基于 GIS－BP 神经网络的生态地质环境敏感性评价——以千山景区及周边为例

孙浩然[1],杨 维[1],郭亚伟[1],李仁峰[2],高雅玲[1]
(1 沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁沈阳 110168;2 辽宁省冶金地质勘查局地质勘查研究院,辽宁鞍山 114002)

[摘 要] 在对千山风景区及周边地区进行了长达半年的基于3S技术的生态地质环境调查的基础上,选取包气带岩性、坡度、地质灾害、湿度指数、植被指数、土壤层厚度、土壤质量、地下水位埋深、径流系数、采矿、旅游等11项敏感性因子,采用BP网络模型在MAPGIS平台上对千山风景区及周边地区的生态地质环境敏感性进行了评价,评价结果真实反映了研究区的生态地质环境敏感性现状的同时,显示出基于GIS平台的BP神经网络模型进行生态地质环境敏感性评价的特点和优势。

[关键词] 生态地质环境敏感性;3S技术;指标体系;BP神经网络模型
[中图分类号] X141 [文献标识码] A [文章编号] 1004－1184(2009)06－0126－03

Sensitivity Evaluation of Eco－geological Environment Based on GIS－BP Neural Network－Taking Qianshan Scenic Zone and Its Periphery for Instance

SUN Hao－ran[1], YANG Wei[1], GUO Ya－wei[1], LI Ren－feng[2], GAO Ya－ling[1]
(1. School of Municipal and Environmental, Shenyang Jianzhu University., Shenyang 110168, Liaoning, China; 2. Geological Prospecting Institute of Liaoning Metallur－geological Prospecting Bureau, Anshan 114002, Liaoning, China)

Abstract: After taking 3S technology－based eco－geological environment investigation in Qianshan scenic zone and its periphery for six months, we select eleven sensitive factors, which include vadose lithology, slope, geological disasters, humidity index, vegetation index, soil layer thickness, soil quality, water table depth, runoff coefficient, mining, tourism and so on, to evaluate the sensitivity of the study region by using BP network model on MAPGIS platform. The result not only truly reflect the present in the studied region, but also reveal the characteristics and advantages of BP neural network model based on GIS platform in evaluating the sensitivity of the eco－geological environment.

Key words: Sensitivity of eco－geological environment, 3S technology, index system, BP neural network model

0 引言

生态地质环境敏感性是指生态系统对各种环境变异和人类活动反应的敏感程度,用来反映产生生态失衡与生态地质环境问题的可能性大小。生态地质环境敏感性评价的实质就是评价具体的生态过程在自然状况下潜在的产生生态地质环境问题的可能性大小。[1]当前生态地质环境敏感性评价主要采用多因子叠加分析,但多因子叠加分析时需要确定因子权重,对于综合评价结果,需要人为划分等级及分区个数。这些过程降低了分区的客观性、合理性和可重复性。[2]

人工神经网络模型具备自组织、自适应、自学习和具有容错性等优良性质以及复杂的并行分布处理能力,能从具体的学习样本出发,获得基于客观数据的权重,并对生态地质环境敏感性进行较为精确的评价。[2]本研究以辽宁省千山风景区及周边为例,基于3S技术且运用BP神经网络进行生态地质环境敏感性评价。

1 BP网络模型基本原理

BP(Back Propagation)网络即反向传播网络,是目前人工神经网络模式中最具代表性、应用最广泛的一种模型。BP网络模型结构由一个输入层、一个输出层和一个或多个隐蔽层组成,各层次的神经元之间单向全互联连接,最简单的网络为三层。

BP网络的基本原理:利用最陡坡降法的概念,将误差函数予以最小化。误差逆传播是BP网络的灵魂,它把网络输出出现的误差归结为各连接权的"过错",通过把输出层单元的误差逐层向输入层逆向传播以"分摊"给各单元,从而获得各层单元的参考误差以便调整相应的连接权,直到网络的误差达到最小化。[3]

BP网络由4个过程组成:(1)输入模式由输入层经中间层向输出层的"模式顺传播"过程;(2)网络的希望输出与网络实际输出之间的误差信号由输出层经过中间层向输入层逐层修正连接权的"误差逆传播过程";(3)由"模式顺传播"与"误差逆传播"反复交替进行的网络"记忆训练过程";(4)网络趋向收敛,即网络的全局误差趋向极小值的"学习过程。[4－5]本研究BP网络模型的流程图如图1所示。

