

人工神经网络与劲性混凝土柱截面设计

王庆利 康清梁 曹平周

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

摘 要 针对土木工程中采用图表进行结构设计的不足,在劲性混凝土柱截面受力理论计算的基础上,综合考虑影响截面性能的主要因素,确定劲性混凝土柱截面设计的人工神经网络模型.该模型具有两个隐含层,分别具有 4 9 个隐含节点,优化了学习参数,用该模型对不同的样本集合分别进行学习与设计,设计结果与试件实际参数吻合良好,表明应用人工神经网络进行劲性混凝土柱截面设计不仅可行,而且精度较高.

关键词 人工神经网络 劲性混凝土柱 截面设计

中图分类号 TU398.9

结构工程中的许多问题是非线性的,变量之间的关系十分复杂,难以准确地用数学、力学模型来描述,试验、现场实测数据的代表性与许多因素有关,不可能完全满足传统统计方法所要求的各种条件;同时,工程项目多为单体生产,可统计性差,影响因素多,信息不确定.人工神经网络是由许多简单单元组成的广泛并行互连网络,能够模拟生物神经系统对真实世界物体所做出的交互反应.它不但具有一般的计算能力,还可以通过学习和记忆而获得知识进行推理,找出输入、输出变量之间的关系,从而得出结果.因此,运用神经网络方法求解工程结构问题非常适宜.理论与实践证明,人工神经网络在工程结构中的应用是可行的.

1 人工神经网络^[1]

人工神经网络是人工智能的一个重要组成部分,人工神经元是人工神经网络的基本处理单元.它是一个近似模拟生物神经元的数学模型,通过与其相连的神经元接收信息.每一连接都有突触连接强度,用一个该层连接的权值表示.人工神经元首先将产生的信号通过连接强度放大,接着它收到与其相连的所有神经元输出的加权累积,加权总和与神经元阈值 θ 进行比较,如果大于阈值,人工神经元被激活,信号被传到与其相连的更高一级神经元.

人工神经网络的核心问题是对广义的问题求解.其实现方法如下:学习阶段,利用建立的神经网络模型对典型的工程实例进行学习,建立各个影响因素与设计指标之间复杂的非线性映射,获得求解的知识领域;求解阶段,将待预测问题的输入指标送入训练好的网络,网络自动将其与学得的知识进行匹配,推理出合理的结果.

2 神经网络模型的建立

神经网络模型由神经元特性函数、网络结构和学习算法三个因素所决定,选取合适的上述三个因素对于网络处理复杂问题和缩短训练网络时间具有直接影响.

2.1 神经元特性函数

特性函数采用 Sigmoid 函数: $f(x) = 1/(1 + e^{-(x-\theta)})$

主要因为它与生物神经元的真实反映非常相似,并且具有一个简单的导数.

2.2 网络结构

对于多层前馈神经网络,只有相邻层间的节点互相连接,连接强度用权值 w_{ij} 表示.任何一个前馈神经网络

络都由一个输入层、一个输出层和若干隐含层组成,因此,优化设计仅考虑各层的节点数和隐含层数即可^[2]。

隐含层数的选取需要根据问题的复杂性而定,是网络取得良好决策性能的关键。笔者针对劲性混凝土柱截面设计问题,在学习步数不变的情况下,选取不同隐含层数的神经网络进行计算,发现具有 2 个隐含层的网络最为理想,如图 1 所示。隐含节点能把混杂于输入信号中的相互独立的基本信号分离出来,再组合出新的向量——输出向量,以实现网络由输入向输出的映射。本例通过改变某一隐含层节点数,其它隐含层节点数不变,来确定合理的隐含节点数目。第一隐含层具有 4 个节点、第二隐含层具有 9 个节点的网络效果最好。

2.3 学习算法

采用 BP(Back-propagation)网络学习算法,该算法是梯度搜索技术的直接应用,目的使得网络的实际输出与期望输出的均方差极小化。网络的学习过程分为两个阶段:前向传播计算,输入信息从输入层开始传递并经隐含层逐层处理后,产生一个输出,得到一实际输出和期望输出之差的差错矢量;反向传播计算,从输出层到输入层,利用差错矢量对权值进行逐层计算修改。当神经网络的实际输出值与期望值的误差调节到允许范围内,网络学习结束。此时实例中包含的专家知识,以并行分布方式隐含地贮存在网络中,即神经网络获得了领域专家知识。其具体学习过程如下^[3]:

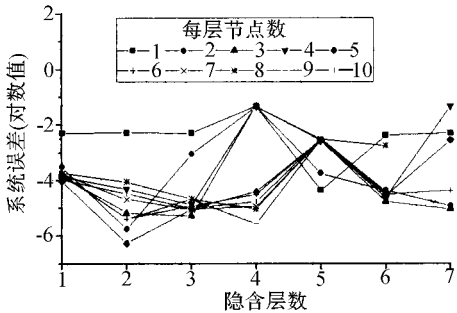


图 1 系统误差与隐含层数的关系
Fig.1 System error and number of hidden layers

- a. 构造网络拓扑结构,选取合理网络学习参数;
 - b. 初始化网络权值 $w_{ij}(0)$ 和阈值 $\theta_j(0)$,将他们定义为 $[-1,1]$ 区间内的随机数;
 - c. 输入向量 $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$,期望输出向量 $y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$;
 - d. 特性函数选用 Sigmoid 函数,由输入向正向计算网络的输出,
- 第 $K+1$ 层第 j 个结点的输入 I_{pj} 、输出 O_{pj} 分别为:

$$I_{pj} = \sum_i w_{ij} O_{pi} - \theta_j$$
$$O_{pj} = f(I_{pj}) = f(\sum_i w_{ij} O_{pi} - \theta_j) = \frac{1}{1 + \exp[-\sum_i (w_{ij} O_{pi} - \theta_j)]}$$

式中 O_{pi} 为第 K 层第 i 个结点的输出,单个样本误差 E_p 和系统平均误差 E 分别为:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_i (T_{pi} - O_{pi})^2 \qquad E = \frac{1}{K} \sum_{p=1}^K E_p$$

式中 T_{pi} 为期望输出;

e. 如果 $E_p \leq E_{ps}$ (单个样本误差容限), $E \leq E_s$ (系统平均误差容限)或达到指定的迭代步数,学习结束,否则进行误差反向传播,转向 f;

f. 反向逐层计算输出层网络结点误差

$$\delta_{pj} = O_{pj}(1 - O_{pj})(T_{pj} - O_{pj})$$

隐含层网络结点误差

$$\delta_{pj}' = O_{pj}(1 - O_{pj}) \sum_l \delta_{pl} w_{jl}$$

g. 计算权值修正量

$$\Delta w_{ij}(n+1) = \eta \delta_{pj} O_{pi} + \alpha \Delta w_{ij}(n)$$

结点阈值的修正量

$$\Delta \theta_j(n+1) = \eta \delta_{pj} + \alpha \Delta \theta_j(n)$$

式中 η, α 为学习参数;

h. 修正网络权值

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \Delta w_{ij}(n+1)$$

阈值

$$\theta_j(n+1) = \theta_j(n) + \Delta \theta_j(n+1)$$

再转向 c.

3 截面设计

目前土木工程中结构设计大多采用图表方法,首先对影响结构性能的因素进行假设,再利用现成的图表

进行类比设计.这种方法集中了前人的经验,同时可以简化部分计算,但是也有自身的缺点:假设条件往往与实际情况不符.笔者在劲性混凝土柱截面受力理论计算的基础上,利用样本集合,综合考虑影响截面性能的主要因素,运用神经网络方法,寻找各个因素之间的非线性关系.输入层有 5 个节点,分别为柱长 L (x_1/mm)、混凝土强度 f_c (x_2/MPa)、型钢材料强度 f_y (x_3/MPa)、极限承载力 P (x_4/kN)和偏心距 e (x_5/m);输出层有三个节点,分别为纵向含钢率 ρ ($y_1/\%$)、柱截面高度 h (y_2/mm)和柱截面宽度 b (y_3/mm).该网络为 5—4—9—3 型,如图 2 所示.

表 1 学习样本

Table 1 Specimen

样本	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2	y_3
1	3 000	18.5	315	1 080	0	3.20	200	200
2	1 000	19.6	315	1 800	0	3.40	250	250
3	1 000	16.9	315	1 750	0	3.40	250	250
4	1 000	19.3	315	1 800	0	4.20	250	250
5	3 000	21.0	300	650	2	5.63	200	150
6	2 500	15.4	300	594	2	5.63	200	150
7	2 000	21.0	300	750	2	5.63	200	150
8	800	18.3	277	285	0.218	6.60	210	210
9	800	12.0	358	342	0.219	6.60	210	210
10	800	14.7	280	160	0.428	6.60	210	210
11	800	18.5	280	170	0.429	6.60	210	210

