

文章编号: 1002 - 980X(2007)08 - 0034 - 05

基于小波神经网络的企业技术创新能力模糊综合评价

汪克亮, 杨 力

(安徽理工大学 经济管理系, 安徽 淮南 232001)

摘要:在对企业技术创新能力系统进行分析的基础上,建立了企业技术能力评价指标体系并提出了基于小波神经网络的综合评价方法,采用模糊综合评价法生成评价样本集。仿真试验表明该方法用于企业技术创新能力综合评价的有效性、准确性,为企业技术创新能力的评价研究提供了一种新的模型。

关键词:技术创新能力;小波神经网络;模糊综合评价

中图分类号:F273.1 **文献标志码:**A

企业技术创新能力是指企业依靠新技术推动企业发展的能力。企业创新能力的高低可以由对已有技术和知识的消化吸收和进行再加工,通过企业组织生产、扩散从而实现经济效益来体现^[1]。企业技术创新能力体现了企业技术能力的高低。具有较强技术创新能力的企业对于技术创新的实现是非常有利的,会使得企业在竞争中处于优势地位。目前,广泛深入开展企业技术创新已经成为实现我国经济增长方式从粗放型到集约型的重要内容,如何全面提高技术创新能力已经成为一个我国企业参与全球竞争的核心战略问题^[2]。正是由于技术创新的重要性,建立一套适应企业技术创新能力的评价指标体系以及采用合适的评价方法是非常必要的。关于企业技术创新能力的评价方法很多,我国学者采用了诸如层次分析法(AHP法)、模糊综合评价、灰色评价、数据包络分析(DEA)等方法都取得了良好的效果。但是,这些方法的主要缺陷在于确定权重要靠专家打分的方法,所以评价结果具有一定的主观性和随意性。所以,本文尝试提出一种新型的评价方法来克服这些方法的缺点以保证评价结果的客观性、科学性。

企业是技术创新的主体,然而技术创新的过程是一个包含企业、科研成果提供者、中介机构、风险投资者、政府等众多参与主体、具有一系列复杂过程的有机整体,是一个复杂的非线性系统,而神经网络是一种解决非线性系统问题的有效工具,它具有自

适应、自学习、高容错能力等一系列的优点,通过学习能够在杂乱无章的样本数据中概括出其中的规律,已经广泛的应用在模式识别、故障诊断和数据挖掘等领域^[4-5],而小波变换具有良好的时频局域化性质。本文结合小波变换和人工神经网络的优点构建小波神经网络,利用小波网络的自适应调整小波变换尺度参数提高网络收敛性的能力,提出了一种基于小波神经网络的企业技术创新能力综合评价方法,为评价企业技术创新能力提供一种新的模型。

1 小波神经网络及其学习算法

1.1 小波网络及其结构

小波网络是将小波理论与人工神经网络的思想相结合而形成的一种新的神经网络,既充分利用小波变换的局部化性质,又能结合神经网络的自学习能力,从而具有较强的逼近函数的能力和容错能力,具有较好的收敛速度^[6-8]。我们通常称满足条件:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\hat{\psi}(\omega)|^2 d\omega < +\infty \quad \text{的平方可积函数 } \psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$$

为基本小波或母小波,式中 $\hat{\psi}(\omega)$ 是 $\psi(t)$ 的傅立叶变换。令

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \text{ 式中 } a, b \text{ 为实数, 且 } a$$

> 0 。对于信号 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$, 定义其小波变换为:

$$W_f(a, b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \text{ 式中}$$

a, b 分别为 $\psi_{a,b}(t)$ 的伸缩因子和平移因子。对于信号

收稿日期: 2007-03-14

基金项目: 安徽省教育厅人文社科基金(2004sk101); 安徽省高等学校青年教师科研资助计划(2004jq143); 安徽理工大学青年科学基金(2007jg12)

作者简介: 汪克亮(1980—), 男, 安徽枞阳人, 安徽理工大学, 硕士, 助教, 主要从事综合评价、决策分析研究。

$f(t)$,其局部结构的分辨可以通过调节参数 a, b 即调节小波基窗口的大小和位置来实现。

小波网络是基于小波分析的一类新型前馈网络,可以看作是 RBF 网络的一种发展,也可以看作是以小波函数为基底的一种新型连接的神经网络,其信号的表达是通过将所选取的小波基进行叠加实现的。在信号分类中,小波空间可以作为模式识别的特征空间,通过将小波基与信号向量的内积进行加权来实现信号的特征提取,然后将这些特征输入分类器中。这些特征结合了小波变换的良好的时频局域化性质和传统神经网络的自学习功能,因而具有良好的逼近能力和容错能力^[9]。小波网络模型结构如图 1 所示。

