

模糊优选神经网络及其在综合后评价中的应用

黄德春¹,许长新¹,任欢²

(1.河海大学商学院,江苏 南京 210098;2.中国农业大学食品科学与营养工程学院,北京 100083)

摘要 将模糊优选理论与神经网络理论相结合,确定网络拓扑结构、隐含层数、隐含层节点数与节点激励函数的合理模式.将模糊优选的相对优属度模型作为人工神经网络的激励函数,建立模糊优选神经网络权重调整 BP 模型.实证研究表明,模糊优选 BP 神经网络模型,可以较好地应用于综合后评价.

关键词 模糊优选 神经网络 综合后评价 激励函数

中图分类号 TP183 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2004)03-0332-04

模糊理论与神经网络理论是当今两大前沿研究领域,反映了信息科学、智能科学等实现革命性变革的迫切需要.20 年来,耗散结构、协同学、浑沌与分形理论的发展,使人们认识到非线性是一切复杂性之渊源.综合后评价具有多方面性、多层次性、模糊性和同一层次各因素重要性不同的特点,将模糊优选理论与人工神经网络相结合,并应用于综合后评价,不失为有益的探索.

1 研究综述

由模糊数学与层次分析法相结合产生的多层次模糊综合评判原理,运用于综合后评价,可以有效地解决综合后评价的复杂性问题.H. Maeda 等人^[1]将模糊集理论引入 MODM 中构成模糊决策,孟波和陈挺将模糊隶属函数和语言变量引入 MODM 的代理置换法(SWT)中,给定性分析提供了一种辅助工具^[2].然而,由于这些方法缺乏自学习能力,很难摆脱决策过程中的随机性和参评人员主观上的不确定性及其认识上的模糊性.模糊综合评判过程本身并不能解决由于评价指标间相关造成的评价信息重复问题,隶属函数的确定还没有系统的方法.综合评价中,目标属性间的关系大多为非线性关系.神经网络的非线性处理能力在信息含糊、不完整、存在矛盾等复杂环境中,使得传统的专家系统最感困难的知识获取工作转化为网络的变结构调整过程.通过对已有方案及评价结果的学习,可获得隐含其中的人的经验、知识以及对各目标重要性的看法等直觉思维,既体现人的主观判断,又大大减少评价过程中人为因素的影响,较好地保证评价结果的客观性.近年来,王宗军^[3]、S. Dutta^[4]将神经网络用于综合评价.但是,BP 网络常采用的连接权算法是一种梯度下降法,由于误差曲面的复杂性,容易使网络陷入局部最优,从而影响评价结果的准确性;另外,误差通过输出层反向传播,隐含层越多,反向传播误差在靠近输入层时就愈不可靠,影响了学习效率和网络收敛速度;第三,样本的数量和质量在很大程度上影响模型的学习性能,选取合适学习样本并不容易.王爱民^[5]、赵莉萍^[6]等研究神经网络与模糊的结合,并不能解决上述问题.

2 模糊优选理论

根据方案集的指标隶属度矩阵,按照优选的相对性^[7~8],定义相对理想方案与负理想方案为

$$G = (1 \quad 1 \quad \cdots \quad 1)^T \qquad B = (0 \quad 0 \quad \cdots \quad 0)^T \tag{1}$$

决策者偏好、期望等可通过目标权重向量 W 来体现.设方案集中 m 个目标的权向量

$$W = (w_1 \quad w_2 \quad \cdots \quad w_m)^T \qquad \sum_{i=1}^m w_i = 1 \tag{2}$$

根据模糊优选理论,可得方案评价的相对优属度模型为

收稿日期 2003-10-29
作者简介 黄德春(1966—),男,江苏海安人,博士,讲师,主要从事金融工程与投资管理研究.

$$U_j = \left[1 + \left(\left(\sum_{i=1}^m \omega_i r_{ij} \right)^{-1} - 1 \right)^2 \right]^{-1} \tag{3}$$

式中： U_j ——方案 j 相对优属度； r_{ij} ——方案 j 目标 i 的相对优属度； ω_i ——目标 i 的权重； m ——目标总数。
经证明,该模糊优选理论模型可以作为人工神经网络系统中节点的激励函数^[9]。

