

基于 Kohonen 网络的钢筋砼筒支梁 振型识别实验研究

郭国会

傅余萍 易伟建

(郑州新开元工程监理咨询有限公司, 450006) (湖南大学土木工程系, 长沙, 410082)

摘 要 结构的振动测试中, 正确识别结构的低阶频率和振型尤为重要。一种基于 Kohonen 网络的结构振型识别方法, 为长期以来振型识别难的问题提供了一条简洁有力的途径。实测数据分析表明, 本方法具有很好的鲁棒性。

关键词 Kohonen 网络; 振型识别; 模态分析

中图分类号 TU 311.3

依据动力实验结果, 进行参数识别, 并以此为基础对结构状态做出评估, 是当前结构工程的一个研究热点。

结构振动测试中, 通常情况下需要获得结构低阶振型和频率, 这在测试较为精确以及环境噪声影响很小的情况下易于实现。然而实际工程中, 结构的振动测试会受到各种因素的影响, 例如环境噪声、模型假设以及人为过失等, 这就使得振型的识别变得困难起来。

本文提出的以 Kohonen 网络为基础的振型识别方法, 可以利用结构振动测试数据对振型加以准确地识别, 在工程实际中具有重要的实用价值。

1 Kohonen 网络与模式分类^[1]

近年来, 神经网络在土木工程领域的发展取得了令人瞩目的成就^[2~4]。在已有的研究中, 大多局限于采用 BP 算法的前馈型神经网络。

Kohonen 网络没有利用模式样本的先验信息, 而是靠系统本身在输入模式中形成不同的聚类来实现模式分类, 输出层哪个节点对应于哪类模式样本是不能事先确定的, 它是通过输出层所有节点的相互竞争来实现的。当某一节点竞争获胜后, 该节点对应的权值作相应的调整, 以使后来输入该类或相近的模式样本, 输出更大的值, 而其它节点受到抑制难以获胜。网络经竞争学习收敛后, 对于待定的输入模式样本, 输出层竞争获胜的节点, 就代表输入模式的类别。

Kohonen 网络共分两层, 如图 1 所示, 两层单元之间全互连, 网络输入单元数目等于模式向量维数, 输出单元数目等于模式类别总数。网络训练时, 须对输入向量进行规则化:

$$X = \frac{X}{|X|} \quad (1)$$

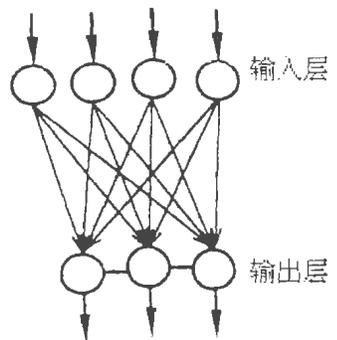


图 1 Kohonen 网络

收稿日期: 1998-01-20 修改稿返回日期: 1998-04-17

第一作者 男 1973 年 2 月生 博士研究生

式中, X, X 分别为规则化前后的网络输入向量。同样, 连接权值也进行规则化:

$$W_j = \frac{W_j}{|W_j|} \tag{2}$$

式中, W_j, W_j 分别为规则化前后连接第 j 个输出单元权值向量, W_j 初始值随机确定。第 j 个输出单元的输出为:

$$O_j = W_j \cdot X \tag{3}$$

式中, O_j 为第 j 个输出单元的输出值。具有最大值的输出单元为竞争获胜单元。网络训练基于竞争原则, 与获胜单元相连的权值 W_j 作如下调整:

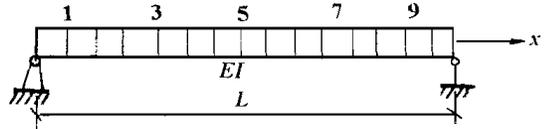
$$W_j(K+1) = W_j(K) + \alpha(X - W_j(K)) \tag{4}$$

式中, K 为迭代次数, α 为学习系数, 从 0 到 1 变化。在实际应用中, 开始时可取 α 接近于 1, 然后逐步减小, 直至网络具备良好的分类性能, 再令 $\alpha=0$ 。

2 利用精确的简支梁振型进行网络训练

图 2 为一等截面钢筋混凝土简支梁, 截面弯曲刚度为 EI , 梁长为 L , 将梁均分为 10 段, 简支梁主振型为:

$$\varphi_n(x) = \sin \frac{n\pi}{L}x \tag{5}$$



利用式(5), 可以求得前 4 阶振型在第 1 点至第 9 点处规则化后的值, 结果见表 1。

图 2 钢筋混凝土简支梁

表 1 简支梁前 4 阶振型

振型	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 阶	0.3090	0.5878	0.8090	0.9511	1.0	0.9511	0.8090	0.5878	0.3090
2 阶	0.5878	0.9511	0.9511	0.5878	0.0	-0.5878	-0.9511	-0.9511	-0.5878
3 阶	0.8090	0.9511	0.3090	-0.5878	-1.0	-0.5878	0.3090	0.9511	0.8090
4 阶	0.9511	0.5878	-0.5878	-0.9511	0.0	0.9511	0.5878	-0.5878	-0.9511