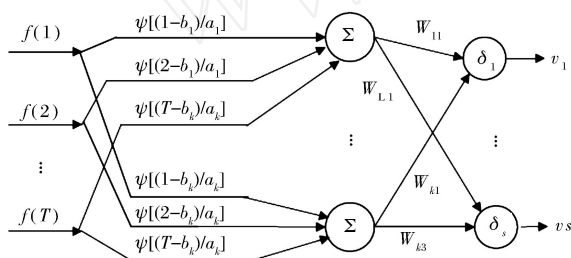


图 1 小波网络结构图

小波网络实际上是利用非线性小波基取代了通常的非线性 sigmoid 函数,信号 $s(t)$ 可以利用小波基 $a, b(t)$ 来进行拟合:

$$\hat{s}(t) = \sum_{k=1}^K w_k \left(\frac{t-b_k}{a_k} \right)$$

式中 $\hat{s}(t)$ 为拟合信号, w_k 为权值, K 为小波基的个数。采用国内外使用最普遍的 Morlet 母小波:

$$\psi(t) = \cos(1.74t) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right), \text{如图 2 所示。网络系数 } w_k, a_k \text{ 和 } b_k \text{ 可以通过下述最小均方误差能量函数进行优化。}$$

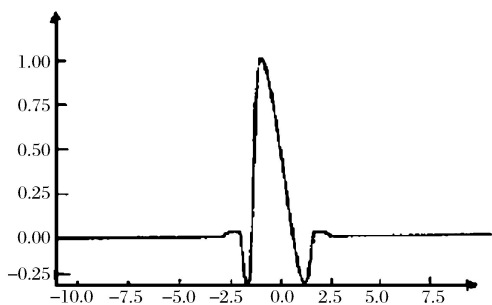


图 2 Morlet 母小波

$$E = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M |s(t_m) - \hat{s}(t_m)|^2, \text{其中 } M \text{ 为数据采}$$

集点总数。

设输入训练样本总数为 N ,网络有 T 个输入节点, S 个节点输出,对于第 n 个样本,第 s 个节点的输出用下式来表示:

$$O_{ns} = \left[\sum_{k=1}^K w_{sk} f_n(t) \left(\frac{t-b_k}{a_k} \right) \right] \quad s = 1, 2, \dots, S$$

其中 M 表示输入层单元数, K 表示隐含层单元数,以 w_{nk} 表示隐含层第 k 个单元与输出层第 n 个单元之间的连接权值,而 $\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ 为一 sigmoid 函数。

1.2 小波网络的学习算法

小波网络必须经过一定样本的学习训练才具备相应的功能,具体的学习算法步骤如下:

1) 网络参数的初始化。将小波网络的伸缩因子 a_k , 平移因子 b_k 以及网络的连接权重 w_{nk} 赋以随机的初始值。

2) 输入学习样本 $f_n(t)$ 以及相应的期望输出 O_{ns} 。

3) 网络的训练。利用当前网络参数计算出网络的输出为:

$$O_{ns} = \left[\sum_{k=1}^K w_{ks} f_n(t) \left(\frac{t-b_k}{a_k} \right) \right]$$

4) 计算瞬时梯度向量。令 $i = \frac{t-b_k}{a_k}$, $\sigma(u) = (u) [1 - (u)]$ 则 E 的梯度分别为:

$$g(w_{ks}) = - \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (d_{ns} - o_{ns}) \sigma(u_n) f_n(t)$$

$$\cos(1.75i) \exp\left(-\frac{i^2}{2}\right)$$

$$g(b_k) = - \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (d_{ns} - o_{ns}) \sigma(u_n) f_n(t)$$

$$w_{ks} \left[1.75 \sin(1.75i) \exp\left(-\frac{i^2}{2}\right) \frac{i}{2} + (1.75i) \exp\left(-\frac{i^2}{2}\right) \frac{i}{a_k} \right]$$

$$\frac{i}{2} \frac{i}{a_k} \left] \right.$$

$$g(a_k) = - \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (d_{ns} - o_{ns}) \sigma(u_n) f_n(t)$$

$$w_{ks} \left[1.75 \sin(1.75i) \exp\left(-\frac{i^2}{2}\right) \frac{i}{2} + (1.75i) \exp\left(-\frac{i^2}{2}\right) \frac{i}{a_k} \right]$$

$$\frac{i}{2} \frac{i}{a_k} \left] = i g(b_k)$$

5) 误差反向传播。令:

$$\begin{cases} w_{ks} = - \frac{\partial E}{\partial w_{ks}} + w_{ks} \\ a_k = - \frac{\partial E}{\partial a_k} + a_k \\ b_k = - \frac{\partial E}{\partial b_k} + b_k \end{cases}$$

