

基于 BP 神经网络的国防企业技术创新能力评价 *

Technological Innovation Ability Evaluation on National Defense Enterprise Based on BP Neural Network

西北工业大学管理学院 夏维力 钟 培

[摘要] 结合自组织理论提出了国防企业技术创新评价体系,构建了 BP 神经网络模型,运用 MATLAB 软件进行了模型仿真。研究发现仿真结果与专家评价结果基本一致。可见,运用 BP 神经网络方法对国防企业技术创新能力进行评价有一定的通用性、便捷性和实用性。

关键词: 国防企业 BP 神经网络 技术创新评价指标体系 MATLAB 仿真

[ABSTRACT] Put forward a technological innovation evaluation system for national defense enterprise combined with self-organization theory, and the BP neural network model is constructed, model simulation is carried out by using MATLAB software. The results are basically the same with experts' opinion, so it is current, convenient and practical to evaluate the defense enterprises technological innovation ability with BP neural network method.

Keywords: Defense enterprise BP neural network Technological innovation evaluation index system MATLAB simulation

国防工业是我国国防和经济领域的支柱性产业,往往是最新科学技术、最新生产方式和最新工艺装备的集中体现。国防企业技术创新能力的提高对于我国自主创新整体水平的提升具有非常重要的战略意义。人工神经网络可以处理高度复杂的非线性模型,能够有效地解决信息和知识获取方面存在的间接性和效率低的问题,并且具有很高的精度,无需建立数学模型。人工神经网络通过网络训练从数据中概括出知识,这些知识以多组权值和阈值的形式分别存储于各神经元中,构成网络知识。利用该知识进行评价或预测^[1],可以有效避免常用的层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP) 和产业动态因子等算法的主

观因素强、评价结果准确性不高等缺点。

本课题结合自组织理论提出了国防企业技术创新评价体系,构建了 BP 神经网络模型,并运用 10 家国防企业的评价数据对模型进行训练,再将另外 10 家企业的相关数据代入训练好的模型中进行计算机仿真,比较仿真结果与专家评价结果。

1 国防工业技术创新评价指标体系的构建

J. A. Schumpeter 首先提出了“创新理论”,这是“技术创新”的最早论断^[2]。Robert A. Burgelman^[3]认为创新能力由可利用的资源、对行业竞争对手的理解、对环境的了解能力、公司的组织文化和结构以及开拓性战略等因素组成;我国著名学者傅家骥^[4]把技术创新能力分解为创新资源投入能力、创新管理能力、创新倾向、研究开发能力、制造能力和指标体系的设计要素。近几十年来,许多学者从不同角度对技术创新能力的评价进行了大量研究。Jacobs 等^[5]规范和深入地阐述了创新簇并定义了相关维度;Lu Luan Yuan 等^[6]根据 AHP 方法确定每个技术创新能力指标的权重,并通过模糊多层次多属性决策方法来评估高新技术企业创新能力;吴贵生^[7]、高建^[8]、李子彪等^[9]运用不同方法提出了技术创新评价指标体系。

自组织理论是由耗散结构论与协同论组成的,其中耗散结构理论由 I. Prigogine 提出,它主要研究在开放并且远离平衡的情况下系统如何从无序达到有序^[10]。把自组织理论研究引入深化的是德国物理学家 H. Haken^[11]提出的协同学。构建自组织系统需 4 个必备条件:开放性条件、非平衡性约束条件、非线性相干条件和涨落条件。国防企业的技术创新活动是一种典型的自组织演化活动,而技术创新自组织条件的丰裕程度则从侧面反映了技术创新的可能性,最终的创新成果是技术创新最重要的体现。

指标体系的构建应遵循科学性、系统性、可行性、导向性、定性与定量相结合等原则。本课题结合国防企业技术创新自组织演化条件确定了二级指标,将各条件的具体要求作为三级指标,构建的评价指标体系

* “国家 985 哲学社会科学研究基地”西部国防科技工业发展研究中心资助项目。

如表 1 所示。

本指标体系是根据技术创新自组织演化机制的表现形式建立的,共分三级。一级指标为评价目标层:国防企业技术创新能力;二级指标主要依据系统自组织演化的 4 种条件设立,包括: C_1 系统开放性、 C_2 资源获取能力、 C_3 催化能力和 C_4 进化能力;三级指标是二级指标的具体表现,是应用过程中需搜集的系列原始数据。