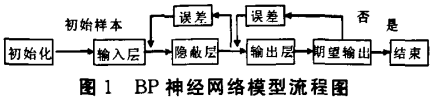


图1 BP神经网络模型流程图

BP算法的基本思想是:对于一个输入样本,经过权值、阈值、激励函数运算后,得到一个出点,然后让他与期望的样本进

[收稿日期] 2009－05－04
[基金项目] 辽宁省自然科学基金项目(20072012),辽宁省冶金局科技项目(20071207)
[作者简介] 孙浩然(1984—),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要从事环境工程方面的研究。

万方数据

行比较，若有偏差，则从输出开始反向传播该偏差，进行权值、阈值调整，使网络输出逐渐与希望输出一致。[6] 如图 1 所示，数据经初始化后赋予网络相邻两层节点间的连接权值 Wij 、V jt 和阈值 θj 、θt 为(-1,1) 间的随机数，信息正向传递过程将第 l 个学习样本输入 BP 网络后，计算隐蔽层第 j 个节点的期望输出 hj 和输出层第 t 个节点的实际输出 Ot ；设第 l 个样本在输出层第 t 个节点的期望输出和实际输出分别为 Kt(l) 、Ot(l) ，用梯度下降法计算得到该输出节点处的误差 δt(l) ，将误差逆向传播，并计算隐蔽层第 j 个节点输出误差 rj ；由误差 δt(l) 及 rj 将权值和阈值进行调整。按上述过程将全部 L 个样本让网络学习一遍之后，计算均方误差 E ：

$$E=\frac{1}{L}\sum_{l=1}^{L}[W_t(l)-K_t(l)]^2$$

设定精度 ε，若 E <ε，网络训练完毕；否则，网络按上述步骤继续学习，直到 E <ε 为止。以上过程均是以 MATLAB 语言构建的，在 MATLAH6.5 中有神经网络工具箱，利用其提供的初始化、训练、激活等函数可以方便地完成整个学习过程。

2 基于 BP 网络模型的千山景区及周边生态地质环境敏感性评价

千山风景区位于辽宁省鞍山市东南部，距市区 17 km，是国家著名的 4A 级风景区。景区分为风景观光区和温泉度假区。风景区周围分布有大孤山铁矿、眼前山铁矿、东鞍山铁矿和齐大山铁矿 4 个大型铁矿山，其中大孤山铁矿与景区直接接壤。

2.1 指标体系

基于遥感(RS)、全球定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)为主的 3S 技术平台，在对调查区基于进行了长达半年的生态地质环境调查及生态地质环境质量评价的基础上，根据调查区的实际情况最终确定涉及“地质环境”、“生态环境”、“土壤环境”、“水环境”、“人类活动”五个方面的包气带岩性、坡度、地质灾害、湿度指数、植被指数、土壤层厚度、土壤质量、地下水位埋深、径流系数、采矿、旅游等 11 项指标为生态地质环境敏感性评价因子。

2.1.1 地质环境

地质环境条件中的敏感因子包括包气带岩性、坡度和地质灾害。鞍山地区出露地层以下元古界辽河群和新生界第四系最为发育，千山风景区内主要为千山花岗岩，另有少量的混合岩和花岗斑岩，土壤类型以棕壤为主。包气带岩性岩石孔隙度越大，透水性越强，地下水环境受污染的几率越大，越不利于生态地质环境的稳定，敏感性越强；坡度的陡缓直接影响水土的保持和植被组合，坡度越陡越不利于水土的保持，从而影响植被，甚至导致基岩裸露，加速风化，影响生态地质环境质量的同时使得生态地质环境的敏感性增大；地质灾害影响了景区的生态环境，已经发生的地质灾害局部区域及其附近还有很大的可能复活形成新的灾害或者转而形成其它类型的地质灾害。

2.1.2 生态环境

生态环境条件中的敏感性因子包括湿度指数和植被指数。植被指数定量地表明了植被活力，它反映了生态环境质量现状的同时也在一定程度上说明着生态地质环境的敏感性，植被指数越高，越有利于生态系统的稳定，从而越有利于生态地质环境的稳定；适宜的水与热量是一切生物生存繁衍的根本条件，是生态系统保持稳定的前提，所以湿度指数也是生态地质环境敏感性的影响因素之一。

