

A Model of Fuzzy Optimization Neural Networks and Its Application in Water Resources Value Evaluation

Lin Qiu, Guoyuan Ren, Wenchuan Wang*, Guanjun Lei, Hailong Yan

School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan
Email: [*wangwen1621@163.com](mailto:wangwen1621@163.com)

Received: Jul. 20th, 2015; accepted: Aug. 3rd, 2015; published: Aug. 11th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In order to overcome the insufficient of strong subjectivity of the square criterion, the distance parameter selection and weight determination method of the variable fuzzy comprehensive evaluation model in the evaluation of the value of water resources, on the basis of the comprehensive fuzzy optimization model and neural network theory, this paper, using neural network self-learning ability and through the adjustment of the network independent to obtain index weight, proposes the water resources value evaluation model based on the fuzzy optimization neural network. The proposed model will be integrated with various factors, which can reflect the different levels of water resources value, and reflect the influence and water resource related factors. The proposed model is used in the comprehensive evaluation of Jinan water resources value, and the results show that the evaluation results of the fuzzy optimization neural network model not only are similar to variable fuzzy comprehensive evaluation model, but also can overcome the strong subjectivity from artificial set parameters in variable fuzzy comprehensive evaluation model. It has stronger practicability, and provides a good way for the water resources value evaluation.

Keywords

Evaluation of Water Resources Value, Fuzzy Optimization Neural Networks, Variable Fuzzy Sets

模糊优选神经网络模型在水资源价值评价中的应用

邱林, 任国源, 王文川*, 雷冠军, 闫海龙

作者简介: 邱林(1960-), 男, 四川内江人, 博士, 教授, 主要从事水资源系统分析与管理的。

*通讯作者。

文章引用: 邱林, 任国源, 王文川, 雷冠军, 闫海龙. 模糊优选神经网络模型在水资源价值评价中的应用[J]. 水资源研究, 2015, 4(4): 320-329. <http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2015.44039>

华北水利水电大学水利学院, 河南 郑州
Email: wangwen1621@163.com

收稿日期: 2015年7月20日; 录用日期: 2015年8月3日; 发布日期: 2015年8月11日

摘 要

为了克服水资源价值评价中可变模糊综合评价模型的平方准则、距离参数及权重确定方法选取主观性的不足, 本文在综合模糊优选模型和神经网络理论的基础上, 运用神经网络的自学习能力, 通过网络结构的调整自主获得指标权重, 提出了基于模糊优选神经网络的水资源价值评价模型。提出的模型通过利用水资源价值模糊综合评价指数, 将反映水资源价值不同层次的各种因素综合起来, 反映与水资源有关的诸要素的影响。将提出的模型运用到济南市的水资源价值的综合评价中, 结果表明模糊优选神经网络模型的评价结果不但与可变模糊综合评价模型相近, 而且能够克服可变模糊综合评价模型中的人工定参数的不足, 具有较强的实用性, 为水资源价值评价提供了一个很好的途径。

关键词

水资源价值评价, 模糊优选神经网络, 可变模糊集

1. 引言

随着社会经济发展和人口的增长, 水资源短缺已经逐渐成为制约社会经济快速发展的关键因素, 因此, 对其价值的研究应将其放在经济、社会、生态大环境中, 这样可为管理者确定城市水价提供科学合理的依据, 避免水资源需求的过度膨胀。为了定量说明城市水资源在经济社会发展中的提升空间, 最大限度地发挥水资源的潜在价值, 实现水资源的高效利用, 许多研究者在水资源价值分析评价方面已经作了大量的有意义工作。如: 李金昌[1][2]、胡长暖[3]、姜文来[4]-[6]关于水资源价值评价理论的研究, 为水资源价值评价模型的建立打下了坚实的基础。韦林均、伏小勇[7]等运用模糊层次分析法确定各评价指标权重, 建立基于模糊层次分析法定权的水资源价值灰色评价模型, 为水资源价值评价提供了有效的途径。张国珍[8]运用模糊评价方法对兰州市水资源价值进行评价, 其成果为济南市水资源价格的制定以及水资源的可持续发展提供了科学依据。董胜男[9]根据评价区的实际情况选取水资源价值评价指标, 建立了评价标准, 选取两组权重, 运用模糊可变评价模型对济南市水资源价值进行了综合评价。但在利用可变模糊集法评价水资源价值时, 其关键是权重的确定, 权重选择方法的不同会对评价结果的优劣和准确度产生较大影响。因而, 为了避免可变模糊综合评价中平方准则、距离参数权重方法选取上主观性的不足, 本文尝试将模糊优选神经网络模型运用到水资源价值评价中, 通过神经网络的自学习功能, 将专家打分确定权重的工作转化为网络的变结构调整过程, 并以此获得指标权重, 减少人为因素的影响, 以提高水资源价值评价结果的准确性和可靠性。以济南市水资源价值评价为例, 并将评价结果与可变模糊集法相比较, 结果表明模糊优选神经网络模型具有适应性好、准确度高、人为干扰因素少的优点。