式中 $0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$, 修改网络参数 a_k, b_k

和 w_{ks} , 有:

$$\begin{cases} a_k = \alpha a_k + \beta b_k \\ b_k = \alpha a_k + \beta b_k \\ w_{ks} = \alpha w_{ks} + \beta w_{ks} \end{cases}$$

6) 当误差绝对值小于预先确定的精度, 网络训练停止, 否则返回步骤 2)。

2 企业技术创新能力评价指标体系的建立

要想对企业技术创新能力进行客观、科学的评价, 首先必须要具备一套科学、全面的评价指标体系。对此, 许多学者进行了大量的研究, 建立了各有侧重又有很多共性的评价指标体系。本文本着评价指标体系的全面性、科学性、可评价性、相对对立性等基本原则, 参考了国内外有关文献, 建立了如图 3 的企业技术创新能力评价指标体系。

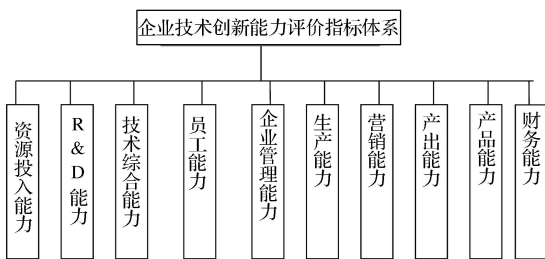


图 3 企业技术创新能力评价指标体系

3 指标模糊属性值的确定

从图 3 我们可以发现, 这些评价企业技术创新能力的指标都是定性指标, 而小波神经网络的输入信号必须是量化值, 所以必须对这些定性指标进行无量纲化处理。由于支配技术创新能力评判意识的直觉和习惯的思维方法具有明显的模糊性, 而且多项指标的优与劣没有明显的差异, 其评价结果一般也是模糊的, 故各项指标属性值以模糊打分的形式给出, 分值在 0 到 1 之间。我们可以采用模糊数学中隶属度的确定方法, 首先评价指标的属性集 $\{x_i\} (i = 1, 2, \dots, 10)$ 的量化值由专家打分的形式给出, 将各指标评语集定义为 {低、较低、一般、较高、高} 5 个分类来表示各模糊评语, 定义特征集为 $A = \{ \text{低} (0 \leq A_1 < 0.2), \text{较低} (0.2 \leq A_1 < 0.4), \text{一般} (0.4 \leq A_1 < 0.6), \text{较高} (0.6 \leq A_1 < 0.8), \text{高} (0.8 \leq A_1 \leq 1) \}$ 作为指标评价结果的表达, 指标 x_i 相对于评语集的隶属度向量为: $r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$, 那么 $V = r_i \cdot A$ 即为指标在给定特征集 A 下的量化值, 这样就形成了评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1,10} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2,10} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{n,10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{bmatrix}$$

其中 n 为评价企业的个数, R_i 表示第 i 个企业的技术创新能力的评价向量, 该评价向量就作为神经网络的输入信号。

4 基于小波神经网络的企业技术创新能力评价仿真

本文以安徽省的 16 个企业作为样本来进行仿真实验, 对于各项评价指标值, 采取专家打分的方式给出。专家评价采取的是传统的多指标综合评价方法, 如层次分析法等。专家打分与评价结果如表 1 所示。