3 基于模糊优选的 BP 神经网络模型

3.1 模糊优选系统与 BP 神经网络的对应关系

模糊优选神经网络多目标决策理论,是处理非线性系统多目标优化的有效途径.多层模糊优选系统与神经网络系统相对应,构造合理网络拓扑结构.隐含层数、隐含层节点数、节点激励函数的模式,在提出合理网络拓扑结构的基础上,将模糊优选与神经网络 BP 算法结合起来,构建模糊优选神经网络权重调整 BP 模型.把 n 个方案按模糊优选的全部目标特征值进行规格化,变为目标相对优属度,把模糊优选的全部目标总数作为神经网络系统输入层的节点总数,每个节点输出一个目标相对优属度.模糊优选最高层的惟一单元系统的方案相对优属度输出,作为神经网络系统输出层的单输出.模糊优选系统中间层次作为隐含层,同层中的单元系统数为该隐含层的节点数.由此可将多层次模糊优选系统变为 BP 神经网络系统,非输入节点的激励函数为模糊优选模型.

3.2 模糊优选 BP 神经网络模型

设有 3 层的模糊优选 BP 神经网络系统,输入层有 m 个输入节点,即有 m 个目标特征值.隐含层有 l 个隐节点.输出层仅有一个单节点输出,如图 1 所示.选取输入层输入节点的激励函数为恒等函数,隐含层和输出层节点的激励函数为式(3)所示的模糊优选理论模型.

设有 n 个样本,对于样本 j 的输入为 $r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$.

$$u_{ij} = r_{ij} \tag{4}$$

对于隐含层节点 k ,其输入为 $I_{kj} = \sum_{i=1}^m \omega_{ik} r_{ij}$ (5)

式中 ω_{ik} 为节点 i, k 的连接权重,等于目标 i 的权重 ω_i, ω_{ik} 满足 $\sum_{i=1}^m \omega_{ik} = 1, \omega_{ik} \geq 0$.

隐含层节点 k 输出为 $u_{kj} = [1 + (1 - I_{kj}^{-1})^2]^{-1}$ (6)

输出层仅一个节点 p ,输入为 $I_{pj} = \sum_{k=1}^l \omega_{kp} u_{kj}$ (7)

式中 ω_{kp} 为隐含层与输出层节点连接权重,与中间层中单元系统的权重相等,满足 $\sum_{k=1}^l \omega_{kp} = 1, \omega_{kp} \geq 0$.

输出层输出为 $u_{pj} = [1 + (1 - I_{pj}^{-1})^2]^{-1}$ (8)

设样本 j 的期望输出为 $M(u_{pj})$,则其误差平方和为

$$E_j = \frac{1}{2} [M(u_{pj}) - u_{pj}]^2 \tag{9}$$

输出层全部误差平方和为 $E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [M(u_{pj}) - u_{pj}]^2$ (10)

调节网络中的连接权重使 E_j 最小.应用梯度下降法,连接权重的调整量为

$$\Delta \omega_{kp} = -\eta \frac{\partial E_j}{\partial \omega_{kp}} \quad \Delta \omega_{ik} = -\eta \frac{\partial E_j}{\partial \omega_{ik}} \tag{11}$$

式中 η 为学习效率,得

$$\delta_{pj} = 2u_{pj}^2 \left[1 - \sum_{k=1}^l \omega_{kp} u_{kj} \right] \left[\sum_{k=1}^l \omega_{kp} u_{kj} \right]^{-3} [M(u_{pj}) - u_{pj}] \tag{12}$$

