

基于神经网络的资源型城市可持续发展指标体系

朱明峰¹, 洪天求¹, 叶强²

(1. 合肥工业大学资源与环境学院, 安徽合肥 230009; 2. 合肥工业大学管理学院, 安徽合肥 230009)

摘要:以 BP 神经网络为模型, 借助 Matlab 语言对某资源型城市的国民经济和可持续发展指标进行了分析预测, 在数据采集和预处理的基础上, 设计程序来对网络进行训练, 用训练好的神经网络预测未来的指标数据, 并利用预测数据对城市发展趋势进行分析, 为资源型城市发展模式的选择提供依据。

关键词:资源型城市; 可持续发展指标体系; BP 神经网络; 指标预测

中图分类号: TP183 **文献标识码:** A

0 引言

我国现有资源型城市 220 多个, 约占城市总数的 1/4^[1]. 随着我国经济体制改革的进一步深入和世界经济全球化进程的加快, 资源型城市如何实现可持续发展越来越成为一个关系国计民生的大课题. 众所周知, 城市的可持续发展系统是由自然、经济、社会三个基本层次组成的相互作用且相互依赖的复杂巨系统, 而人工神经网络具有非线性、并行分布处理、自学习等特点, 可以较为逼真地模拟真实社会经济系统.

国内外学者对此进行了广泛研究. Shigenobu Yamawaki 等^[2]指出神经网络具有容错性和学习能力, 还可以用于识别非线性系统. Yasdi^[3]总结了人机交互中用户建模和智能接口的神经网络方法. Hou 等^[4]将反向传播(BP)神经网络运用于生产过程的监控并用于识别残次品. 薛福珍等^[5]提出了一种基于 BP 网络的非线性预测控制算法, 采用 BP 网络建立预测模型. 张振亚等^[6]给出了一个新型的由两种神经元混合构成的角分类前向神经网络, 并定义了相应的网络拓扑、学习算法和动力学行为. 古德生等^[7]对我国有色金属矿山的开采现状进行了分析, 建立了基于 3 层 BPNN 网络的矿山可持续发展评价模型. 叶正波^[8]提出了一个基于多维的可持续发展评估指标体系框架, 以人工神经网络 BP 模型对区域可持续发展经济子系统指标进行分析, 表明用 ANN 来模拟可持续发展经济子系统是可行的. 李新春等^[9]应用人工神经网络的 BP 算法建立了矿区可持续发展的神经网络模型, 并引入了煤炭工业可持续发展的评价等级确定参数来评价矿区可持续发展水平.

收稿日期: 2004-09-17

基金项目: 国家教育部基金项目(jyb200008B2).

作者简介: 朱明峰, 男, 1961 年生, 高工/博士生. E-mail: zmf50818@sina.com

本文在对资源型城市可持续发展指标体系分析确定的基础上,将人工神经网络模型应用于对资源型城市发展指标进行评价预测和趋势分析,提出资源型城市要实现可持续发展必须由传统粗放的线性经济发展模式转变为资源有效利用的循环经济发展模式。

1 BP 神经网络原理

1.1 BP 神经网络模型

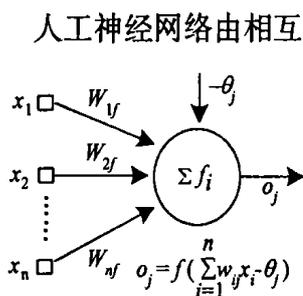


图 1 人工神经元结构模型
Fig. 1 Structure model of artificial nerve cell

神经网络由相互关联的人工神经元组成,每个神经元可以接受、传递和输出信息,神经元之间的联系强度由权值矩阵表示.图 1 显示了一种简化的人工神经元结构,它的输入输出关系可描述为 $o_j = f(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i - \theta_j)$, 其中 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 是从其它神经元传来的输入信号, θ_j 为阈值, w_{ij} 为神经元 i 和神经元 j 之间的连接权, o_j 为输出信号, f 为传递函数,常用的传递函数为 sigmoid: $f(x) = 1/(1 + \exp[-(x + b)])$.