2. 模糊优选神经网络模型

1) 神经网络模型

人工神经网络是一种应用类似于大脑神经突触联接的结构进行信息处理的数学模型, 是对生物神经网络进行仿真化的结果。神经网络模型并不能全面、真实地反映人类大脑的神经网络系统, 而是经过简化、抽象和模拟之后形成的网络系统, 是在人类对其大脑神经网络认识理解的基础上, 通过人工构造实现某种功能的网络系

统。它具有学习能力、记忆能力、计算能力以及智能处理功能。

2) 模糊优选模型

由于客观事物本身在很多情况下都没有公认的标准，为了使决策的效果更加切合实际，陈守煜教授提出了模糊优选模型，其公式为：

$$u_{1j} = \left\{ 1 + \left[\frac{\sum_{i=1}^n [w_i |r_{ij} - 1|]^p}{\sum_{i=1}^m (w_i r_{ij})^p} \right]^{\frac{\alpha}{p}} \right\}^{-1} \tag{1}$$

式(1)是样本 j 对 1 级(优级)的相对隶属度。当模型中的参数 $\alpha = 2, p = 1$ ，式(1)变为陈守煜教授在文献[10] [11] 中给出的描述神经网络系统中神经元的激励函数模型：

$$\mu_{1j} = \left\{ 1 + \left[\frac{1 - \sum_{i=1}^n w_i r_{ij}}{\sum_{i=1}^m w_i r_{ij}} \right]^2 \right\}^{-1} = \left[1 + \left(\frac{d_{jg}}{d_{jb}} \right)^2 \right]^{-1} = \left[1 + \left(\frac{1 - d_{jb}}{d_{jb}} \right)^2 \right]^{-1} \tag{2}$$

式中： w_i 为各个指标的权向量， r_{ij} 是样本 j 的第 i 个指标特征值对待识别(或评价)模糊概念 A 的相对隶属度。
 $d_{jg} = \sum_{i=1}^m w_i (1 - r_{ij}) = 1 - \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}$ 、 $d_{jb} = \sum_{i=1}^m w_i (r - 0_{ij}) = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}$ 分别表示为样本 j 与“优”与“劣”的广义海明权距离， $d_{ig} + d_{jb} = 1$ 。

3) 模糊优选神经网络[12]-[14]

由于在主观定权过程中缺乏统一的标准，很难摆脱专家主观意识不一致所造成的影响，因此可利用神经网络模型的自学习能力，建立模糊优选神经网络模型，以提高综合评价结果的客观性。陈守煜在可变模糊集理论相关著作[11]中阐明了模糊优选模型的神经网络激励函数，是可变模糊集模型中选择优化准则参数 $\alpha = 2$ 、距离参数为 $p = 1$ 的可变模糊识别模型。模糊优选神经网络模型一般采用 3 层结构，分别为输入层、隐含层和输出层。利用模糊优选神经网络模型得到水资源价值综合评价值 V ，代表了水资源价值在各个评价等级上的隶属度，可反映水资源价值。

