

水资源承载力的 BP 神经网络评价模型研究

许莉, 赵嵩正, 杨海光

XU Li, ZHAO Song-zheng, YANG Hai-guang

西北工业大学 管理学院, 西安 710072

Management School, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

E-mail: xuli@nwpu.edu.cn

XU Li, ZHAO Song-zheng, YANG Hai-guang, Research on BP neural network model of performance appraisal for water resources carrying capacity. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(8): 217-219.

Abstract: Because of the performance appraisal's shortage for water resources carrying capacity, this paper presents a new method, which is based on BP neural network. Firstly, it sets up an index system of performance appraisal, and then designs the model of BP neural network according to the index system. Finally, it uses the Neural Network Toolbox (NNT) based on MATLAB to make network compute. Finally, this article presents a typical example.

Key words: water resources carrying capacity; BP neural network; performance appraisal

摘要: 针对当前水资源承载力评价方法的不足, 提出了基于 BP 神经网络的综合评价方法。构建了水资源承载力的评价模型和指标体系, 描述了方法的应用过程, 并通过 MATLAB 神经网络工具对其进行模拟计算。最后, 给出了一个算例。

关键词: 水资源承载力; BP 神经网络; 评价

文章编号: 1002-8331(2008)08-0217-03 文献标识码: A 中图分类号: F272.1

1 引言

随着人口的增长和社会经济发展, 水资源短缺和水环境破坏已经成为全球性的严峻问题。为了改变这种情况, 更好地衡量区域内水资源的可持续发展, 国内外机构和学者纷纷开始对水资源承载力进行研究, 如 Harris^[1]主要研究了农业生产区域水资源农业承载力, 将此作为区域可持续发展的衡量标准; Ri-jiberman, J^[2]等则从安全保障视角对城市水资源评价和管理体系进行了阐述; Falkenmark^[3]和 Kuylensstierna^[4]等均涉及到了水资源的承载限度; 而美国 URS 公司则对佛罗里达 Keys 流域的承载能力进行了研究, 其内容涵盖了承载力的概念、研究方法和量化手段等^[5]。我国对水资源承载力的研究则主要集中在定量研究和成果应用上。如施雅风^[6]等采用常规趋势法对新疆乌鲁木齐河流域进行了分析; 许有鹏^[7]则提出水资源承载能力的模糊评价方法, 并将其应用在田河流域; 徐中民^[8]利用情景基础的多目标分析方法对黑河流域进行了探讨; 蒋晓辉^[9]等则采用契比雪夫算法对陕西关中地区的水资源承载力进行了研究。

应当看到的是, 虽然我国学者对水资源承载力的定量研究取得了大量成果, 但由于这些方法不同程度上存在着权重确定缺乏理论依据、带有明显主观臆断且计算复杂等缺点, 已经逐渐无法满足实际应用的需要。为此, 本文引入了误差反向传递神经网络, 即 BP 神经网络。由于该网络可以通过网络训练从数据中概括出必要的信息, 并将其存储于各神经元中, 构成网络知识, 然后利用这些知识评价或预测相似因素的结果^[10], 具

有很高的实用性。加之 BP 神经网络不需要像其它方法那样人工确定权值, 有效地避免了评价人员的主观成分和人为因素, 同时, 在计算过程中应用了 MATLAB 神经网络工具箱, 使评价计算过程更加简便。

2 基于 BP 神经网络的水资源承载力评价模型构建

2.1 BP 神经网络的原理

BP 人工神经网络是 Rmenhart, McClelland 等^[11]研究并设计、基于误差反向传递算法 (Back-Propagation) 的一种多层前馈型神经网络。在实际运用中, 就是通过对不同神经元的训练和对比, 本着尽可能地减小系统规模、缩短系统学习时间以及降低系统复杂性的原则, 确定的一个具有恰当规模的网络模型^[12]。本文采用的是一个具有三层结构的 BP 神经网络模型, 这是因为在闭区间内任何一个连续函数都可以用含有一个隐层的神经网络来逼近^[13], 即一个三层神经网络能够实现任意精度的由 N 维向 M 维的非线性映射, 网络的拓扑结构如图 1 所示。

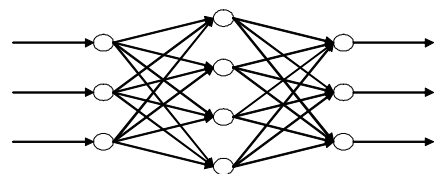


图 1 BP 神经网络的拓扑结构

作者简介: 许莉 (1981-), 女, 硕士, 研究方向为工业企业资产管理; 赵嵩正 (1961-), 男, 教授, 博导, 主要从事信息管理与信息系统、供应链管理、项目管理领域的研究; 杨海光 (1980-), 男, 硕士, 研究方向为战略管理与营销管理。