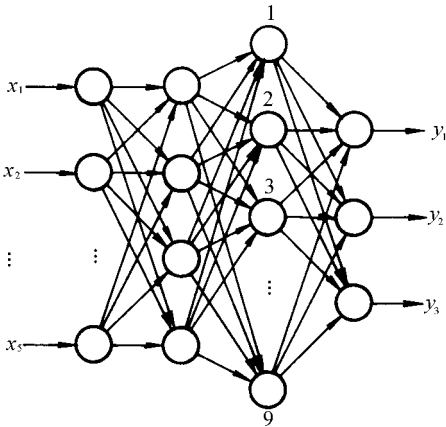


图 2 人工神经网络模型

Fig.2 Artificial neural network model

表 2 输出与试验结果的比较

Table 2 Comparison of output with test results

样 本	含钢率/%			高/mm			宽/mm		
	实测	输出	比值	实测	输出	比值	实测	输出	比值
1	3.60	3.49	0.97	200	202	1.01	200	202	1.01
2	5.40	5.83	1.08	200	208	1.04	200	208	1.04
3	5.63	5.74	1.02	200	206	1.03	150	145	0.97
4	5.63	5.40	0.96	200	202	1.01	150	152	1.01
5	6.60	6.86	1.04	210	205	0.98	210	205	0.98
6	6.60	6.73	1.02	210	206	0.98	210	200	0.95
平均值	—	—	1.015	—	—	1.008	—	—	0.993
均方差	—	—	0.041	—	—	0.023	—	—	0.030

在网络学习过程中,常常出现系统误差的局部振荡、“原地踏步”或收敛速度缓慢等问题,所以学习参数(动量项系数 α 、学习率 η 和学习步数 t)的选择直接影响网络的学习速度、收敛性能和推广应用.探讨了学习参数对劲性混凝土柱截面设计的神经网络模型性能的影响, $\eta=0.6$ 、 $\alpha=0.9$ 时网络推理效果最为理想.

取 33 个劲性混凝土柱试件作为学习样本^[4~6],见表 1.

网络训练好之后,取 6 个样本进行识别、推理^[4~6],输出结果及实测值见表 2,可见神经网络的预测值与实测值相对误差很小,效果良好.

4 结 论

确定劲性混凝土柱截面设计的人工神经网络模型,具有两个隐含层,分别具有 4、9 个节点,优化学习参数, $\eta=0.6$ 、 $\alpha=0.9$;用该网络模型对样本进行学习与设计,结果比较理想.算例表明了该方法的可行性.人工神经网络是动态的,随着学习样本数量的增加,通过网络的不断自学习,形成更加完整的网络结构,从而提高设计精度.关于人工神经网络技术在组合结构中的应用的研究还很少,对于大规模、复杂问题的解决是今后需要加强的工作.

参 考 文 献

- 1 殷勤业 杨宗凯. 模式识别与神经网络. 北京: 机械工业出版社, 1992. 130 ~ 132
- 2 姜绍飞. 外包钢组合结构的力学性能与神经网络方法的应用 [学位论文]. 沈阳: 东北大学, 1997
- 3 焦李成. 神经网络计算. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995. 38 ~ 39
- 4 王连广, 刘之洋. 钢与轻骨料混凝土组合梁. 成都: 西南交通大学出版社, 1998. 45 ~ 50
- 5 朱凤元, 安民. 微机在钢—混凝土组合柱中的应用. 武汉工业大学学报, 1990, 3(1): 112 ~ 117
- 6 叶列平. 劲性钢筋混凝土柱正截面承载力 N_u-M_u 相关曲线的计算. 南京建筑工程学院学报, 1991, 3(1): 1 ~ 13

Artificial Neural Network and Cross-Section Design of Steel Reinforced Concrete Columns

Wang Qingli Kang Qingliang Cao Pingzhou

(College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098)

Abstract To overcome the short-coming in structural design by use of diagrams tables in civil engineering, on the basis of theoretical calculation of the cross-section of steel reinforced concrete columns, an artificial neural network model for cross-section design of steel reinforced concrete columns is developed considering the main factors. This model has 2 hidden layers with 4 and 9 nodes respectively; several learning parameters are optimized; some specimens are studied and designed by this model, and the results coincide well with the factual parameters of specimens, showing that artificial neural network is feasible and precise in the design of the cross-section of steel reinforced concrete columns.

Key words artificial neural network; steel reinforced concrete columns; cross-section design

《河海大学学报》征订启事

《河海大学学报》(自然科学版)是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊,主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

本刊创办于 1957 年,是我国中文核心期刊,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果,部分达到了国内领先和国际先进水平,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议,发挥了较大的社会效益和经济效益,深受工程界和科技界赞许,并于 1989 年分别获得江苏省和全国高等学校自然科学学报优秀编辑质量一等奖。本刊每逢单月出版,国内外公开发行,邮发代号 28-63,每期定价 8.00 元,全年订费 48.00 元。欢迎广大读者在全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系。联系地址:南京市西康路 1 号《河海大学学报》编辑部,邮政编码 210098。