4) 水资源价值模糊综合指数的计算

在计算得到水资源综合评价值 V 时，为了直观地反映水资源的综合价值，利用式(3)将 V 转化为模糊综合指数。

$$W = V \cdot T \tag{3}$$

式中： W 为水资源价值模糊综合评价指数； V 为水资源价值综合评价值； T 为水资源价值评价等级向量 $T = (1, 2, 3, 4, 5)$ 。

水资源价值模糊综合评价指数是将反映水资源价值不同层次的各种因素综合起来，能够综合反映与水资源有关的诸要素，可宏观反映水资源的状况。该指数是大于 1 小于最大级别值的无量纲数，因此，可对不同地区的水资源价值进行比较。模糊综合指数越小，水资源价值越高；反之，水资源价值越低。

3. 建模原理及步骤

水资源价值评价模糊优选神经网络模型采用三层拓扑结构，输入层为所需要评价的指标，输出层为水资源价值的级别。

设已知待评价对象的 m 个指标特征值向量为：

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m) = x_i \quad (4)$$

其中 i 为评价指标序号, $i = 1, 2, \dots, m$ 。依据 m 个指标 c 个级别的指标标准区间矩阵:

$$I_{ab} = \begin{bmatrix} [a, b]_{11} & [a, b]_{12} & \cdots & [a, b]_{1c} \\ [a, b]_{21} & [a, b]_{22} & \cdots & [a, b]_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ [a, b]_{n1} & [a, b]_{n2} & \cdots & [a, b]_{nc} \end{bmatrix} = ([a, b]_{ih}) \quad (5)$$

式中: I_{ab} 为指标的标准值矩阵, $i = 1, 2, \dots, m$, $h = 1, 2, \dots, c$ (m 为评价指标数、 c 为级别数)。

评价步骤如下:

1) 根据 I_{ab} 中各级指标标准值区间两侧相邻区间的上下限值确定 I_{cd} :

$$I_{cd} = \begin{bmatrix} [c, d]_{11} & [c, d]_{12} & \cdots & [c, d]_{1c} \\ [c, d]_{21} & [c, d]_{22} & \cdots & [c, d]_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ [c, d]_{n1} & [c, d]_{n2} & \cdots & [c, d]_{nc} \end{bmatrix} = ([c, d]_{ih}) \quad (6)$$

式中: I_{cd} 为指标范围值矩阵 $i = 1, 2, \dots, m$, $h = 1, 2, \dots, c$ 。

2) 依据公式(7)指标 i 的实际情况, 确定指标 i 对应级别 h 的 M 矩阵:

$$M = \begin{cases} a_1 & h = 1 \\ \frac{c-h}{c-1}a_h + \frac{h-1}{c-1}b_h & 1 < h < c \\ b_c & h = c \end{cases} \quad (7)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \cdots & m_{1c} \\ m_{21} & m_{22} & \cdots & m_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ m_{m1} & m_{m2} & \cdots & m_{mc} \end{bmatrix} = (m_{ih}) \quad (8)$$

3) 应用相对差异函数公式(9)和(10)以及矩阵 I_{ab}, I_{cd}, M 中的对应数据计算指标 i 对应级别 h 的相对隶属度矩阵。

设 M 为吸引域区间 $[a, b]$ 中的一点, x 为 X 吸引域区间 $[a, b]$ 区间内的任意点, 则 x 落入 M 点左侧时 $D_A(u)$ 的计算公式为:

$$\begin{cases} D_A(u) = \left(\frac{x-a}{M-a}\right)^\beta & x \in [a, M] \\ D_A(u) = -\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^\beta & x \in [c, a] \end{cases} \quad (9)$$

当 x 落入 M 点右侧时 $D_A(u)$ 的计算公式为

$$\begin{cases} D_A(u) = \left(\frac{x-b}{M-b}\right)^\beta & x \in [M, b] \\ D_A(u) = -\left(\frac{x-b}{d-b}\right)^\beta & x \in [b, d] \end{cases} \quad (10)$$