2.1.3 土壤环境

土壤环境条件中的敏感因子包括土壤层厚度和土壤质量。全区大部为低山丘陵，平均土壤厚度较薄。土壤层的厚度影响生态地质环境敏感性主要表现在，土壤层就像一层生态地质环境的保护层，污染物赋存并且透过土壤层进入水循环系统等都与土壤层的厚度有关；植物直接生长在土壤中，根系通过土壤吸收生长所需要的养分，土壤质量的好坏直接影响生态地质环境质量和敏感性的好坏。

2.1.4 水环境

水环境条件中的敏感因子包括地下水位埋深和径流系数。地下水埋深决定了污染物到达含水层之前传输媒介材料的深度，有助于确定与周围介质接触的时间，提供了污染物与大气中的氧接触致使其氧化的最大机会。通常地下水位埋藏深度越深，污染物到达含水层所需时间越长，则污染物稀释与降解的机会就越多。地下水特别是地下潜水(浅层地下水)的埋深直接影响植被的生长，其中的污染物通过水循环和植物对水分的吸收而进入植物体内，从而影响生态地质环境的敏感性；径流系数也在一定程度上反映了区域土壤和植被的蓄水能力，对生态地质环境的稳定性具有重要影响。

2.1.5 人类活动

人类活动条件中的敏感因子包括采矿和旅游。采矿活动对调查区生态地质环境质量造成破坏的同时，对与周边生态地质敏感性的影响具体表现在地形地貌剧变、人为地质灾害隐患、矿山废物的排放等均将对生态地质环境系统的稳定性造成强烈冲击；旅游区的旅游活动本身就会加重对风景区生态地质环境系统稳定性的负荷，主要表现在景区公路的开发、旅游设施的修建等方面。

2.2 分级标准

由于生态地质环境区域上存在的分异性，决定了指标的选取、分级和量化都具有很强的区域特征，因此必须考虑特定区域的实际情况，结合文献[7]具体分级量化标准见表 1：

根据上述分级标准，结合野外调查资料将各敏感性因子在 GIS 平台上分别成图，其中坡度、湿度指数和植被指数图层信息来自遥感解译。

2.3 评价过程

根据需要选取隐含层的个数，一般使用一个隐蔽层时精度较高，此层神经元理论上由下面公式确定：隐蔽层神经元数目＝(输入层神经元数目×输出层神经元数)$^{1/2}$，从而建立起 BP 神经网络的生态地质环境敏感性评价模型。本次敏感性评价的输入层神经元数目为 11，输出层神经元数目为 5，由上式计算得隐蔽层神经元数目为 8，从而 BP 网络的结构可确定为 11—8—5。

首先随机赋予 BP 网络初始权值 W_{ij}、V_{jt} 和阈值 θ_j、θ_t 为(-1,1)间均匀分布的随机数，然后根据各项指标的评价标准，在各级标准范围内分别随机生成 10 个样本，用总共 50 个样本作为学习样本训练神经网络，这样可以使训练后的 BP 网络具有良好的适应能力。现将初始样本数据输入 MATLAB 数值计算软件，应用该软件中的 Neural Networks Toolbox 提供的 LM 算法对网络进行训练，指定精度为 10^{-4}，学习率 a 及动量项 η 为 LM 法自适应调节值，无需指定。经过一千多次循环迭代循环可以得到最佳的权值和闭值，由此也就确定了用于生态地质环境敏感性评价的 BP 神经网络模型。

运用 MAPGIS 平台中的空间分析功能，将各因素图层进行相交叠加，叠加后形成新的拓扑关系的一个图层，同时形成新的属性数据库。将叠加后新图层属性数据库中的敏感性信息输入 BP 神经网络的生态地质环境敏感性评价模型进行敏感性综合评价，判定敏感性级别。基于 GIS 平台的具体评价过程如图 2 所示：

