

双隐层 BP 神经网络模型在区域 水安全评价中的应用

胡 昌 军

(云南省麻栗坡县水务局, 云南 麻栗坡 663600)

摘 要: 基于 BP 神经网络的基本原理和方法, 构建双隐层 BP 神经网络水安全评价模型。以相关文献资料进行模型评价效果验证。验证表明: 所建立的双隐层 BP 评价模型和评价方法是合理可行的, 是一种可以运用的区域水安全评价方法。基于此模型, 结合丰水地区区域实际, 利用层次分析法构建了符合丰水地区水安全评价的指标体系和标准, 以文山州区域水安全评价为例进行分析。结果表明: 文山州各评价区域不同规划水平年水安全评价等级为Ⅳ~Ⅱ级, 即处于不安全与安全之间, 客观反映了文山州现状及中、长期水安全状况, 符合区域实际, 评价结果可作为研究区域水安全评价的参考依据。

关键词: BP 神经网络; 双隐层; 水安全评价; 文山州

中图分类号: X321

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)03-0196-05

Application of two – hidden layer BP neural network model in evaluation of regional water safety

HU Changjun

(Yunnan Province Malipo County Water Authority, Malipo 663600, China)

Abstract: Based on the basic principle and method of BP neural network, this paper built the water security evaluation model of BP neural network of double hidden layers. The evaluation model was verified by relevant literature. The results shows that the evaluation model and method of double hidden layer BP is reasonable and feasible and is a regional water security evaluation method witch can be used. Based on this model, combined with the situation of wet areas, the paper set up a water safety evaluation index system and standard by using analytic hierarchy process, and evaluated the water security by taking Wenshan for example. The results show that water safety evaluation grade at each evaluation region of Wenshan in different level years is Ⅱ – Ⅳ, which is between unsafe and safe and reflects the objective situation and medium and long – term water security condition of the area, and is consistent with regional actual, evaluation results can be used as regional water security evaluation reference for research area.

Key words: BP neural network; double hidden layer; water safety evaluation; Wenshan of Yunnan Province

1 概 述

水安全问题是一个涉及生态、经济、社会等多方面的问题,它直接关系到一个国家或地区的稳定和安全,愈来愈受到各国的广泛关注^[1-2]。而科学构建水安全评价的指标体系和评价方法,是新时期我国水资源安全战略研究的重要组成部分。但由于对水安全的理解不同以及存在区域差异,水安全评价指标的选取和评价等级的划分就各有不同^[3]。目前水安全评价研究处于定性分析阶段,尚缺乏可操作的定量方

法,其中的关键问题,一是如何合理制定水安全评价指标体系及其等级评价标准,二是在随机、模糊等不确定性环境下如何合理建立有效的定量评价模型^[4-5]。其主要评价方法有水贫困指数法^[6]、主分量分析评价法^[7]、模糊评价法^[8]、物元评价法^[9]、集对分析评价法^[10]、层次分析评价法^[11]、属性识别理论评价法^[12]等以及若干方法的相互耦合^[13],这些方法各有其优缺点,在实际应用中均受到一定限制。为客观对区域水安全进行综合评价,本文构建了双隐层 BP 神经网络模型对文献[1]和文献[2]中“山东省水安全

评价指标分级标准及可行方案”进行评价,并在评价分析的基础上,结合丰水地区区域实际,对文献提出的水安全评价指标体系和分级标准进行修正,使之符合区域实际,并利用层次分析法构建符合丰水地区水安全评价的指标体系和标准,将之运用于文山州区域水安全评价分析中,为研究区域的水安全评价提供一种新的有效方法和途径。

2 双隐层 BP 网络水安全评价模型

2.1 双隐层 BP 网络模型

BP 网络是一种单向传播的多层前馈神经网络,其主要特点是信号前向传播,误差反向传播。在前向传播中,输入信号从输入层经隐含层逐层处理,直至输出层。每一层的神经元状态只影响下一层神经元状态,如果输出层得不到期望输出,则转入反向传播,根据预测误差调整网络权值和阈值,从而使 BP 神经网络预测输出不断逼近期望输出。由非线性变换单元组成的 BP 神经网络,不仅结构简单,而且具有良好的非线性映射能力,其广泛应用于函数逼近、模式识别、分类和数据压缩等领域^[14-16]。根据隐含层数的多少,BP 网络可以划分为单隐含层网络和多隐含层网络。理论上,一个三层的 BP 网络已能映射或逼近任何有理函数,故常采用含有一个隐层的 BP 网络。同单隐含层相比,多隐含层泛化能力强,预测精度高。隐含层层数的选择需从网络精度和训练时间上综合考虑,对较简单的映射关系,在网络精度达到要求的情况下,可以选择单隐含层,以求加快增速度;对于复杂的映射关系,则可以选择多隐含层,以期提高网络的预测精度^[17-18]。本文在设计过程中发现,针对复杂多指标的区域水安全评价,双隐层 BP 网络更加有效。限于篇幅,双隐层 BP 网络的拓扑结构及算法步骤及可参阅相关文献^[14,18-20]。