人工神经网络在结构上一般包括输入层、隐含层和输出层.不同的神经网络可以有不同数量的隐含层.神经网络各层由不同数目的神经元构成,一般输入神经元数目是问题的决策因素个数,输出神经元数目是问题的评价因素个数,隐含神经元数目可以随机选择,但也不能太多或太少,太多网络将难以收敛,太少又达不到优化效果.在有两个隐层的前馈神经网络中,如果隐层的作用函数采用连续函数,则网络输出可以逼近一个连续函数.具体说,假设网络有 p 个输入、 q 个输出,则其作用可看作是从 p 维欧式空间到 q 维欧式空间的非线性映射. Cybenko^[10] 和 Chen^[11] 证明了这种映射可以逼近任何连续函数.考虑到城市可持续发展非线性、动态性和开放性的特点,我们选择了四层前馈型 BP 神经网络模型.如图 2 所示.

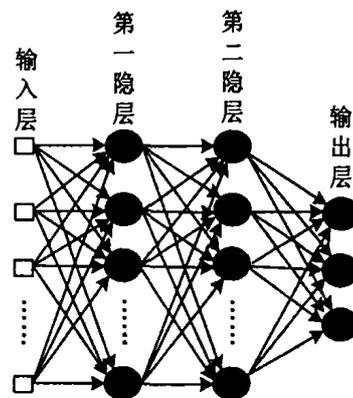


图 2 四层 BP 网络模型
Fig. 2 4-layer BP network model

1.2 BP 神经网络的学习过程

BP 神经网络学习采取误差反向传播算法(error back propagation algorithm). 设 BP 网络某层有 n 个节点, m 个训练样本. 对第 p 个训练样本 ($p = 1, 2, \dots, m$), 节点 j 的输入总和为 a_{pj} , 输出为 o_{pj} , 则有 $a_{pj} = \sum_{i=0}^n w_{ij}o_{pi}, o_{pj} = f(a_{pj})$. 对每个输入样本误差为 $E = \sum_p E_p$, $E_p = 1/2 \sum (t_{pj} - o_{pj})^2$, 其中 t_{pj} 表示对第 p 个输入样本, 输出节点 j 的期望输出. 使用梯度最速下降法, 使权值沿误差函数的负梯度方向改变, 令权值 w_{ij} 的变化量为 $\Delta p w_{ij}$, 则 $\Delta p w_{ij} \propto -\frac{\partial E_p}{\partial w_{ij}}$. 又 $\frac{\partial E_p}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E_p}{\partial a_{pj}} o_{pi}$, 令 $-\frac{\partial E_p}{\partial a_{pj}} = \delta_{pj}$, 则 $\Delta p w_{ij} = \delta_{pj} o_{pi} (\eta > 0)$, 其中学习因子 η 为一常数.

BP 网络学习算法的一般步骤如下:

- Step1. 初始化网络及学习参数;
 Step2. 前向传播,提供训练样本训练网络,直至误差达到要求;
 Step3. 计算网络的期望输出 $\{t_{pj}\}$ 和实际输出 $\{o_{pj}\}$ 之间的误差

$$\delta = \sqrt{\sum_p \sum_j (t_{pj} - o_{pj})^2 / p \cdot j};$$

- Step4. 如果 δ 没有达到允许的误差要求,则进行后向传播以修正权值 w_{ij} , 返回 Step2.

2 指标分析评价实例

2.1 指标的选取与分析

根据 2003 年的某资源型城市统计年鉴,选取了 1978 年到 2002 年的 18 项经济、社会、环境发展指标作为分析的基础(见表 1).