收稿日期: 2007-07-06 修回日期: 2007-10-29

在神经网络中,传递函数是反映下层输入对上层节点刺激脉冲强度的函数,一般取(0,1)内连续取值的 Sigmoid 函数:

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

训练集包括 M 个样本模式对 (X_i, Y_i) 。对第 p 个训练样本 $(p=1, 2, \dots, M)$, 单元 j 的输入总和(即激活函数)记为 a_{pj} , 输出记为 O_{pj} , 权值记为 W_{pj} , 则

$$a_{pj} = \sum_{j=0}^N W_{pj} O_{pj} \quad (2)$$

如果任意设置网络初始权值,那么对每个输入模式 p 网络误差为:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (d_{pj} - O_{pj})^2 \quad (3)$$

d_{pj} 表示对第 p 个输入模式输出单元 j 的期望输出, δ 学习规则的实质是利用梯度最速下降法,使权值沿误差的负梯度方向改变。设隐含层与输出层、输入层与隐含层的连接权值分别为 w_{kj} 和 v_{ji} , 则其调整值为

$$\Delta w_{kj} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} \quad \Delta v_{ji} = -\eta' \frac{\partial E}{\partial v_{ji}} \quad (4)$$

式中, η, η' 为步长或学习速率。

权值的修改过程是一个迭代过程,有:

$$\begin{cases} w_{kj}(n+1) = w_{kj}(n) + \eta \sum_{p=1}^p \delta_{kp} O_{jp} \\ v_{ji}(n+1) = v_{ji}(n) + \eta' \sum_{p=1}^p \delta_{jp} O_{ip} \end{cases} \quad (5)$$

其中:

$$\begin{cases} \delta_{kp} = (d_k - O_{kp}) O_{kp} (1 - O_{kp}) \\ \delta_{jp} = \left(\sum_{k=1}^k \delta_{kp} w_{kj} \right) O_{jp} (1 - O_{jp}) \end{cases} \quad (6)$$

2.2 评价指标的标准化

在对水资源承载力进行定量评价中,由于既有定性指标又有定量指标,为使各指标在整个系统中具有可比性,必须对各指标进行标准化处理。具体处理方法如下:

(1) 对于定量指标,因其衡量单位不同,级差有大有小,趋向也不一定一致,必须对其进行规范化和同趋化处理:

① 当目标值越大评价越好时

$$F_j = \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (7)$$

② 当目标值越小评价越好时

$$F_j = 1 - \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (8)$$

其中, F_j 是目标值为 x_j 的标准化值, $x_{j\min}$ 是预先确定的第 j 个指标的最小值, $x_{j\max}$ 是预先确定的第 j 个指标的最大值, j 是评价指标的数目。

(2) 对于定性指标,应将其量化处理,其中量化处理的方法很多,较常用的是专家打分法或德尔菲法。为了保持与定量指标之间的可比性,必须将其再进行标准化处理,处理方法与定量指标相同。

3 水资源承载力评价模型的应用

3.1 水资源承载力评价指标体系

在全面分析水资源承载能力的各影响因素,参照全国水资

源供需分析中的指标体系和其它水资源评价指标体系及其标准的基础上,选取了水资源可开发评价、人均实际供水量、水资源利用率、耕地灌溉率、供水模数、需水模数和生态用水率等 7 个主要因素作为评价指标,各指标的含义如下:水资源评价:专家对可供利用水资源总量开发程度的定性评价;人均供水量:频率 75% 的供水量与总人口数量之比(m^3 /人);水资源利用率:现状 75% 频率的供水量与可利用的水资源总量之比(%);耕地灌溉率:灌溉面积与耕地面积之比(%);供水模数:频率 75% 的供水量与土地面积之比($万 m^3/km^2$);需水模数:需水总量与土地面积之比($万 m^3/km^2$);生态用水率:生态用水总量与总需水量之比(%). 为使评价结果容易标准化,并且符合规范,这里给定水资源承载力评价指标的分级标准值,如表 1 所示。

表 1 评价指标的分级标准

| 评价因素 | 等级 1 | 等级 2 | 等级 3 |
|---------|------|---------|------|
| 水资源开发评价 | <30 | 30~70 | >70 |
| 人均实际供水量 | <200 | 200~400 | >400 |
| 水资源利用率 | >75 | 75~50 | <50 |
| 耕地灌溉率 | >60 | 60~20 | <20 |
| 供水模数 | >15 | 15~1 | <1 |
| 需水模数 | >15 | 15~1 | <1 |
| 生态用水率 | <1 | 1~5 | >5 |
| 评价标准 | <0.5 | 0.5~0.8 | >0.8 |