2.2 BP 网络改进算法^[14]

梯度下降法在最初几步下降较快,但随着接近最优值,梯度趋于零,导致误差函数下降缓慢、容易陷入局部极小值等不足,而牛顿法则可在最优值附近产生一个理想的搜索方向,克服了这一缺点。Levenberg - Marquardt 法实际上是梯度下降法和牛顿法的结合,其比传统的 BP 及其他改进算法有迭代次数少,收敛速度快和精确度高等优点。L - M 算法基本思想是使其每次迭代不再沿着单一负梯度方向,而是允许误差沿着恶化的方向进行搜索,同时通过在最速梯度下降和高斯 - 牛顿法之间自适应调整来优化网络权值,使网络能够有效收敛,提高网络

的收敛速度和泛化能力。

L - M 算法权值调整公式为:

$$\Delta w = (J^T J + \mu I)^{-1} J^T e \tag{1}$$

式中: Δw 为权值及阈值变化量; J 为误差对权值微分的雅可比矩阵; I 为单位矩阵。 e 为误差向量; μ 为标量。Matlab 中的工具函数 trainlm() 即对应 Levenberg - Marquardt 法的改进算法。本程序采用 trainlm 训练函数。

2.3 双隐层 BP 评价模型的建立

基于双隐层 BP 神经网络模型的区域水安全评价建模包括:双隐层 BP 神经网络构建、BP 神经网络训练和 BP 神经网络评价三步,算法流程如图 1。

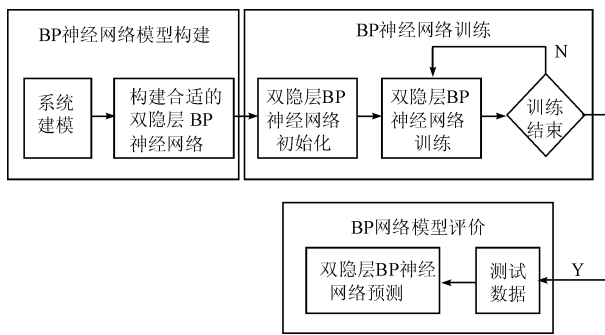


图 1 区域水安全评价流程

2.4 对参考文献[1-2]水安全评价的实现

2.4.1 指标一致性处理 由于文献[1]和文献[2]中评价标准分为正向指标和负向指标,对于正向指标其值越大则评价越优;负向指标取值正好相反,即相应的值越小其评价越优。本文将负向指标进行处理,即对这些指标的原始值取倒数^[21-22](为便于计算,取倒后再同时乘以 100)。

2.4.2 数据处理 由于网络的各个输入数据常常具有不同的物理意义和不同的量纲及数量级,因此,在网络训练前要先对于原始数据进行归一化处理。数据归一化方法很多,本文采用最大最小法,公式如下:

$$\hat{x} = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \tag{2}$$

式中: $\hat{x}$ 为经过标准化处理的数据, x 为原始数据, $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 分别为数据序列中的最大数和最小数。经过标准化处理后,数据处于[0 ~ 1]范围之内,有利于网络训练。

2.4.3 训练样本设计 本文依据文献[1]和文献[2]中“山东省水安全评价指标及分级标准”,以各评价因子上下限(极小极大值)为限值,利用线性插值方法将各评价因子插值得到 100 个训练样本,并利用隶属度原理将之划分为 5 个等级,即 1 ~ 20 号样本为 V 级,对应隶属度[0,0.2);21 ~ 40 号样本为

Ⅳ级,对应隶属度 $[0.2,0.4)$;41~60号样本为Ⅲ级,对应隶属度 $[0.4,0.6)$;61~80号样本为Ⅱ级,对应隶属度 $[0.6,0.8)$;81~100号样本为Ⅰ级,对应隶属度 $[0.8,1.0]$,即将每一评价指标的100个样本作为学习样本,以文献[1-2]中方案1~3为测试样本,即为待评价样本,见表1。