则输入层节点 i 与隐含层节点 k 的权重调整量模型为

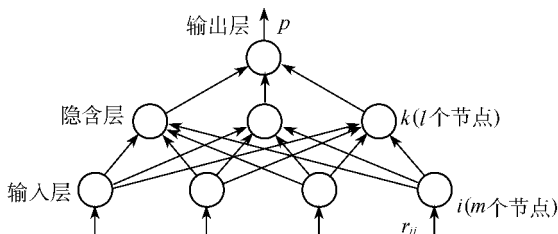


图 1 3 层模糊优选神经网络

Fig.1 Triple-hierarchy BP neural networks for fuzzy optimum selection

$$\Delta f\omega_{ik} = 2\eta r_{ij}\omega_{kp}u_{pj}^2\left[1 - \sum_{i=1}^m\omega_{ik}r_{ij}\right]\left[\sum_{i=1}^m\omega_{ik}\omega_{ij}\right]^{-3}\delta_{pj}$$

(13)

隐含层节点 k 与输出层节点 p 的权重调整量模型为

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

(14)

应用该模糊优选 BP 神经网络权重调整模型,可以确定网络的连接权重值,使实际输出与期望输出误差最小^[10,11]. 本文构造的网络拓扑结构,对于多目标多层次多阶段的决策系统同样适用.

4 实证研究

“太湖流域综合治理总体规划方案”^[12]项目兼有社会公益性质,主要体现在国民经济效益,同时采用 12% 和 7% 的社会折现率进行后评价. 选取项目的内部收益率、效益费用比、经济净现值、投资回收期作为评价指标. 安徽蚌埠闸扩建工程(Ⅰ)、福建九龙北溪引水工程(Ⅱ)、海伦市东方红水库工程(Ⅲ)、广西宾阳县清平水库工程(Ⅳ)、四川武都二期引水工程(Ⅴ)、湖北丹江口水利枢纽初期工程(Ⅵ)、黄河三门峡水利枢纽工程(Ⅶ)等项目后评价提供的相关数据,见表 1.

表 1 各项目经济效益指标
Table 1 Economic benefit indexes of projects

项目	内部收益率 /%	效益费用比		净现值/亿元		T_p/a	期望值 E
		$I = 7\%$	$I = 12\%$	$I = 7\%$	$I = 12\%$		
Ⅰ	14.00	3.27	2.89	1.33	0.15	10	0.823 5
Ⅱ	23.30	4.53	3.90	84.58	9.20	28	0.916 4
Ⅲ	18.50	3.36	2.88	75.91	8.24	34	0.298 7
Ⅳ	14.53	1.69	1.24	90.03	8.54	40	0.563 0
Ⅴ	13.90	3.54	3.07	42.66	5.35	30	0.668 9
Ⅵ	17.09	2.04	1.77	93.21	9.90	38	0.595 9
Ⅶ	12.04	1.79	1.01	88.70	9.78	50	0.347 1
本项目	26.31	4.63	3.61	280.67	238.94	25	

运用模糊优选神经网络对本项目经济效益进行综合后评价. 取 10 项作为网络训练的学习样本. 经标准化处理后,采用效用函数法,经过标准化处理后的指标隶属度见表 2.

表 2 经济效益指标样本隶属度
Table 2 Subjection degree of samples of economic benefit indexes

样本 序号	样本隶属度值						期望值 E
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	
1	0.174 1	0.556 3	0.000 0	0.650 5	0.000 0	1.000 0	0.346 0
2	1.000 0	1.000 0	0.906 1	1.000 0	0.928 2	0.550 0	0.730 0
3	0.573 7	0.588 0	0.811 7	0.647 1	0.829 7	0.400 0	0.115 0
4	0.221 1	0.000 0	0.965 4	0.079 6	0.860 5	0.250 0	0.884 0
5	0.165 2	0.651 4	0.449 8	0.712 8	0.533 3	0.500 0	0.633 0
6	0.448 5	0.158 5	1.000 0	0.263 0	1.000 0	0.300 0	0.542 0
7	0.000 0	0.035 2	0.950 9	0.000 0	0.987 7	0.000 0	0.066 0

建立 3 层神经网络,网络的输入层有 6 个节点,对应于 6 个评价指标. 隐含层节点的选取没有统一规定,取为 12 个. 输出节点 1 个,为综合评价值. 对于固定结构的模糊优选神经网络,学习效率 η 与冲量因子 α 都较大时,收敛速度快,对网络训练有利. 取学习效率 $\eta = 0.9$,冲量因子 $\alpha = 0.5$,训练精度 $\epsilon = 10^{-4}$. 经过 69 次学习,神经网络满足设定的条件. 其学习结果见表 3. 利用已训练好的模糊优选神经网络,对本项目进行评价. 选取项目 Ⅱ、Ⅵ和本项目进行比较. 先计算隶属度,然后输入评价指标数据,得本规划经济效益的综合评价值为 0.817 4,说明方案相对较优,本文的神经网络综合评价方法有效.