表 1 中将水资源承载力分为 3 级,1 级较差,表示水资源承载力已接近其饱和值,进一步开发潜力较小,区域发展下去将发生水资源短缺,应采取相应对策,否则将制约社会经济的发展;3 级较好,表示本流域水资源仍有较大的承载能力,其供给情况较为乐观;而 2 级情况则介于两者之间,表示本流域水资源开发利用已有相当规模,但仍有一定的开发利用潜力,水资源的供给需求在一定程度上能满足流域的经济发展。利用三个等级的区分,可以更好地衡量评价的结果。

3.2 模型的应用与 MATLAB 仿真

本文采用了三层 BP 神经网络并使用 GUI 解法(Graphical User Interface)对水资源承载力进行评价。根据提出的指标体系,建立一个神经元数分别为 7、7、1 的输入层、隐含层和输出层(输出区间[0,1])的 BP 神经网络模型。网络输入层与隐含层,以及隐含层和输出层的传递函数分别采用对数 Sigmoid 函数 Logsig() 和正切 Sigmoid 函数 Tansig(); 最大训练步数 epochs 为 10 000; goal 为 0.001; show 为 10。其他参数,如: max_fail, rem_reduc, min_grad, mu, mu_dec, mu_inc, mu_max, time 均采用缺省值。网络训练采用河南省 18 个城市的实际样本 18 例,原始数据来源于河南省统计年鉴和河南省水资源公报。初始化后,利用函数 Trainlm 对网络进行了 412 步训练,网络误差平方和 mse 达到了误差标准 goal=0.001 的要求,网络训练完成,如图 2 所示。到此,水资源承载力的 BP 神经网络评价模型已经构建完成,在应用过程中,只需输入评判样本的标准化指标数据,则可以进行相应的评价研究。

为了验证该模型的有效性,选用如表 2 所示贵州省 9 个城市的具体数据,并利用所建立好的 BP 神经网络进行仿真运算,以验证所建 BP 神经网络的有效性。在输入指标具体数据时,由于各指标量纲不同,利用评价指标标准化公式将其转化为标准数据(标准化数据见表 3),并输入建立好的神经网络模型中,同时使用 MATLAB 神经网络工具箱中的 GUI 解法,最终得到计算结果与目标值(具体结果见表 4)。分析计算结果可以

看到,测评样本均处于1级较差区间中。这是由于选取的9例样本均为贵州省喀斯特地貌,在一定程度上导致了水资源渗漏严重,时空分布不均,开发利用困难,加之受到人口、水资源总量的限制,使得水资源承载力受到较大影响。与实际结果对比后,可以认为评价结果符合实际情况。

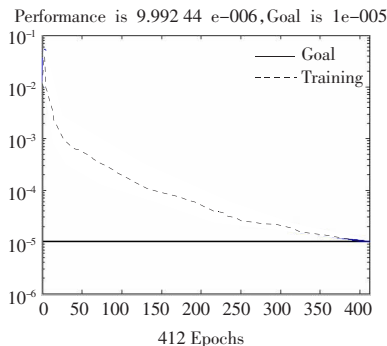


图2 网络训练误差

表2 贵州省9市水资源承载力评价指标体系

| 组别 | 水资源可 开发评价 | 人均实际供 水量(m ³ /人) | 水资源利 用率/% | 耕地灌 溉率/% | 供水模数/ (万 m ³ /km ²) | 需水模数/ (万 m ³ /km ²) | 生态环境 用水率/% |
|----|--------------|--------------------------------|--------------|-------------|---|---|---------------|
| 1 | 22.31 | 32.49 | 22.31 | 39.77 | 14 | 17 | 0.86 |
| 2 | 11.70 | 31.00 | 11.70 | 37.68 | 7 | 9 | 0.32 |
| 3 | 10.80 | 25.68 | 10.80 | 38.58 | 7 | 9 | 0.43 |
| 4 | 5.70 | 25.02 | 5.70 | 43.55 | 4 | 5 | 0.29 |
| 5 | 6.61 | 30.03 | 6.61 | 57.17 | 4 | 5 | 0.24 |
| 6 | 5.50 | 19.12 | 5.50 | 39.42 | 4 | 5 | 0.25 |
| 7 | 6.75 | 12.19 | 6.75 | 15.42 | 3 | 3 | 0.40 |
| 8 | 7.41 | 17.80 | 7.41 | 24.39 | 5 | 6 | 0.68 |
| 9 | 4.78 | 16.60 | 4.78 | 28.01 | 3 | 4 | 0.37 |