表1 水安全评价学习样本及隶属度

学习样本	评价等级	隶属度	水资源配置定性描述
1~20号	V级	0~0.2	极不安全
21~40号	Ⅳ级	0.2~0.4	不安全
41~60号	Ⅲ级	0.4~0.6	基本安全
61~80号	Ⅱ级	0.6~0.8	安全
81~100号	Ⅰ级	0.8~1.0	非常安全

2.4.4 网络训练 本文采用四层BP神经网络(双隐层)对区域水安全进行评价,网络包括输入层、隐含层和输出层3部分。以文献[1]和文献[2]中 $x_1 \sim x_{23}$ 指标作为输入向量,即输入层神经元个数为23个;以对应隶属度作为输出向量,即输出层的神经元数为1个;对于各隐层神经元个数的选取,目前并没有统一

的计算方法,本文采用目前较为普遍的Kolmogorv定理^[23-24]确定隐含层单元数,主要做法是:先依据Kolmogorv定理得出一个初始神经元数,然后利用逐步增长或逐步修剪法确定最终神经元数^[18],经过反复试数,本例选取第一个隐层神经元数为18,第二个隐层神经元数为20,即网络评价模型结构为23-18-20-1,隐含层和输出层传递函数分别采用tansig和logsig,训练函数采用trainlm,阈值和权值的学习函数采用learnngd,性能函数采用mse,设定期望误差为 1×10^{-7} ,最大训练迭代为2 000次。经过计算,网络达到了较好的训练精度和评价要求。由网络训练误差变化曲线可得出,实际输出与期望输出拟合的结果是相关系数 $R=1.0000$ 。

2.4.5 水安全评价 利用上述训练好的双隐层BP神经网络模型对文献[1]和文献[2]中方案1~方案3进行水安全评价,并与之进行对比,其评价结果与文献[1]和文献[2]中的评价结果完全一致,表明研究建立的双隐层BP评价模型和评价方法是合理可行的,是一种可以运用的区域水安全评价方法。评价结果见表2。

表2 山东省水安全评价等级及其比较

方案	本文评价结果		文献[1]			文献[2]
	评价结果	评价等级	贝叶斯法	综合指数法	属性识别法	TS-SVM模型评价法
方案1	0.5508	Ⅲ级 基本安全	Ⅲ级 基本安全	Ⅲ级 基本安全	Ⅲ级 基本安全	Ⅲ级 基本安全
方案2	0.3808	Ⅳ级 不安全	Ⅳ级 不安全	Ⅳ级 不安全	Ⅳ级 不安全	Ⅳ级 不安全
方案3	0.3286	Ⅳ级 不安全	Ⅳ级 不安全	Ⅳ级 不安全	Ⅳ级 不安全	Ⅳ级 不安全

3 实例应用

3.1 研究区域概况

文山州位于云南省东南部,属亚热带低纬度高原季风气候区,全州总面积31 456 km²,辖文山、砚山、西畴、麻栗坡、马关、丘北、广南、富宁8县,现人口345万。境内河流分属珠江流域和红河流域,珠江流域为西江水系,面积17 145 km²,占全州总面积的54.5%,主要有南盘江、清水江、驮娘江、西洋江、普厅河、那马河等;红河流域为泸江水系,面积1 4311 km²,占全州总面积的45.5%,主要有盘龙河、八布河、南利河、迷福河、那么果河等。境内降水量及水资源总量相对丰富:多年平均降水量1 178.5 mm,水资源总量157.7亿m³。近年来,随着城市的快速发展,水域纳污能力、用水效率、防洪能力以及洪涝灾害等问题日益突显,已成为影响区域经济社会和水资源可持续发展的瓶颈^[25]。

3.2 区域水安全评价指标及评价标准

由于文献[1]和文献[2]中“山东省水安全评价指标及分级标准”并不完全适用于丰水区域的水安全评价,本文结合丰水地区水资源开发利用现状,利用层次分析法构建适用于丰水地区水安全评价的指标体系和标准,即将水安全评价指标体系分为目标层A、准则层B和指标层C3个层次。目标层A主要用于综合评价区域水安全状况;准则层B用于反映水安全水平和内部协调性;指标层C反映水安全水平中各个准则层的具体指标^[21]。丰水区域水安全评价指标体系及评价标准见表3。