表 1 专家打分和专家评价

企业代号	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	专家评价
1	0.95	0.91	0.89	0.78	0.95	0.83	0.72	0.6	0.90	0.91	0.846 8
2	0.98	0.53	0.59	0.72	0.93	0.58	0.71	0.94	0.73	0.59	0.728 3
3	0.76	0.31	0.12	0.75	0.56	0.96	0.90	0.32	0.74	0.92	0.634 1
4	0.32	0.72	0.92	0.94	0.52	0.31	0.76	0.54	0.52	0.50	0.579 9
5	0.52	0.35	0.32	0.35	0.58	0.56	0.34	0.34	0.53	0.14	0.421 1
6	0.34	0.35	0.52	0.52	0.36	0.36	0.57	0.58	0.19	0.55	0.420 4
7	0.91	0.53	0.72	0.53	0.94	0.74	0.98	0.94	0.73	0.52	0.759 3
8	0.96	0.72	0.72	0.71	0.76	0.74	0.77	0.53	0.74	0.76	0.744 4
9	0.73	0.55	0.74	0.54	0.32	0.76	0.56	0.95	0.53	0.76	0.654 1
10	0.33	0.54	0.74	0.33	0.76	0.77	0.35	0.57	0.58	0.54	0.564 1

企业代号	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	专家评价
11	0.98	0.92	0.74	0.73	0.95	0.54	0.94	0.51	0.55	0.78	0.753 5
12	0.75	0.54	0.34	0.35	0.57	0.78	0.74	0.58	0.38	0.54	0.572 7
13	0.90	0.89	0.92	0.88	0.75	0.73	0.97	0.95	0.75	0.98	0.861 5
14	0.52	0.54	0.58	0.74	0.35	0.33	0.55	0.34	0.54	0.53	0.489 1
15	0.73	0.55	0.76	0.76	0.72	0.78	0.97	0.75	0.14	0.56	0.672 5
16	0.54	0.32	0.54	0.73	0.75	0.74	0.77	0.58	0.37	0.55	0.586 0

小波网络对企业技术创新能力进行评价需要一定数量的样本作为训练集训练该小波网络,经过训练的小波网络通过储存小波参数值和权值,具备评价功能,只要专家给出各评价指标值,该小波网络就可以

给出企业技术创新能力的模糊综合评价值。我们利用其中 13 个企业作为训练样本,其余的 3 个企业作为仿真样本,模拟待评价对象。企业技术能力创新的模糊综合评价结果分为 5 个等级,如表 2 所示。

表 2 评价结果等级分类表

等级	1	2	3	4	5
评价结果	[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1]
企业技术创新能力	低	较低	一般	较高	高

在对网络进行训练时,将专家评价结果作为网络的期望输出,网络的训练精度定为 $\epsilon = 0.0001$ 。利用 Matlab 7.0 神经网络工具箱对网络进行训练,当误差达到了精度要求时,网络训练停止。利用剩下的 3 个企业的测试数据来测试训练好的网络,考察网络的泛化能力。测试结果如表 3 所示。

表 3 网络仿真结果

企业代号	14	15	16
测试结果	0.485 9	0.678 6	0.579 1
专家评价结果	0.489 1	0.672 5	0.586 0
相对误差	0.67 %	0.91 %	1.2 %
专家归类	一般	较高	一般
仿真归类	一般	较高	一般

通过小波神经网络评价模型的测试结果,我们发现,网络测试结果与专家测试结果具有很好的一致性,相对误差控制在 2 % 内,说明了该小波网络具有很好的泛化能力,利用小波网络来评价企业技术创新能力是完全可行的。我们也可以采用使用比较普遍的 BP 网络来建立评价模型,通过小波网络与 BP 网络的比较,我们可以发现小波网络收敛的速度比 BP 网络要快得多,所采用的神经元个数比 BP 网络要少而且能够有效地克服 BP 网络收敛速度慢、容易陷入局部极小的缺点,这一点充分说明了小波网络有效地整合了小波变换和人工神经网络的优点,使用小波网络建立评价模型可以使评价结果具有更高的科学性和准确性。

5 结束语

企业技术创新能力系统是个复杂的非线性系统,对企业技术创新能力进行评价是一项非常复杂的课题。本文通过对企业技术创新能力系统进行系统分析,建立了企业技术创新能力评价指标体系,采用小波神经网络并且利用模糊数学中的相关知识建立评价模型,实现企业技术创新能力评价从定性到定量的飞跃。该评价模型结合小波变换的时频局域化性质和人工神经网络的自适应、自学习优点,通过样本的训练确定小波参数和网络权值,避免了人为确定权值的主观性和失误,提高了评价的科学性和客观性。通过仿真试验,该评价模型完全可以模拟专家来对企业技术创新能力进行评价。