2 技术创新评价 BP 神经网络模型的构建

2.1 模型简介

BP 神经网络的全称是反向传播模型,为多层感知器结构,由若干层神经元组成,不仅有输入层节点和输出层节点,而且还可以有 1 层或多层隐含层节点。与传统评价模型相比, BP 神经网络具有知识和信息的分布式表达、大规模并行处理、自学习性、知识处理的自适应性、容错性、动态性和联想记忆能力等

特点,广泛应用于非线性建模、函数逼近和模式分类等方面。

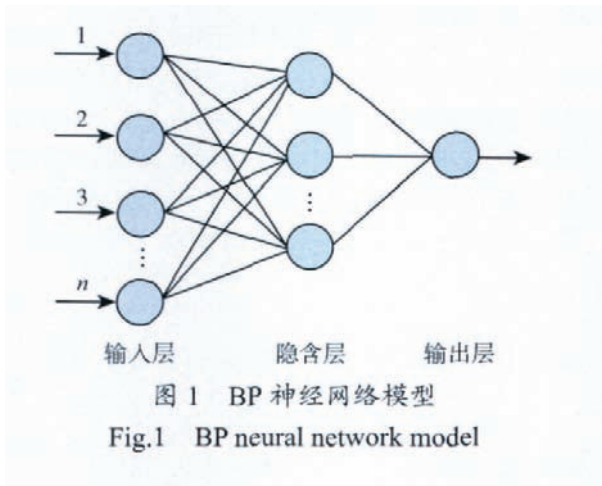
技术创新能力的影响因素具有不确定性和非线性等特征, BP 神经网络恰好迎合了这些特征,可以完成从输入到输出模式的复杂映射。用神经网络模型评价企业技术创新能力的优点是:经过参评样本训练确定的 BP 神经网络模型可以按照最优算法准则反复迭代,不断调整神经网络结构,直至达到一个相对稳态,能使系统误差达到任何一种精度要求且有收敛性;随着训练样本的增加和时间的演进,能继续进行学习和实现动态跟踪评价,使评价方法具有便捷性和通用性^[12]。

典型的 BP 网络具有 3 层结构:输入层、隐含层和输出层(见图 1)。BP 网络的学习过程由正向传播和反向传播两部分组成,其算法描述如下。

①用随机数(一般在 0~1 之间)初始化 ω_{ji} 和 θ_j ,其中 ω_{ji} 为神经元 i 到神经元 j 的连接权重, θ_j 为

表 1 国防企业技术创新评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标描述
国防企业技术创新能力	系统开放性 C_1	X_1 技术交流网络建设	企业内部与外部技术协作网络建设情况(定性指标)
		X_2 技术人员交流机制	企业技术人员内部及外部交流机制(定性指标)
		X_3 合作开发项目比例	企业与外界合作开发项目数量 / 企业开发项目总数
	资源获取能力 C_2	X_4 研发人员投入强度	研发人员总数 / 职工总数
		X_5 研发人员素质	拥有研究生以上学历人数占所有研发人员比例
		X_6 获取资金扶植力度	政府、集团等部门项目研发扶植总额
		X_7 研发资金投入强度	R&D 总额 / 销售收入(年)
		X_8 外部技术引进强度	外部引进技术数量 / 新技术总量(年)
		X_9 国际先进水平设备比例	国际先进水平设备数 / 设备总数
		X_{10} 国内先进水平设备比例	国内先进水平设备数 / 设备总数
	催化能力 C_3	X_{11} 战略能力	企业技术创新战略规划(定性指标)
		X_{12} 激励机制	企业技术创新激励政策制定和落实状况(定性指标)
		X_{13} 技术评估能力	对新技术的评估措施(定性指标)
		X_{14} 部门协调能力	技术创新过程中部门合作和协调能力(定性指标)
		X_{15} 生产工人平均技术等级	Σ (等级 \times 该等级人数) / 总人数
		X_{16} 高级工程师比例	高级工程师人数 / 技术人员总人数
	进化能力 C_4	X_{17} 国防专利数量 / 年	企业每年新增国防专利数量
		X_{18} 普通专利数量 / 年	企业每年新增普通专利数量
		X_{19} 技术秘密数量 / 年	企业每年新增技术秘密数量
		X_{20} 新技术实现转化比例	实现转化技术成果数量 / 技术成果总数(年)
		X_{21} 新产品销售收入比例	新开发产品销售收入 / 销售总收入(年)