式中: β 取值为 1。

式(9)和(10)满足：1) 当 $x=a, x=b$ 时， $D_A(u)=0$ ；2) 当 $x=M$ 时， $D_A(u)=1$ ；3) 当 $x=c, x=d$ 时， $D_A(u)=-1$ 。符合相对差异函数的定义。 $D_A(u)$ 确定以后，根据式(11)可求解相对隶属度 $\mu_A(u)$ 。

$$\mu_A(u) = \frac{1+D_A(u)}{2} \tag{11}$$

当 x 不落在区间 $[c,d]$ 时， $D_A(u)=-1$ ， $\mu_A(u)=0$ 。得到相对隶属度矩阵：

$$\mu_A(u) = \begin{bmatrix} \mu_A(u)_{11} & \mu_A(u)_{12} & \cdots & \mu_A(u)_{1c} \\ \mu_A(u)_{21} & \mu_A(u)_{22} & \cdots & \mu_A(u)_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \mu_A(u)_{m1} & \mu_A(u)_{m2} & \cdots & \mu_A(u)_{mc} \end{bmatrix} = (\mu_A(u)_{ih}) \tag{12}$$

4) 要求各级别的相对隶属度之和为 1，则需将计算出的 $\mu_A(u)_{ih}$ 做归一化处理，可得到归一化的相对隶属度矩阵。

$$\mu'_A(u) = \begin{bmatrix} \mu'_A(u)_{11} & \mu'_A(u)_{12} & \cdots & \mu'_A(u)_{1c} \\ \mu'_A(u)_{21} & \mu'_A(u)_{22} & \cdots & \mu'_A(u)_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \mu'_A(u)_{m1} & \mu'_A(u)_{m2} & \cdots & \mu'_A(u)_{mc} \end{bmatrix} = (\mu'_A(u)_{ih}) \tag{13}$$

5) 生成网络训练样本

由于标准样本将水资源价值分为五类即 I、II、III、IV、V 类，本文利用 random 函数对 5 组样本进行随机差值，计算公式为：

$$x = \text{rand}() * (b - a) + a \tag{14}$$

其中， b 为级别区间上限值， a 为级别区间下限值。

每类生成 50 个样本，共生成样本 250 个。取 1、2、3、4、5 分别作为 I~V 类这五类水资源价值的期望输出，对样本进行标准化处理，为避免工作在函数的平坦区域，需将样本转化到 0.1~0.9 之间。设 x_{\max}, x_{\min} 为每组样本数据的最大值和最小值，可利用式(15)生成标准化样本数据。

$$x' = 0.1 + 0.8(x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \tag{15}$$

6) 选取各个层次神经元个数

输入层：根据本文水资源价值评价指标的具体情况，确定该模型输入层的个数为 5 个。输出层：水资源价值评价输出为水资源价值等级，用 1、2、3、4、5 分别代表水资源价值的五个等级，故该模型输出层单元个数为 1 个。

隐含层的个数可通过下面方式确定：

$$\text{隐含层神经元素} = \frac{\text{输入层神经元素} + \text{输出层神经元素}}{2}$$

$$\text{或 隐含层神经元素} = (\text{输入层神经元素} + \text{输出层神经元素})^{1/2}$$

由此可确定隐含层的个数为 3 个。所以该模型的三层神经网络拓扑结构中，输入层的个数为 5 个，隐含层的个数为 3 个，输出层的个数为 1 个。

确定模型参数后，即可用模型进行计算。对于输入层，为原始数据；而对于隐含层其输入值计算公式为：

$$I_k = \sum_{i=1}^m w_{ik} \mu_A(u_{ih}) \tag{16}$$

式中: w_{ik} 为输入层与隐含层之间的计算权重。

输出为:

$$u_k = \left\{ 1 + \left[\left(\sum_{i=1}^m w_{ik} u_{ih} \right)^{-1} - 1 \right]^2 \right\}^{-1} = \left[1 + (I_k^{-1} - 1)^2 \right]^{-1} \quad (17)$$

权重调整公式为:

$$w_{ik}(n+1) = w_{ik}(n) + \Delta w_{ik}(n+1) + \alpha \Delta w_{ik}(n) \quad (18)$$

式中: n 为迭代次数, α 为动量算子, η 为学习效率, δ_{kj} 为隐含层的误差信号。

设样本 j 的期望输出为 $M(u_{pj})$, 其平方误差为:

$$E = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n E_j = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n [u_{pj} - M(u_{pj})]^2 \quad (19)$$