表 3 学习结果
Table 3 Learning results

样本号	1	2	3	4	5	6	7
训练值	0.345 6	0.728 9	0.114 6	0.875 0	0.631 8	0.544 7	0.068 9
期望值	0.346 0	0.730 0	0.115 0	0.884 0	0.633 0	0.542 0	0.066 0
绝对误差	0.000 4	0.001 1	0.000 4	0.009 0	0.001 2	0.002 7	0.002 9

5 结 论

由于各种评价方法都有一定的局限性,综合运用可以提高评价结果的可靠性.将已有的评价方法进行综合运用,是综合后评价方法发展的途径之一.应用模糊优选神经网络方法进行综合评价时,不需要计算评价指标的权重,不受决策者的知识经验和偏好的影响,评价结果更趋于客观、合理.本文将模糊优选理论与人工神经网络相结合,分析模糊理论、人工神经网络理论与综合后评价的关系,以模糊优选模型作为神经网络节点的激励函数,建立模糊优选 BP 神经网络模型,结合太湖流域综合治理总体规划方案,进行综合后评价,结果基本符合预想.

参考文献：

[1] MAEDA H, MURAKAMI S. A fuzzy decision-making method and its application to a company choice problem[J]. Information Science, 1998,45 331—346.

[2] 陈守煜. 模糊优选神经网络多目标决策理论[J]. 大连理工大学学报,1997,37(6) 693—698.

[3] 王宗军. 复杂对象系统多目标综合评价的神经网络方法[J]. 管理工程学报,1995,9(1) 26—33.

[4] DUTTA S, SHEKHAR S. Bond rating :a non-conservative applications of neural networks proc [R]. IEEE Int Cont on Neural Networks, 1998 221—259.

[5] 王爱民. 神经网络应用于模糊综合评价的研究[J]. 系统工程理论与实践,1995,(10) 37—42.

[6] 赵莉萍. 基于模糊神经网络的综合评判方法研究[J]. 预测,1998,(3) 54—56.

[7] XU R N, ZHAI X Y. Extensions of the analytic hierarchy process in fuzzy environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992,52(3) 251—258.

[8] MIADINEO N, RADICA T. An evaluation of multicriteria analysis for DSS in public policy decision[J]. European Journal of Operational Research,1992,61 219—229.

[9] 葛彩霞. 基于神经网络的模糊综合评价[J]. 大连海事大学学报,1997,23(3) 96—99.

[10] 黄德春,许长新. 投资项目后评价现有理论及评析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2003,31(6) 706—709.

[11] 张新红. 基于神经网络的管理信息系统综合评价方法[J]. 系统工程学报,2002,17(5) 445—450.

[12] 黄德春. 投资项目后评价理论、方法及应用研究[D]. 河海大学,2003.

Fuzzy optimum selection-based BP neural network and its application to comprehensive post-evaluation

HUANG De-chun¹, XU Chang-xin¹, REN Huan²

(1. Business School, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;

2. College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural Univ., Beijing 100083, China)

Abstract : The theory of fuzzy optimum selection is combined with the neural network theory, and the topologic structure of the network is determined, including the number of implicit layers, node number of implicit layers, and the reasonable mode of the node stimulation function. The comparative membership grade model for fuzzy optimum selection is taken as the stimulation function of the artificial neural network, and a weight adjustable BP model based on the neural network for fuzzy optimum selection is developed. Case study shows that the present model can be successfully applied to comprehensive post-evaluation.

Key words : fuzzy optimum selection ; neural network ; comprehensive post-evaluation ; stimulation function