神经元 j (隐含层和输出层) 的阈值。

② 输入经预处理的训练样本集 $\{x_{pl}\}$ 和相应的期望输出集 $\{y_{pl}\}$, 其中 p 和 l 分别表示样本数和输入向量数。

③ 计算各层的输出值 O , 对于输入层, 其输入与输出相同, 即 $O_{pl}=x_{pl}$, 其中 x_{pl} 为第 p 个样本的第 i 个值; 对于隐含层和输出层, 神经元的输出操作为

$$O_{PL}=f(\sum \omega_{ij}O_{pi}-\theta)$$

式中 O_{pi} 既是神经元 i 的输出, 又是神经元 j 的输入; $f(\omega)$ 是一个非线性可微分非递减函数, 一般取 S 形函数, 即 $f(\omega)=1/(1+e^{-\omega})$ 。

④ 计算各层误差信号。

$$\text{输出层 } \delta_{pj} = (y_{pj} - o_{pj}) o_{pj} (1 - o_{pj});$$

$$\text{隐含层 } \delta_{pj} = o_{pj} (1 - o_{pj}) \sum_j \delta_{pj} \omega_{pj}。$$

⑤ 反向传播, 修正权重 $\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) + \alpha \delta_{pj} \omega_{pj}$, 其中 α 为学习速度。

⑥ 计算误差, 即 $E_r = \left(\sum_p \sum_k (o_{pk} - y_{pk})^2 / 2 \right)$, 当 E_r 小于给定的拟合误差时, 网络训练结束, 否则转到步骤③继续训练。

2.2 评价指标的标准化

评价指标体系中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。

① 对于定量指标, 虽然本体系多采用比例指标, 在一定程度上避免了不同衡量单位对评价结果的影响, 但为使衡量结果更具可比性, 须对各指标进行规范化和同趋化处理:

• 当目标越大评价越好时,

$$F_j = (x_j - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min});$$

• 当目标越小评价越好时,

$$F_j = 1 - (x_j - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min})。$$

式中, 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, 本体系采用 5 级评分制, 从高到低依次为很好、好、一般、不好、很不好, 对应得分为 5、4、3、2、1, 最后由专家打分法给出评分。为了保持与定量指标之间的可比性, 必须将定性指标再进行标准化处理, 处理方法与定量指标相同。

2.3 MATLAB 仿真

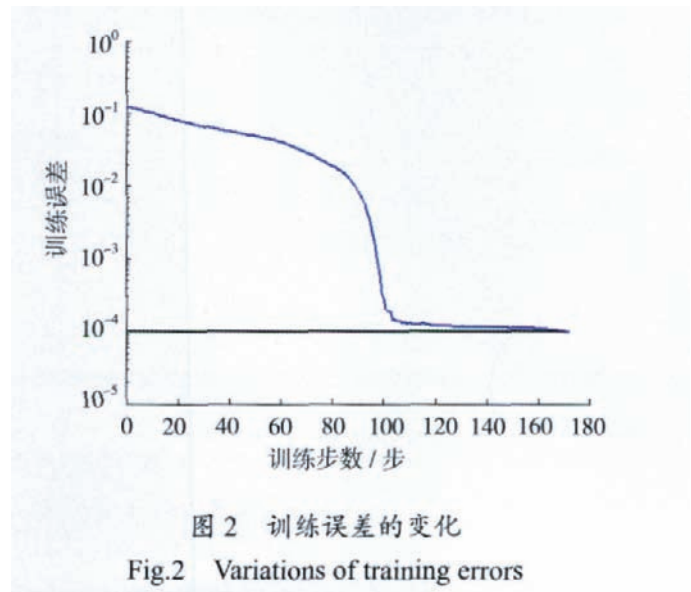
MATLAB 软件包将高性能的数值计算和可视化结合在一起, 提供了大量的内置函数, 而神经网络工具箱则是在 MATLAB 环境下开发出的众多工具箱之一, 它是以人工神经网络理论为基础, 运用 MATLAB 语言构造出的典型神经网络的激活函数, 使设计者对所选定网络输出的计算变成对激活函数的调用。根据本课题构造的评价体系, 构建了 3 层网络评价模型 (见图 1)。运用 MATLAB 软件实现仿真的过程如下。