输入层节点 i 与隐含层节点 k 的连接权重的调整量为:

$$\Delta w_{ik} = 2\eta r_{ij} w_{kp} u_{kj}^2 \left[\frac{1 - \sum_{i=1}^m w_{ik} r_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^m w_{ik} r_{ij} \right)^3} \right] \delta_{pj} \quad (20)$$

式中: $\delta_{pj} = 2u_{pj}^2 \left[\frac{1 - \sum_{k=1}^l w_{kp} u_{kj}}{\left(\sum_{k=1}^l w_{kp} u_{kj} \right)^3} \right] [M(u_{pj}) - u_{pj}]$ 。

输出层其输入为:

$$I_h = \sum_{k=1}^l w_{kh} u_k \quad (21)$$

输出为:

$$u'_h = \left\{ 1 + \left[\left(\sum_{k=1}^l w_{kh} u_k \right)^{-1} - 1 \right]^2 \right\}^{-1} = \left[1 + (I_h^{-1} - 1)^2 \right]^{-1} \quad (22)$$

权重调整公式为:

$$w_{kp}(n+1) = w_{kp}(n) + \Delta w_{kp}(n+1) + \alpha \Delta w_{kp}(n) \quad (23)$$

隐含层节点 k 与输出层节点 p 的连接权重调整量:

$$\Delta w_{kp} = 2\eta u_{pj}^2 u_{kj} \left[\frac{1 - \sum_{k=1}^l w_{kp} u_{kj}}{\left(\sum_{k=1}^l w_{kp} u_{kj} \right)^3} \right] [M(u_{pj}) - u_{pj}] \quad (24)$$

式中: η 为学习效率。

7) 将指标相对隶属度值输入网络, 根据网络训练样本的生成方法对网络进行训练, 确定神经网络的参数,

将实际的指标相对隶属度作为网络系统的输入，从而计算出最终的综合相对隶属度，确定水资源价值级别。

8) 训练网络训练样本生成权重的过程如下：

- ① 根据式(14)生成训练样本，式(15)计算出规格化的样本值，用规格化的样本值作为训练样本。
- ② 随机产生模糊优选神经网络的输入层与隐含层、隐含层与输出层的连接权重。
- ③ 利用式(16)、(17)、(21)、(22)计算训练样本的输出结果，运用式(19)计算其平方误差 E 。
- ④ 设定模糊优选神经网络的收敛判定准则。若 $E \leq \varepsilon$ (ε 为网络训练精度)，则网络训练结束，转入⑦，否则，进入下一步。
- ⑤ 运用公式(20)、(24)计算连接权重的调整值。然后，利用式(13)、(18)计算各层之间新的连接权重。
- ⑥ 继续利用公式(16)、(17)、(21)、(22)以及新的连接权重计算样本的实际输出值，在按照式(19)计算网络的平方误差。然后进行网络的收敛判断，如果满足其准则，则转入⑦，否则，转入⑤。
- ⑦ 输出满足训练精度的网络连接权重值，将计算出的相对隶属度作为网络的输入值，然后运用式(16)、(17)、(21)、(22)计算指标的实际输出结果。

9) 运用级别特征值的方法确定样本所属级别

$$H = \sum_{h=1}^c u_h h \tag{25}$$

其中， $u_h = u'_h / \sum_{h=1}^c u'_h$ 。

4. 评价研究

4.1. 评价指标

水资源价值的影响因素包括自然因素、经济因素和社会因素，根据各影响因素的代表性和相关性，以及济南市可获得的实际资料，确定济南市水资源价值评价指标为水质(X_1)、人均水资源量(X_2)、人均 GDP(X_3)、万元 GDP 用水量(X_4)、人口密度(X_5)五项指标，作为济南市水资源价值评价的指标。

水质综合指数由《济南市水资源公报(2005)》中公布的相关数据计算得到，依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2000)和《地下水环境质量标准》(GB/T14848-93)确定等级标准。人均国民生产总值标准通过对济南市 2005 年人均 GDP 调查得到。人均水资源量标准采用瑞典水文学家 Malin Falkenmark 提出的水紧缺指标 (Water-stress index)。人口密度标准由 2005 年全国各省、市、自治区统计数据的等级划分得到。济南市水资源价值评价标准和各项指标统计值见表 1。