表3 贵州省9市水资源承载力评价标准化指标体系

| 组别 | 水资源可 开发评价 | 人均实际供 水量(m ³ /人) | 水资源利 用率/% | 耕地灌 溉率/% | 供水模数/ (万 m ³ /km ²) | 需水模数/ (万 m ³ /km ²) | 生态环境 用水率/% |
|----|--------------|--------------------------------|--------------|-------------|---|---|---------------|
| 1 | 0.745 | 0.162 | 0.554 | 0.506 | 0.172 | 0.023 | 0.860 |
| 2 | 0.390 | 0.155 | 0.766 | 0.558 | 0.571 | 0.429 | 0.320 |
| 3 | 0.360 | 0.128 | 0.784 | 0.536 | 0.571 | 0.429 | 0.430 |
| 4 | 0.190 | 0.125 | 0.886 | 0.411 | 0.786 | 0.857 | 0.290 |
| 5 | 0.220 | 0.150 | 0.868 | 0.071 | 0.786 | 0.857 | 0.240 |
| 6 | 0.183 | 0.095 | 0.890 | 0.515 | 0.786 | 0.857 | 0.250 |
| 7 | 0.225 | 0.060 | 0.865 | 0.932 | 0.858 | 0.858 | 0.400 |
| 8 | 0.247 | 0.089 | 0.852 | 0.891 | 0.714 | 0.643 | 0.680 |
| 9 | 0.159 | 0.083 | 0.905 | 0.799 | 0.858 | 0.786 | 0.370 |

4 结论

与水资源承载力定量研究常用的,如常规趋势法、多目标模型分析法和系统动力学方法不同,本文提出的BP神经网络评价方法,属于隐式数学处理方法,无需建立数学模型,它只需将处理过的数据输入训练好的网络中,通过相应的数学工具即可得出结果,评价过程更为方便、快捷。同时,由于该方法不需要人为的确定权重,这就大大降低了由于评价过程中的主观因素所导致的结果失真,使评价结果更为有效、客观和可靠。虽然

表4 网络仿真结果

| 组别 | 测试结果 | 期望输出 |
|----|-------|-------|
| 1 | 0.201 | 0.206 |
| 2 | 0.225 | 0.243 |
| 3 | 0.289 | 0.297 |
| 4 | 0.354 | 0.360 |
| 5 | 0.283 | 0.280 |
| 6 | 0.249 | 0.259 |
| 7 | 0.269 | 0.275 |
| 8 | 0.289 | 0.299 |
| 9 | 0.257 | 0.259 |

在研究过程中我们也发现,样本数据选取的数量和质量对于神经网络的学习能力有着较大的影响,但相信随着神经网络方法和相应数学工具的深入研究,现存的问题将会被最终解决,而这也正是本文下一步研究的方向。

参考文献:

- [1] Harris J M. Carrying capacity in agriculture: global and regional issue[J]. Ecological Economics, 1999, 129(3): 443-461.
- [2] Rijisberman. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water system[J]. Environment Impact Assessment Review, 2000, 129(3): 333-345.
- [3] Falkenmark M, Lundqvist J. Towards water security: political determination and human adaptation crucial[J]. Natural Resources Forum, 1998, 21(1): 37-51.
- [4] Kuylenstierna J L, Bjorklund G, Najilis P. Sustainable water future with global implications: everyone's responsibility[J]. Natural Resources Forum, 1997, 21(3): 181-190.
- [5] North American Lake Management Society [EB/OL]. http://www.nalms.org/glossary/lkword_c.htm (undated).
- [6] 施雅风, 曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 94-111.
- [7] 许有鹏. 干旱地区水资源承载能力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 1993, 8(3): 230-234.
- [8] 徐中民, 程国栋. 运用多目标分析技术分析黑河流域中游水资源承载力[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2000, 15(2): 122-133.
- [9] 蒋晓辉, 黄强. 陕西关中地区水环境承载力研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 312-317.
- [10] 夏维力, 吕晓强. 基于BP神经网络的企业技术创新能力评价及应用研究[J]. 研究与发展管理, 2005, 17(1): 50-54.
- [11] McClelland, Rumelhart. Parallel distributed processing[M]. Vols 1 and 2. [S.l.]: MIT Press, 1986.
- [12] Hagan M T, Demuth H B, Beale M. Neural network design[M]. New York: PWS Publishing Company, 2002.
- [13] Robert H N. Theory of the back propagation neural network[C]// Proceedings of the International Joint Conference on Neural Network. [S.l.]: IEEE Press, 1989, 1: 121-125.