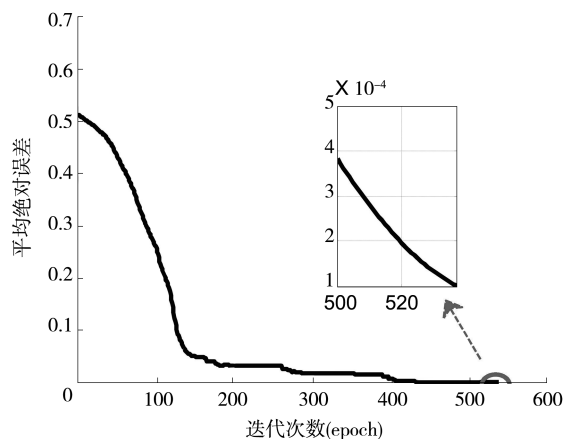


图3 误差结果

图3为BP神经网络对河湖生态健康评价系统中训练样本的结果,随着迭代的进行,BP神经网络训练误差呈现下降的趋势,特别是在训练初期,误差下降迅速。在迭代的后期,BP神经网络呈现收敛趋势,误差下降缓慢。图4是学习率的变化图,从图中可以看出,学习率逐步下降。图5是梯度变化值,从图中可以看出,在迭代的初期梯度值迅速下降,在迭代的后期梯度值几乎不变。整个BP神经网络算法在迭代次数为537次的时候,满足所设置的误差需求,停止迭代。

5 河湖生态健康评价测试

为了证明本研究针对河湖生态健康评价系统所提出的BP神经网络算法的有效性,本文将上述所得到的BP神经网络模型应用到河湖生态健康评

表 1 河湖生态健康评价指标

序号	水文特征					水质特征		水生态特征				社会服务功能							
	河岸植被覆盖度	岸坡稳定性	河道连通性	断面平均流速	生态流量保证率	水质综合指数	底泥污染指数	鱼类多样性	浮游植物多样性	底栖动物完整性	提防功能达标率	岸线利用率	公众满意度	被利用岸线完整率	供水保障率	水功能区水质达标率	通航保证率	水资源开发利用率	生态健康指数
1	95	92	0.9	2	97	1	0.95	2.6	2.6	2.6	98	97	95	0.9	99	95	98	8	0
2	96	95	0.9	6	98	1	0.98	2.7	2.9	2.9	99	98	92	1	98	93	96	7	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
300	55	66	0.5	0.5	76	3	0.48	1.3	0.8	0.7	67	55	56	0.48	76	65	77	47	2