4.2. 建模评价结果

1) 已知待评价样本的特征值向量为：

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_5) = (0.5, 379, 3858, 79, 1814)$$

2) 由上述公式可得到归一化的相对隶属度矩阵：

$$\mu'_A(u) = \begin{bmatrix} 0 & 0.250 & 0.625 & 0.125 & 0 \\ 0.474 & 0.526 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.141 & 0.641 & 0.214 & 0 \\ 0.164 & 0.609 & 0.227 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.120 & 0.652 & 0.228 \end{bmatrix} = (\mu'_A(u)_{ih})$$

3) 运用生成的训练样本对网络进行训练，训练结果如表 2。

经过计算,可得模糊优选神经网络最终输出结果为 2.440。与文献[9]应用可变模糊集对济南市水资源价值进行评价结果比较见表 3。从表 3 中可以得出,模糊优选神经网络与可变模糊集方法得到的济南市水资源价值评价相同,位于较高与中等水平之间,这说明济南市水资源价值还有提升的空间。

Table 1. Evaluation standard of Jinan City water resources value

表 1. 济南市水资源价值评价标准

评价指标	评价标准					统计值
	高	较高	中等	较低	低	
X_1	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.7	0.7~1.0	1.0~2.0	0.5
X_2 (m ³)	0~400	400~800	800~1200	1200~2000	2000~3000	379
X_3 (美元)	15,000~9266	9266~5000	5000~3126	3126~1500	1500~557	3858
X_4 (m ³)	0~50	50~100	100~500	500~1000	1000~2000	79
X_5 (人/km ²)	7000~5000	5000~3800	3800~2600	2600~1400	1400~200	1814

Table 2. Training results of fuzzy optimization neural network connection weights

表 2. 模糊优选神经网络连接权重训练结果

级别	连接权重 w					
	w_{1k}	w_{2k}	w_{3k}	w_{4k}	w_{5k}	w_k
级别 1	0.1733	0.42	0.2266	0.8502	0.7916	0.1572
	0.1169	0.718	0.7071	0.4956	0.489	0.7199
	0.2971	0.6638	0.399	0.3773	0.8297	0.1298
级别 2	0.4848	0.6519	0.292	0.6352	0.7524	0.3965
	0.1558	0.2356	0.6263	0.7514	0.9217	0.1482
	0.6271	0.9622	0.8998	0.9455	0.1708	0.4616
级别 3	0.7707	0.6989	0.9365	0.8448	0.1943	0.8118
	0.9075	0.5688	0.3616	0.841	0.2666	0.11
	0.2793	0.9337	0.7008	0.8963	0.7563	0.0855
级别 4	0.9255	0.8184	0.9442	0.3354	0.2996	0.0974
	0.6345	0.6687	0.3771	0.5232	0.1557	0.6842
	0.51	0.8386	0.311	0.7012	0.5488	0.2233
级别 5	0.4032	0.7261	0.574	0.2661	0.4199	0.5527
	0.2793	0.7012	0.7109	0.457	0.3881	0.4572
	0.1349	0.9713	0.2667	0.6489	0.6349	0.0104

Table 3. Results compared by two kinds of evaluation model

表 3. 两种评价模型结果比较

水资源价值评价模型	可变模糊集	可变模糊优选神经网络
水资源价值评价结果	2.535	2.440

5. 结论

水资源价值评价能综合考虑影响水资源价值的各种因素, 可对水资源的实际状况给予综合评定, 能为管理者确定城市水价提供科学合理的依据。本文引入模糊优选神经网络模型, 以济南市水资源价值评价为例进行实例分析, 并与可变模糊集方法进行对比, 结果表明模糊优选神经网络评价模型适应性好, 准确度高, 能够避免可变模糊综合评价模型中平方准则和距离参数选取上主观性强的不足, 可在工程实际中推广应用。

致 谢

水资源高效利用与保障工程河南省协同创新中心。

基金项目

河南省高校科技创新人才支持计划项目(13HASTIT034); 河南省高校科技创新团队(14IRTSTHN028); 华北水利水电大学研究生教育创新计划基金资助(YK2014-07)。