万方数据

表 1 生态地质环境敏感性分级标准

评价因素		评价因素的分级标准				
		Ⅰ 极敏感	Ⅱ 高度敏感	Ⅲ 中度敏感	Ⅳ 轻度敏感	Ⅴ 不敏感
地质环境	包气带岩性	包气带岩性岩石孔隙度大，砂土等透水性好，渗透系数大	包气带岩性岩石孔隙度较大，亚砂土等透水性较好，渗透系数较大	包气带岩性岩石孔隙度中等，亚粘土等透水性中等，渗透系数中等	包气带岩性岩石孔隙度较差，粘土等透水性较差，渗透系数较差	包气带岩性岩石孔隙度差，基岩等透水性差，渗透系数差
	坡度	十分陡(>25°)	比较陡(15°～25°)	一般(8°～15°)	比较平缓(5°～8°)	十分平缓(≤5°)
	地质灾害	地质灾害已发生区域及地貌剧变区	地质灾害隐患区	—	—	无地质灾害隐患区
生态环境	湿度指数	极低	较低	中	较高	高
	植被指数	极差	较差	中等	较好	好
土壤环境	土壤层厚度	极薄(<10 cm)	较薄(10～20 cm)	一般(>20 cm)	较厚	厚
	土壤质量	差(超背景值)	—	一般(未超背景值)	—	—
水环境	地下水位埋深	极浅(<2 m)	较浅(2～4 m)	一般(>4 m))	较深	深
	径流系数	极大	大	一般	较小	小
人类活动	采矿	大型铁矿区及周边	小型采石场及周边	—	无采矿活动区	—
	旅游	—	无旅游活动干扰区	—	可通往旅游区的次要道路	景点和旅游区主要道路
分级赋值		9	7	5	3	1
分级标准		8～10	6～8	4～6	2～4	0～2

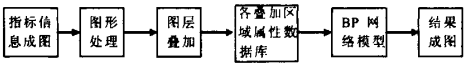


图 2 基于 GIS 平台的 BP 神经网络评价流程图

从而得出千山风景区及周边地区的生态地质环境敏感性评价结果，见图 3。

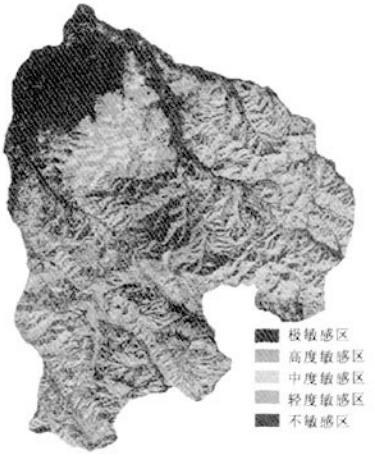


图 3 千山景区及周边生态地质环境敏感性分区图

3 结论

调查区内极敏感区、高度敏感区和中度敏感区主要集中在人类活动频繁的居民点、道路、农田、矿区及周边等地势较低较缓区域；景区内大部分地区为轻度敏感区和不敏感区，但也有小部分区域的较敏感区呈点状分布，主要集中在各主要景点附近；景区与大孤山铁矿接壤区域为高度敏感区，这与矿山开采有关；景区外大部分区域为中度敏感区，这与人类活动的强度有关。结合野外调查的结果，此次评价的结果与调查区实际情况是相符的。

3S 技术实现了信息的大量融合，使信息更加可靠全面，评价更加客观，也极大的提高了工作效率。BP 神经网络的精髓在于网络自动自地调用权值与阈值进行回想和联想，通过反复的学习训练形成模型，其输出结果与其他需确定权值矩阵的评价方法的输出结果相比更真实客观。此外，应用 MATLAB 数值计算软件中的 Neural Networks Toolbox 提供的 LM 算法对网络进行训练，使操作计算更为简便。

参考文献

[1] 张瑞英. 3S 技术支持下的九寨沟核心景区生态地质环境评价及演化趋势研究[D]. 成都：成都理工大学，2007.

[2] 蔡博峰，穆彬，方皓等. 基于自组织神经网络的生态敏感性分区——以北京市房山区为例[J]. 中国环境科学，2008，28(4)：375～379.

[3] 杨炳超. 地下水质量综合评价方法的研究[D]. 西安：长安大学，2004.

[4] 杨志英. BP 神经网络在水质评价中的应用[J]. 中国农村水利水电，2001，(9)：27 — 29.

[5] Erfu Dai，Shaohong Wu，Wenzhong Shi，et al. Modeling Change—Pattern—Value Dynamics on Land Use：An Integrated GIS and Artificial Neural Networks Approach [J]，Environmental Management，2005，36 (4)：576～591.

[6] Purna C. Nayak，Y. R. Satyaji Rao，K. P. Sudheer. Groundwater Level Forecasting in a Shallow Aquifer Using Artificial Neural Network Approach[J]. Water Resources Management，2006，20 (1)：77～90.

[7] 国务院西部开发办领导小组办公室、国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程 [R]. 2002.

万方数据