参考文献

- [1] 阎军印,等. 企业技术创新的系统分析与评价[M]. 北京: 中国财政经济出版社,2002.
- [2] 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,2005,1(17):50-53.
- [3] 魏江. 企业技术能力论——技术创新的一个新视角[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [4] 沈世镒. 神经网络系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [5] 焦李成. 神经网络系统理论[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1993.
- [6] ZHANG Q H. Benveniste A Wavelet networks[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1992,3(6):889-898.
- [7] DAUBECHIES I. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis[J]. IEEE. Information Theo-

- ry, 1990, 36:961 - 1005.
- [8]陈基明. 小波分析基础[M]. 上海:上海大学出版社,2002.
- [9]汤志伟,符萍. 基于小波神经网络的信息系统综合评价模型[J]. 电子科技大学学报,2005,5(34):672 - 675.
- [10]金长泽. 模糊数学及其应用[M]. 长春:吉林大学出版社, 1991.
- [11]宋如顺. 基于小波神经网络的多属性决策方法及应用[J]. 控制与决策,2000,6(15):765 - 768.

Fuzzy Synthetic Evaluation for Technologic Innovation Capability of an Enterprise based on Wavelet Neural Network

WANG Ke-liang, YANG Li

(Dept. of Economy Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui, 232001, China)

Abstract: In this paper, on the basis of analyzing technologic innovation capability system of an enterprise, we build technologic innovation capability evaluation index system and propose wavelet neural network based integrated evaluation method, and ANN training samples were got by Fuzzy synthetic evaluation. The result shown by the simulation that the method was effective and veracity for synthetic evaluation for technologic innovation capability, and can provide a new model for evaluation research of technologic innovation capability.

Key words: technologic innovation capability; wavelet neural network; fuzzy synthetic evaluation

(上接第 13 页)

- [10]HANSON G C, COLTON C L, HAMMER L B. Development and validation of a multidimensional scale of work - family positive spillover[C]. Paper presented at the 18th Annual Meeting of SIOP, Orlando, 2003.
- [11]RUDERMAN M N, OHLOTT P J, PANZER K, KING S N. Benefits of multiple roles for managerial women[J]. Academy of Management Journal, 2002, 45: 369 - 386.
- [12]TOMPSON H B, WERNER J M. The impact of role conflict/facilitation on core and discretionary behaviors: Testing a mediated model[J]. Journal of Management, 1997, 23:583 - 601.
- [13]FRIEDMAN S D, GREENHAUS J H. Allies or enemies? What happens when business professionals confront life choices[M]. New York: Oxford University Press, 2000.
- [14]PARASURAMAN S, PUROHIT Y S, GODSHAL K V M, BEUTELL N J. Work and family variables, entrepreneurial career success, and psychological well - being[J]. Journal of Vocational Behavior, 1996, 48: 275 - 300.
- [15]GREENHAUS J H, PARASURAMAN S. Research on work, family, and gender: Current status and future directions[M]. In: Powell, G. N. Handbook of gender and work. Newbury Park, CA: Sage: 1999, 391 - 412.
- [16]ROTHBARD N P. Enriching or depleting? The dynamics of engagement in work and family roles[J]. Administrative Science Quarterly, 2001, 46: 655 - 684.
- [17]NIPPERT - ENG C E. Home and work: Negotiating boundaries through everyday life[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1995.
- [18]ASHFORTH B E, KREINER G E, FUGATE M. All in a day's work: Boundaries and micro transitions[J]. Academy of Management Review, 2000, 25: 472 - 491.
- [19]GRZYWACZ J H, MARKS N F. Family, work, work - family spillover, and problem drinking during midlife[J]. Journal of Marriage and the Family, 2000a, 62: 336 - 348.

A New Perspective of Relationship between Work and Family

—A review of researches on work-family enrichment

HUANG Yi-qun, PAN Lu-shan

(School of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

Abstract: A series of research showed rethink of relationship between work and family, more dialectically. Based on the state-of-art of work-family enrichment, we presented the new trend of this topic and give some suggestions on future study.

Key words: work-family conflict; work-family enrichment; role accumulation

(上接第 30 页)

Research on the Risk of Logistics Outsourcing under Supply Chain Management

LI Guang

(School of Management, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu Anhui 233041, China)

Abstract: This article uses transaction cost theory, principal-agent and supply chain management theory, to analyze the risk of logistics outsourcing. At the same time the article put forward to four stage model about the risk of logistics outsourcing and avoidance measures about the risk of logistics outsourcing.

Key words: supply chain management; logistics outsourcing; analysis of risks; avoidance measures