3.3 评价结果及分析

依据表3丰水区域水安全评价指标体系及评价标准,利用上述训练好的双隐层BP神经网络模型对文山州区域不同规划水平年水安全状况进行评价,结果见表4。

表 3 丰水区域水安全评价指标体系及评价标准 m³, L/d, %, 元, m³/万元, kg/a, hm²

目标层 A	准则层 B	指 标	指标层 C					
			I 非常安全	II 安全	III 基本安全	IV 不安全	V 极不安全	极大值 极小值
区域水安全评价	生命安全	人均水资源量	5000	4000	3000	2000	1000	10000 1000
		人均生活用水量	220	180	140	100	60	300 60
		饮用水达标率	99.5	97.5	94.5	91.5	88.5	100 80
	经济安全	人均 GDP	15000	13458	10670	7882	5000	20000 3000
		工业万元产值取水量	5.0	16.5	30.0	43.5	55.0	80.0 3.0
		工业用水重复利用率	90	80	70	60	50	100 30
		人均粮食	530	467	400	333	280	800 250
		人均有效灌溉面积	0.073	0.061	0.05	0.037	0.03	0.1 0.02
	生态安全	地表水功能区达标率	98	82.5	67.5	52.5	38	100 30
		GDP 废水排放量	10	15	25	30	50	60 5
		植被覆盖率	40	30	20	10	5	80 5
		污径比	1.0	4.35	6.6	8.85	12.25	15 0.5
		区域水土流失率	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	90 10
	社会安全	干旱受灾面积率	5	10	20	25	35	60 2
		洪涝受灾面积率	1	3	5	10	15	20 1
		水灾害损失占 GFP 比例	0.5	2	3	5	5.5	10.0 0.4
		河道防洪达标率	97	91	83	74.5	65	100 20
		城市防洪达标率	97	91	83	74.5	65	100 50
	管理安全	水利投资占 GDP 比例	1.5	0.87	0.605	0.335	0.15	2 0.1
		城市管网供水利用率	95	90	85	80	70	100 70
		灌溉水利用系数	0.90	0.80	0.70	0.6	0.45	1 0.4
		水利现代化投资比例	6	4.75	3.25	1.75	0.5	6 0.4
		管理人员学历结构系数	0.95	0.85	0.75	0.65	0.55	1 0.4

表 4 文山州区域不同规划水平年水安全评价结果

评价区域	2010 年		2020 年		2030 年	
	输出结果	评价等级	输出结果	评价等级	输出结果	评价等级
文山州	0.3434	Ⅳ级 不安全	0.6065	Ⅱ级 安全	0.6952	Ⅱ级 安全
文山县	0.3114	Ⅳ级 不安全	0.5989	Ⅲ级 基本安全	0.6937	Ⅱ级 安全
砚山县	0.2805	Ⅳ级 不安全	0.5808	Ⅲ级 基本安全	0.6953	Ⅱ级 安全
西畴县	0.3583	Ⅳ级 不安全	0.6409	Ⅱ级 安全	0.6973	Ⅱ级 安全
麻栗坡县	0.3666	Ⅳ级 不安全	0.5854	Ⅲ级 基本安全	0.6881	Ⅱ级 安全
马关县	0.3473	Ⅳ级 不安全	0.5893	Ⅲ级 基本安全	0.6810	Ⅱ级 安全
丘北县	0.3439	Ⅳ级 不安全	0.5928	Ⅲ级 基本安全	0.6919	Ⅱ级 安全
广南县	0.3367	Ⅳ级 不安全	0.6411	Ⅱ级 安全	0.6990	Ⅱ级 安全
富宁县	0.4341	Ⅲ级 基本安全	0.6780	Ⅱ级 安全	0.7317	Ⅱ级 安全

说明:不同规划水平年水安全评价资料主要来源于《文山州水资源综合规划》等。

分析表 4 可以得出以下结论:

(1)文山州各评价区域不同规划水平年水安全评价为Ⅳ~Ⅱ级,即处于不安全与安全之间,反映了文山州现状及中、长期水安全状况,符合区域实际,说明研究建立的双隐层 BP 神经网络水安全评价模型和评价方法是合理可行的,评价结果可以作为研究区域水安全评价的参考依据。

(2)现状水平年除富宁县外其他评价区域水安

全评价等级均为不安全,评价区域主要在经济、生态、社会和管理安全方面表现较差。具体主要受万元工业取水量、工业重复利用率、水土流失率、干旱受灾面积、水灾害损失比例、河道防洪达标率、城市防洪达标率、城市管网供水利用率和灌溉水利用系数等指标的影响,尤其是 2010 年西南地区大旱,使得干旱受灾面积指标对水安全评价等级贡献率较大。

(3)从中、长期规划后的水安全状况来看,各评

价区域水安全评价等级为Ⅲ~Ⅱ级,处于基本安全与安全之间,说明随着“资源水利”的快速推进和“三条红线”制度的实施,即采取调整产业结构、提升用水效率,建设防洪保安体系、综合治理水环境,完善水资源管理等工程非工程措施,区域水安全评价日趋安全。但区域经济的快速发展,人口激增与水资源供需矛盾日益突出,人均水资源量、污径比等指标成为影响水安全评价的主要因素。