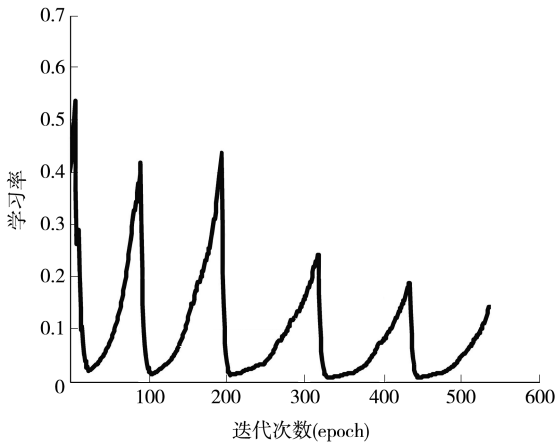


图 4 学习率曲线

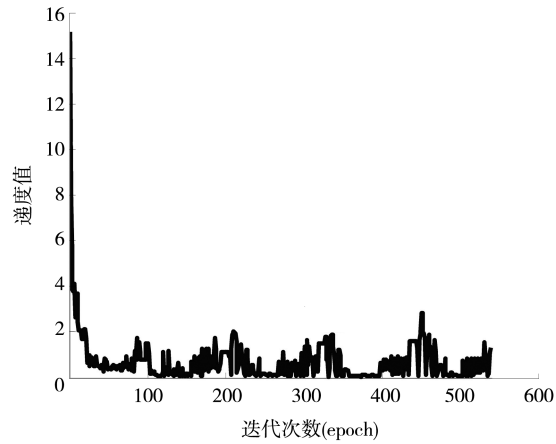


图 5 梯度变化曲线

价测试集,结果如图 6 所示。

图 6 表示的是 BP 神经网络对河湖生态健康预测结果。测试样本的个数为 30 个。纵坐标代表生态健康指数,横坐标代表所测试样本的序号。其中

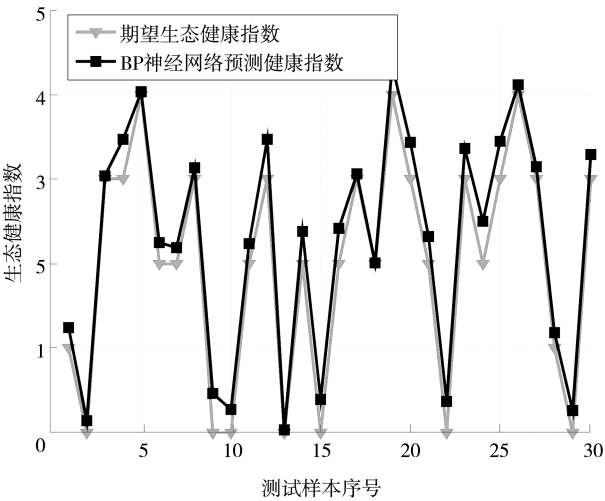


图 6 BP 神经网络测试结果

图中红色曲线代表河湖生态期望生态健康指数,蓝色曲线代表使用 BP 神经网络算法对河湖生态健康预测结果。可以看出,BP 神经网络预测的蓝色曲线基本与期望的红色曲线相吻合,证明了本研究所提出算法的有效性。

6 结 语

本文通过搭建 BP 神经网络模型、确立河湖生态健康评价指标,利用 BP 神经网络算法对河湖生态健康样本进行学习归纳,最终可针对河湖生态健康指数做出预测。同时可将所获得的 BP 神经网络预测模型应用到工程实践当中,为河湖生态健康预测提供一定的研究基础。

参考文献:

- [1] 崔东文,金波. 基于随机森林回归算法的水生态文明综合评价[J]. 水利水电科技进展, 2014, 35(5):56-60.
- [2] 王桂林, 郦息明, 陶淑芸. 连云港市典型河湖健康评价研究[J]. 江苏水利, 2017(3):28-33.
- [3] 张智伟. 江苏省河流健康评价指标体系细化研究[J]. 江苏水利, 2016(7):27-29.
- [4] 段长桂, 董增川, 管西柯, 等. 基于猴群算法的投影寻踪模型在河流健康评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2017(10):57-60.
- [5] 单红喜. 基于模糊数学的河道健康综合评价方法研究[J]. 江苏水利, 2018(5):61-66.
- [6] 刘飞, 凌洪军, 路广宽. 基于改进随机森林算法的通榆河水生态健康状况评价研究[J]. 江苏水利, 2019(10):18-22.
- [7] XU M, ZENG G M, XU X Y. Application of Bayesian regularized BP neural network model for analysis of aquatic ecological data;a case study of chlorophyll-a prediction in Nanzui water area of Dongting Lake[J]. Journal of Environmental Sciences, 2005, 17(6):946-952.
- [8] MO M, WANG X, WU H, et al. Ecosystem health assessment of Honghu Lake Wetland of China using artificial neural network approach[J]. Chinese Geographical Science, 2009(4):61-68.

(上接第14页)

民的生产、生活环境条件,改善生活质量,也将会从侧面促进当地经济的发展。水系连通工程建设,有助于保护当地居民免受洪涝、干旱等自然灾害,改善生活环境水平。国民经济发展、生活环境改善、居民收入提高对于人心安定、社会平稳具有重要的意义。

5 结 语

以徐州市铜山区水系连通工程为例,对水系规划建设进行研究。通过3个排水区水系连通工程建设,有助于改善当地河水水质、保护居民免受洪涝灾害,经济、环境、社会效益较为显著,使用主成分分析法评价影响水系连通性的主要指标为河频率、水面率以及节点连接率。可为徐州市其他地区水系连通工程建设提供参考。

参考文献:

- [1] 梅震伟, 巩玉成, 郝玉伟, 等. 滨州市城区河湖水系连通工程规划[J]. 水利技术监督, 2019(4):113-115, 178.
- [2] 刘昱, 杨卫, 闫少峰. 城市水系连通与景观设计初探:以黄冈水系连通工程为例[J]. 长江技术经济, 2019, 3(1):76-80.
- [3] 陈磊, 张洪记. 自贡东部新城水系连通工程设计概述[J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(12):168-170.
- [4] 崔广柏, 陈星, 向龙, 等. 平原河网区水系连通改善水环境效果评估[J]. 水利学报, 2017, 48(12):1429-1437.
- [5] 孟慧芳. 鄞东南平原河网区水系结构与连通变化及其对调蓄能力的影响研究[D]. 南京:南京大学, 2014.
- [6] 靳梦. 郑州市水系连通的都市化响应研究[D]. 郑州:郑州大学, 2014.
- [7] 靳梦, 窦明. 都市化对水系连通功能影响评价研究:以郑州市为例[J]. 中国农村水利水电, 2013(12):41-44, 50.
- [8] 邵玉龙, 许有鹏, 马爽爽. 太湖流域都市化发展下水系结构与河网连通变化分析:以苏州市中心区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(10):1167-1172.
- [9] 王刚, 代晴, 牛平平, 等. 徐州市水系规划方案研究及水系连通性评价[J]. 水利技术监督, 2019(2):197-199, 232.