① 输入层。依据国防企业技术创新评价体系, 将最低层指标数作为输入层神经元数 m , 这里 $m=21$ 。

② 隐含层。隐含层神经元数由公式 $h = \sqrt{mn}$ 得到, 这里 $h=5$ 。

③ 输出层。输出层神经元数 $n=1$, 输出结果为 o ($0 < o < 1$)。

④ BP 神经网络学习。选取了专家对 10 家国防企业的评价数据作为训练数据, 进行标准化处理, 输入 BP 神经网络。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 $\text{Logsig}()$ 和正切 Sigmoid 函数 $\text{Tansig}()$, 并选用 Trainlm 函数对网络进行训练。最大训练步数 epochs 为 10 000; goal 为 0.000 1; show 为 20; lr 为 0.05; lr_inc 为 10.5。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。网络初始化后, 利用函数 Trainlm 对网络进行了 173 步训练(见图 2), 网络误差平方和 mse 达到误差标准 $\text{goal}=0.000 1$ 的要求, BP 神经网络模型的构建即告完成。

为了验证本方法的实用性和有效性, 选取另外 10 家国防企业的相关调查数据, 将标准化后数据(其中 3 家企业相关调查数据如表 2 所示)代入训练好的 BP 神经网络中, 调用 sim 函数进行计算机仿真试验, 得出 10 家国防企业技术创新能力评分情况(见表 3)。可见, 计算机仿真结果与专家打分结果基本一致。

3 结束语

BP 神经网络在构成原理和功能特点等方面非常

表 2 各企业原始指标数据及标准化矩阵

指标	分指标	各企业原始指标数据			标准化后指标数据		
		企业 A	企业 B	企业 C	企业 A	企业 B	企业 C
系统开放性	技术交流网络建设	3	2	4	0.5	0.4	0.8
	技术人员交流机制	2	4	3	0.400 0	0.800 0	0.6
	合作开发项目比例	0.21	0.33	0.24	0.183	0.383	0.233
资源获取能力	研发人员投入强度	0.22	0.19	0.27	0.55	0.475	0.675
	研发人员素质	0.23	0.15	0.18	0.767	0.513	0.612
	获取资金扶植力度	0.11	0.19	0.17	0.185	0.481	0.407
	研发资金投入强度	0.35	0.26	0.28	0.681	0.489	0.532
	外部技术引进强度	0.32	0.35	0.25	0.617	0.681	0.468
	国际先进水平设备比例	0.6	0.73	0.89	0.518	0.675	0.867
	国内先进水平设备比例	0.17	0.16	0.21	0.552	0.517	0.69
催化能力	战略能力	4	3	4	0.8	0.6	0.8
	激励机制	2	2	4	0.4	0.4	0.8
	技术评估能力	3	4	4	0.6	0.8	0.8
	部门协调能力	3	4	3	0.6	0.8	0.6
	生产工人平均技术等级	3.5	4	3	0.583	0.667	0.5
	高级工程师比例	0.04	0.07	0.03	0.273	0.545	0.182
进化能力	国防专利数量 / 年	4	3	6	0.444	0.667	0.333
	普通专利数量 / 年	2	7	10	0.091	0.545	0.818
	技术秘密数量 / 年	21	23	29	0.326	0.372	0.512
	新技术实现转化比例	0.37	0.13	0.27	0.723	0.213	0.511
	新产品销售收入比例	0.26	0.4	0.3	0.489	0.787	0.574

表 3 10 家国防企业技术创新评分情况

企业编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
计算机仿真结果	0.731	0.562	0.347	0.856	0.523	0.785	0.724	0.622	0.435	0.863
专家评分结果	0.700	0.600	0.350	0.800	0.550	0.750	0.700	0.650	0.400	0.900

(下转第 90 页)

换热系数、减小摩擦系数和增加刹车盘厚度来实现,所以需要制备更好的摩擦材料,使得该材料既有很好的热容能力,又有较小的摩擦系数。但是摩擦系数不能太低,不然会出现刹车力矩不够的问题;至于刹车盘的厚度,应当考虑经济效益和机轮轮毂的容量大小适当增加。

4 结束语

本课题主要分析有限元计算的过程,计算中做了一些忽略次要因素的假设,从计算结果可知,工作过程中刹车热库的温度相当高。应用三维有限元计算模型,可以有效地进行机轮的热库计算和仿真,这给飞机刹车盘和热库的设计提供了重要的理论依据。当改变相关参数时,如热系数、摩擦系数以及刹车盘的厚度,得到的温度场分布与温度场分布相关结论及理论分析是一致的,可以比较真实地模拟刹车盘的温度场,为研制性能更好的刹车盘提供理论指导。

参 考 文 献

[1] 苗恩铭. 温度场计算中差分法的应用. 工具技术, 2005, 8 (39): 19-22.