(4)整体而言,各区域水安全评价随着现状—中期—长期逐渐趋于安全。但由于受长期规划预测数据精确度的影响,2030年各评价区域水安全评价结果相差不大,这主要是在生态、社会和管理安全方面的评价指标均取同一预测值所致。

4 结 语

(1)本文构建了双隐层BP神经网络水安全评价模型,以文献[1]和文献[2]中资料对模型效果进行评价及验证。评价结果与文献评价结果相同,表明将BP网络模型应用于水安全评价是合理可行的。

(2)水安全评价指标体系的选取及评价分级标准的制订是否适当是区域水安全评价结果是否符合客观实况的关键所在。本文结合区域实际,利用层次分析方法构建了符合丰水地区水安全评价的指标体系和标准,并利用训练、验证好的双隐层BP网络模型对文山州区域水安全进行综合评价,取得了令人满意的评价效果,可为合理保护、利用水资源,实现水资源、水环境系统与社会经济协调发展提供参考依据,又可为智能科学在水安全评价中开拓新的应用领域。

参考文献:

- [1] 李祚泳,汪嘉杨,王文圣,等.基于广义对比加权的水安全综合指数评价[J].水资源保护,2009,25(4):5-8.
- [2] 汪嘉杨,王文圣,李祚泳,等.基于TS-SVM模型的水安全评价[J].水资源保护,2010,26(2):1-4.
- [3] 梁灵君,王树谦,王慧勇.区域水资源安全评价研究初探[J].东北水利水电,2006,24(4):12-14+18+71.
- [4] 金菊良,吴开亚,魏一鸣.基于联系数的流域水安全评价模型[J].水利学报,2008,39(4):401-409.
- [5] 金菊良,王文圣,洪天求,等.流域水安全智能评价方法的理论基础探讨[J].水利学报,2006,37(8):918-925.
- [6] 郭梅,许振成,彭晓春.水资源安全问题研究综述[J].水资源保护,2007,23(3):40-43,51.
- [7] 施春红,胡波.城市供水安全综合评价探讨[J].资源科学,2007,29(3):80-85.
- [8] 王远坤,夏自强,曹升东.水安全综合评价方法研究[J].河海大学学报(自然科学版),2007,35(6):618-621.
- [9] 张龙云,曹升乐.农村水安全综合评价[J].水电能源科学,2007,25(4):12-14.
- [10] 卢敏,张展羽,石月珍.集对分析法在水安全评价中的应用研究[J].河海大学学报(自然科学版),2006,34(5):505-508.
- [11] 樊彦芳,刘凌,陈星,等.层次分析法在水安全综合评价中的应用[J].河海大学学报(自然科学版),2004,32(5):512-514.
- [12] 张龙云,曹升乐,杨尚阳.属性识别理论在水安全评价中的应用研究[J].山东大学学报(工学版),2006,36(5):70-72.
- [13] 黄乾,彭世彰,田守岗,等.模糊物元模型在区域水安全评价中的应用[J].河海大学学报(自然科学版),2007,35(4):379-383.
- [14] 张德丰,等. MATLAB神经网络应用设计[M].北京:机械工业出版社,2009.1.
- [15] 张良均,曹晶,蒋世忠.神经网络实用教程[M].北京:机械工业出版社,2008.2.
- [16] 丛爽.面向MATLAB工具箱的神经网络理论与应用[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2009.4.
- [17] 范佳妮,王振雷,钱锋.BP人工神经网络隐层结构设计的研究进展[J].控制工程,2005,12(S0):105-109.
- [18] MATLAB中文论坛. MATLAB神经网络30个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010.4.
- [19] 苑希民,李鸿雁,刘树坤,等.神经网络和遗传算法在水科学领域的应用[M].北京:中国水利水电出版社,2002.8.
- [20] 阎平凡,张长水.人工神经网络与模拟进化计算[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [21] 耿雷华,卞锦华,徐澎波,等.水资源合理配置评价指标体系研究[M].北京:中国环境科学出版社,2008.10.
- [22] 王顺久,张欣莉,倪长键,等.水资源优化配置原理及方法[M].北京:中国水利水电出版社,2007.10.
- [23] 董长虹. MATLAB神经网络与应用[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [24] 赵振宁.模糊理论和神经网络的基础与应用[M].北京:清华大学出版社,1996.
- [25] 文山州水利电力勘测设计院.文山壮族苗族自治州水资源综合规划报告[R].云南文山:文山州水利电力勘测设计院,2009.6.