参考文献 (References)

- [1] 李金昌. 自然资源核算初探[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 23-25.
LI Jinchang. The natural resources accounting. China Environmental Science Press, 1990: 23-25. (in Chinese)
- [2] 李金昌. 自然资源价值理论和定价方法研究[J]. 中国人口, 1991, 1: 21-26.
LI Jinchang. Value pricing theory and method research of natural resources. The Population of China, 1991, 1: 21-26. (in Chinese)
- [3] 胡长暖. 资源价格研究[M]. 北京: 中国物价出版社, 1993: 17-18.
HU Changnuan. Study on the price of resources. Beijing: China Prices Press, 1993: 17-18. (in Chinese)
- [4] 姜文来, 王华东. 我国水资源价值研究的现状及展望[J]. 地理学与国土资源研究, 1996, 12(1): 1-5.
JIANG Wenlai, WANG Huadong. The status quo of water resources value and prospects in China. Geography and the Study of Land and Resources, 1996, 12(1): 1-5. (in Chinese)
- [5] 姜文来, 武霞, 林桐枫. 水资源价值模型评价研究[J]. 地球科学进展, 1998, 13(2): 178-183.
JIANG Wenlai, WU Xia and LIN Tongfeng. The research of value-model assessment about the value of water resource. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(2): 178-183. (in Chinese)
- [6] 姜文来. 水资源价值论[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 107-109.
JIANG Wenlai. Value theory of water resource. Beijing: Maritime Press, 1990: 107-109. (in Chinese)
- [7] 韦林均, 伏小勇, 陈学明. 基于模糊 AHP 法定权的水资源价值灰色评价模型及应用[J]. 计算机技术, 2006, 11(32): 93-95.
WEI Linjun, FU Xiaoyong and CHEN Xueming. Fuzzy AHP based grey assessment model for water resource value and its application. Computer Technology, 2006, 11(32): 93-95. (in Chinese)
- [8] 张国珍, 李毅华, 褚润. 兰州市水资源价值计算研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 108-112.
ZHANG Guozhen, LI Yihua and CHU Run. Valuation and calculation of water resources in Lanzhou. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(4): 108-112. (in Chinese)
- [9] 董胜男, 孙秀玲, 徐晓儒. 模糊可变评价模型在水资源价值评价中的应用[J]. 人民黄河, 2009, 31(11): 54-55.
DONG Shengnan, SUN Xiuling and XU Xiaoru. The fuzzy variable assessment model in the application of water resources value evaluation. Yellow River, 2009, 31(11): 54-55. (in Chinese)
- [10] 陈守煜. 工程可变模糊集理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
CHEN Shouyu. Variable fuzzy sets theory and application. Beijing: National Defence Industry Press, 1998. (in Chinese)
- [11] 陈守煜. 可变模糊集理论与模型及其应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2009.
CHEN Shouyu. Variable fuzzy sets theory and model and its application. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2009. (in Chinese)
- [12] 黄德春, 许长新, 任欢. 模糊优选神经网络及其在综合后评价中的应用[J]. 河海大学学报, 2004, 32(3): 332-336.
HUANG Dechun, XU Changxin and REN Huan. Fuzzy optimum selection-based BP neural network and its application to comprehensive post-evaluation. Journal of Hohai University (Natural Science), 2004, 32(3): 332-336. (in Chinese)
- [13] 陈守煜, 李敏. 可变模糊优选神经网络综合评价模型[J]. 水电能源科学, 2006, 24(6): 5-9.
CHEN Shouyu, LI Min. Model of variable fuzzy optimum neural network for comprehensive assessment. Water Resources and

Power, 2006, 24(6): 5-9. (in Chinese)

- [14] 陈守煜, 聂相田, 朱文彬, 王国利. 模糊优选神经网络模型及其应用[J]. 水科学进展, 1999, 10(1): 69-74.
CHEN Shouyu, NIE Xiangtian, ZHU Wenbin and WANG Guoli. A model of fuzzy optimization neural networks and its application. Advances in Water Science, 1999, 10(1): 69-74. (in Chinese)