[2] Barber J R. The influence of thermal expansion on the friction and wear process. *Wear*, 1967, 10(2):155-159.

[3] Barber J R. Thermoelastic instabilities in the sliding of conforming solids. *Proc. R. Soc.* 1969, A312: 381-394.

[4] Jang J Y, Khonsari M M. A generalized thermoelastic instability analysis. *Proc. R. Soc.* 2003, A459: 309-329.

[5] Kennedy F E, Ling F F. A thermal. *ASME J. Lubr. Technol.*, 1974, 97(9): 497-507.

[6] Zagrodzki P. Numerical analysis of temperature fields and thermal stresses in the friction discs of a multidisc wet clutch. *Wear*, 1985, 101(3): 255-271.

[7] Sonn H W. Thermoelastic analysis of carbon/carbon composite brake disks. Daejeon, Korea: Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1995.

[8] Zagrodzki P, Truncone S. Generation of hot spots in a wet multidisc clutch during short-term engagement. *Wear*, 2003, 254(5-6): 474-491.

[9] Cho C, Ahn S. Transient thermoelastic analysis of disk brake using the fast fourier transform and finite element method. *J. Therm. Stresses*, 2002, 25(3): 215-243.

[10] Choi J, Han J, Lee I. Transient analysis of thermoelastic contact behaviors in composite multidisc Brakes. *J. Therm. Stresses*, 2004, 27(12): 149-167.

[11] 夸克工作室. 有限元分析基础篇 ANSYS 与 Mathematica. 北京:清华大学出版社, 2002, 2. (责编 玉龙)

(上接第 82 页)

接近人脑,能够通过学习训练,自身适应环境,总结规律,完成某种运算、识别和过程控制。运用这种方法进行国防企业技术创新能力评价时,无需人为地确定评价指标的权重,有效地避免了层次分析法(AHP)、模糊综合评判法和灰色聚类法中人为因素的影响。

本课题根据自组织理论构建了国防企业技术创新评价指标体系,运用 BP 神经网络方法构建仿真模型,并用现实国防企业的各指标进行模型训练,进而对多家企业的评价数据进行仿真运算,所得结果与专家评价结果基本一致。可见,运用 BP 神经网络方法对国防企业技术创新能力进行评价具有一定的可行性、便捷性和准确性。

参 考 文 献

[1] 夏维力,杨海光,张莹. 基于生态位理论的虚拟企业 BP 神经网络评价模型研究. *工业工程*, 2007, 10 (2): 71-74.

[2] Pinto J. Critical success factors across the project life cycle. *Project Management Journal*, 1998, 4 (5): 21-23.

[3] Burgelman R A, Maidique M A, Wheelwright S C. *Strategic Management of Technology and Innovation*. 2nd ed. 北京:机械工业出版社, 1998: 85-103.

[4] 傅家骥. 技术创新学. 北京:清华大学出版社, 1998: 27-34.

[5] Jacobs D, DeMan A P. Clusters industrial policy and firm strategy: a menu approach. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1996, 10 (8): 425-428.

[6] Lu Luan-Yuan, Chen Chie-Bein, Wang Chun-Hsien. Fuzzy multiattribute analysis for evaluating firm technological innovation capability. *International Journal of Technology Management*, 2007, 2 (1): 114-117.

[7] 吴贵生. 技术创新管理. 北京:清华大学出版社, 2000: 83-90.

[8] 高建. 中国企业技术创新分析. 北京:清华大学出版社, 1997: 102-106.

[9] 李子彪,胡宝民,于新凯. 区域技术创新系统效能测度体系分析. *科学学与科学技术管理*, 2005 (1): 48-52.

[10] Prigogine N G. *Self-organization in Non-equilibrium System From Dissipative Structures to Order Through Fluctuation*. New York: Wiley, 1977: 205-206.

[11] Haken H. *Information and Self-organization: A Macroscopic Approach to Complex Systems*. Berlin & New York: Springer-Verlag, 1988: 127-128.

[12] 胡宝明,刘秀新,王丽丽. 基于神经网络的技术创新扩散建模探讨. *科学学与科学技术管理*, 2002 (8): 58-60. (责编 良辰)