表 1 某资源型城市社会经济主要指标及数据

Tab. 1 Indexes and data of social economic of a resource-based city

指 标	1978 年	1980 年	1985 年	1990 年	1995 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年
国内生产总值/万元	22 879	21 168	50 596	146 849	442 654	685 354	733 027	801 435	884 156
社会固定资产投资额/万元	4 219	3 279	19 144	35 212	201 109	227 922	251 366	303 522	354 469
人均消费品零售额/元	168	195	355	794	1 942	3 047	3 410	3 650	3 905
第二产业比重/%	61.8	—	63.0	64.3	60.8	55.6	55.6	55.6	55.8
第三产业比重/%	21.0	—	21.5	23.8	30.4	37.9	37.6	37.9	37.9
高新技术产值比重/%	—	—	—	—	—	20.9	22.4	24.2	26.5
人均 GDP/元	466.6	402.9	920.6	2 424.1	6 671.5	10 005.2	10 623.6	11 603.2	12 789.8
人均财政收入/元	130.20	55.08	72.49	150.53	581.61	1 123.59	1 185.65	1 274.82	1 357.47
城市职工人均收入/元	576	—	990	2 012	5 540	6 411	6 832	7 469	—
农民人均纯收入/元	165	131	358	734	1 423	2 310	2 436	2 526	—
人口自然增长率/%	2.56	—	4.61	12.44	7.15	7.41	5.66	1.01	—
人口城镇化比率/%	35.9	—	38.9	43.9	48.9	50.6	51.4	52.3	52.9
科技人员比例/%	0.71	0.84	1.73	2.06	3.09	3.11	3.13	0.71	—
每千人拥有医院床位数/张	2.55	—	3.42	3.34	4.12	3.80	3.77	3.69	4.12
环保投资/万元	—	—	—	—	786	—	5 961	12 026	20 337
耕地面积/公顷	25 475	25 242	23 860	24 761	24 566	24 430	24 346	24 110	23 952
铜产量/万吨	0.10	0.16	0.54	2.18	4.54	15.58	16.99	18.66	22.2
化肥使用量/(kg · ha ⁻¹)	91	—	158	251	580	689	712	—	—

注:所有数据来源于 2003 年某资源型城市统计年鉴

这样,此问题的神经网络模型确定为由 18 个输入、18 个输出、2 个隐层构成的 BP 网络结构. 并采取曲线拟合的方法对部分缺失数据进行补足.

运用前馈型 BP 神经网络,对其进行训练. 训练过程是这样的:先用 1980 年到 2001 年 18 个指标的数据作为网络输入,用 1981 年到 2002 年 18 个指标的数据作为网络输出,组成训练集对网络进行训练,使之误差达到满意的结果,然后用训练好的网络进行预测. 预测过程为:用 1981 年至 2002 年各指标的数据作为网络输入,得出 1982 年至 2003 年各指标的预测值,接着用刚得到的数据作为输入值,得出 1983 年至 2004 年各指标的预测值. 依次类推,

我们就可以得到 2003 年及以后年份的指标预测值. 训练结果如图 3 所示, 当训练次数达到

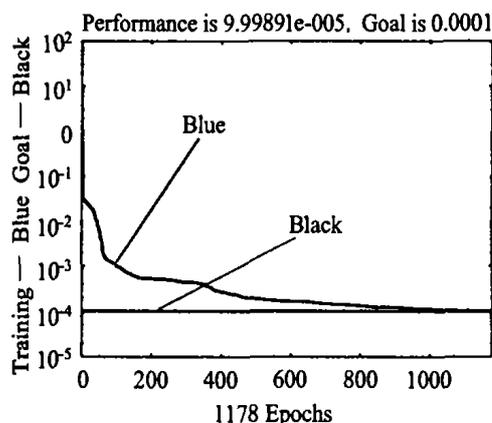


图 3 可持续发展神经网络训练结果

Fig. 3 Training results of sustainable development network

1178 次时, 达到训练目标(误差不大于 $1E-4$).

2.2 指标预测结果与分析

用训练好的 BP 神经网络, 我们预测了该资源型城市 2005 年及 2010 年 18 项指标的值(见表 2). 这些指标从不同的侧面反映了城市的可持续发展水平.

通过分析指标预测结果(见表 3), 可以看出, 该资源型城市主要发展指标的增长速度呈下降趋势.

(1) 经济: 国内生产总值、人均 GDP、全社会固定资产投资额增长速度在下降. 其中国内生产总值和人均 GDP 分别 2005 年比 2000 年

增长 20.68% 和 38.18%, 2010 年比 2005 年增长 0.01% 和 2.38%, 2005 年后基本上处于零增长状态.

(2) 社会发展: 农民人均纯收入、人均消费品零售额、职工人均收入、人均财政收入的增长速度在 2005 年之前取得较快增长后, 增长速度明显下降. 其中城市职工人均收入和人均财政收入在 2005 年后处于负增长. 人口自然增长率下降趋缓, 人口自然增长有上升趋势, 这将给社会发展带来更大的压力.

(3) 生态环境: 耕地面积的减少速度在急剧加大, 2005 年后以年均 4% 的速度减少. 由于生态环境的破坏, 环境保护投入需要急剧增加, 2005 年环境保护需要投入是 2000 年的 8.7 倍, 但受城市财力的限制, 所需投入难以实现, 因此 2005 年后环境保护任务更加艰巨. 环境保护的成本远远高于经济增长的收益.

(4) 资源消耗: 铜产量以平均 4%

以上的速度在增加, 说明对于矿产资源的开采量在增加.

可见, 该资源型城市按照目前的城市发展模式, 资源的消耗在不断增加, 而经济是零增长, 城市对于资源型产业的依存度的仍在不断提高. 资源的消耗速度远远大于经济的增长速度, 导致城市经济、社会、人口和生态环境的发展是不可持续的.

表 2 某资源型城市可持续发展远期指标预测结果

Tab. 2 Forecasting results of sustainable development indexes in long future of a resource-based city

指 标	2005 年	2010 年
1 国内生产总值/万元	884 640	884 730
2 全社会固定资产投资额/万元	359 060	363 300
3 人均消费品零售额/元	4 070	4 240
4 第二产业比重/%	50.3	42.3
5 第三产业比重/%	40.4	44.8
6 高新技术产值比重/%	27.3	33.2
7 人均 GDP/元/人	14 680	15 030
8 人均财政收入/元/人	3 630	2 790
9 城市职工人均收入/元	11 940	11 360
10 农民人均纯收入/元	3 800	4 160
11 人口自然增长率/%	0.212	0.172
12 人口城镇化比率/%	56.0	67.9
13 科技人员比例/%	2.12	3.27
14 每千人拥有医院床位数/张	4.17	4.42
15 环境保护投入/万元	58 224	83 760
16 耕地面积/公顷	22 346	17 621
17 铜产量/万吨	20.37	24.82
18 化肥使用量/(kg · ha ⁻¹)	1 190	1 330

表3 某资源型城市可持续发展远期指标分析

Tab. 3 Analysis of sustainable development indexes in long future of a resource-based city

指 标	2000年	2005年	增长率/%	2010年	增长率/%
国内生产总值/万元	733 027	884 640	20.68	884 730	0.01
全社会固定资产投资额/万元	251 366	359 060	42.84	363 300	1.18
人均消费品零售额/元	3 410	4 070	19.35	4 240	4.18
第二产业比重/%	55.6	50.3	-9.53	42.3	-15.90
第三产业比重/%	37.6	40.4	7.45	44.8	10.89
高新技术产值比重/%	22.4	27.3	21.88	33.2	21.61
人均GDP/元/人	10 623.6	14 680	38.18	15 030	2.38
人均财政收入/元/人	1 185.65	3 630	206.16	2 790	-23.14
城市职工人均收入/元	6 832	11 940	74.77	11 360	-4.86
农民人均纯收入/元	2 436	3 800	55.99	4 160	9.47
人口自然增长率/%	0.566	0.212	-62.54	0.172	-18.87
环境保护投入/万元	5 961	58 224	876.75	83 760	43.86
耕地面积/公顷	24 346	22 346	-8.21	17 621	-21.14
铜产量/万吨	16.99	20.37	19.89	24.82	21.85

从以上分析结果看,该资源型城市要实现城市的持续发展,需要摆脱线性经济发展模式的束缚,以循环经济的发展理念构建企业、产业和区域循环,优化调整产业结构,降低重工业和传统制造业比重,发展非矿产业,提高资源利用效率,把环境保护与经济社会发展融为一体,实现经济、社会、生态环境协调发展。

3 结论

神经网络方法是对资源型城市的可持续发展的指标体系进行分析预测的一种有效方法,其结果对于资源型城市发展模式的选择具有指导作用。同时,在研究中,我们发现训练参数,指标的相关性等问题还有待于进一步讨论。对于资源型城市进行城市结构调整、提高资源的利用效率,实现资源、经济、生态和社会的协调发展,建立和谐社会具有重要的指导意义。

参 考 文 献

- [1] 朱训. 21世纪中国矿业城市形势与发展战略思考[J]. 中国矿业, 2002(1):1-9.
- [2] Shigenobu Yamawaki, Lakhmi Jain. Expanded neural networks in system identification[R]. Lecture Notes in Computer Science, 2003, 2773:1 116-1 121.
- [3] Yasdi R. A literature survey on applications of neural networks for Human-computer interaction[J]. Neural Computing & Applications, 2000, 9(4):245-258.
- [4] HOU Tung-Hsu (Tony), LIU Wang-Lin, LIN Li. Intelligent remote monitoring and diagnosis of manufacturing processes using an integrated approach of neural networks and rough sets [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2003, 14(2):239-253.
- [5] 薛福珍, 汤瑜瑜, 柏洁. 基于BP网络的一种非线性预测控制算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2004, 34(5):593-598.
- [6] 张振亚, 陈恩红, 王煦法. 基于实向量输入的角度分类前向神经网络研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2004, 34(5):618-623.

- [7] 古德生, 彭怀生, 雷卫东. 矿业可持续发展的神经网络评价[J]. 有色金属, 2000, 52(1): 9-12.
- [8] 叶正波. 基于人工神经网络的区域经济子系统可持续发展指标预测研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2003, 30(1): 109-114.
- [9] 李新春, 孙燕, 陶学禹. 应用神经网络评价矿区可持续发展[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(4): 392-395.
- [10] Cybenko G. Approximation by superposition of sigmoidal functions[J]. Mathematics of Control, Signals and Systems, 1989, 2: 303-314.
- [11] CHEN T P, *et. al.* Approximation capability in C^n by multilayer feedforwark networks and related problems [J]. IEEE Trans, NN, 1995, 6: 57-67.

Sustainable Development Indicator Forecasting for Resource-Based Cities Based on Neural Network

ZHU Ming-feng¹, HONG Tian-qi¹, YE Qiang²

(1. School of Resources & Environmental Engineering of Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

(2. School of Management of Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The system of sustainable development of resource-based cities is a complex giant system, which is composed of three interactional and interdependent basic levels; nature system, economic system and social system. Artificial neural network is nonlinear, with other properties such as parallel distributed processing and self-studying. So it can simulate the system of sustainable development of a resource-based city realistically. Based on neural network's BP module, MATLAB is employed to analyze and forecast the indicators of economic and sustainable development of one resource-based city. Through data collection and pretreatment, the neural network module was trained, which was then used to forecast future indicators.

Key words: resource-based city; indicator system of sustainable development; back propagation neural network; indicators forecast