根据表 1 中的 4 组数据, 利用 9×4 的 Kohonen 网络, 取学习系数 α 为定值 0.5, 网络收敛后的输出结果见表 2。

表 2 Kohonen 网络识别结果

振型阶数	规则化网络输出			
	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4
振型 1	1.0000	0.7931	0.7908	0.7931
振型 2	0.7931	1.0000	0.6920	0.6428
振型 3	0.7908	0.6920	1.0000	0.6920
振型 4	0.7931	0.6428	0.6920	1.0000

由表 2 可以看出,输入层竞争获胜的节点数目与简支梁振型阶数一一对应,学习后的 Kohonen 网络能够很好地区分简支梁的前 4 阶振型。

3 钢筋混凝土简支空心板振型识别的实验研究

模态分析和参数识别技术,是一种试验与理论分析相结合的方法,通过试验测得的传递函数来求解系统的各阶模态参数—固有频率、振型、模态阻尼、模态刚度及模态质量。这种方法在解决结构动力学问题中所占地位愈来愈重要,并已广泛应用于工程实际中。

为对钢筋混凝土简支板进行动力破损评估,于 1997 年在湖南大学土木工程系结构实验室对一系列空心板进行了振动测试。本实验中同样将各板均分为 10 段,通过脉锤冲击,采用多点敲击单点测量的方法来获得激励和响应信号。利用 DASP 软件在频域范围内以对测试结果进行模态分析。抽取其中 4 块板,编号为 KB1~KB4,1 阶振型见表 3,2 阶振型见表 4。

表 3 钢筋混凝土简支空心板 1 阶振型

板号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KB1	0.5415	0.7507	0.8918	0.9600	1.0	0.9539	0.8542	0.6265	0.3629
KB2	0.4490	0.6728	0.8525	0.9721	1.0	0.9424	0.8108	0.5995	0.3289
KB3	0.5119	0.7655	0.9314	0.9212	1.0	0.9499	0.8362	0.7107	0.6050
KB4	0.6391	0.8243	0.9773	0.9950	1.0	0.9343	0.7759	0.5993	0.3348

表 4 钢筋混凝土简支空心板 2 阶振型

板号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KB1	0.9309	0.9511	0.7368	0.2635	-0.1501	-0.3224	-0.6676	-0.8383	-0.7798
KB2	0.9876	0.9511	0.7384	0.3269	-0.1808	-0.5250	-0.7777	-0.7848	-0.4624
KB3	1.0560	0.9511	0.7181	0.5169	0.1818	-0.1765	-0.5180	-0.8390	-0.6693
KB4	1.0014	0.9511	0.4751	0.3198	-0.0706	-0.6092	-0.8181	-0.7666	-0.4835

由表 3、表 4 对比表 1 中前 2 阶振型可以看出,由于空心板两端并非完全简支,又非等刚度板,以及存在较大的环境噪声,实测结果与理论值偏差较大,人为地识别振型存在一定的难度。将表 3、表 4 中各组数据依次输入给训练好的 Kohonen 网络,输出结果见表 5 及表 6。由表 5 及表 6 可以看出, Kohonen 网的识别结果与实际分析结果完全吻合。

表 5 简支空心板 1 阶振型 Kohonen 网识别结果

板号	网 络 输 出				振型阶数
	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	
KB1	1.0007	0.8083	0.8106	0.8107	1 阶
KB2	0.9996	0.8004	0.8012	0.8051	1 阶
KB3	1.0044	0.8024	0.8298	0.8025	1 阶
KB4	0.9975	0.8083	0.8135	0.8269	1 阶

表6 简支空心板2阶振型 Kohonen 网识别结果

板号	网络输出				振型阶数
	节点1	节点2	节点3	节点4	
KB1	0.7986	0.9825	0.7298	0.7502	2阶
KB2	0.8019	0.9864	0.7668	0.7148	2阶
KB3	0.8309	0.9664	0.6891	0.7836	2阶
KB4	0.8113	0.9461	0.8454	0.7598	2阶

4 结论

(1)基于自组织 Kohonen 网络,实现了钢筋混凝土简支梁的振型识别。并且本方法不需要任何先验知识,完全根据外界环境模式特征来实现分类。

(2)通过对钢筋混凝土简支空心板振动测试数据分析,在现场测试数据存在较大误差的情况下,Kohonen 网络的输出与实际分析结果完全吻合,表明网络具备很好的鲁棒性能。

参考文献

- 1 黄德双.神经网络模式识别理论.北京:电子工业出版社,1996,5
- 2 Ghaboussi J, Garrett Jr J H, Wu X. Knowledge-based modeling of material behavior with neural network. J Engrg Mech, ASCE, 1991, 117(1): 132~153
- 3 陆金桂,余俊,王洁.基于人工神经网络的结构近似分析方法.中国科学(A辑),1994,24(6):653~658
- 4 Mekherjee A, Deshpandee J M. Modeling initial design process using artificial neural networks. Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 1995, 9(3): 194~200

Research on Modes Recognition of Reinforced Concrete Simple Beam Based on Kohonen Network

Guo Guohui

(Zhengzhou New Century Engineering Supervising and Advisory Limited Company)

Fu Yuping Yi Weijian

(Hunan University)

Abstract It's important to recognize the low-order frequencies and modes of vibration in the course of structural dynamic measurement. Based on Kohonen network, this paper presents a method to recognize structural modes, which provides a clear and powerful tool for the recognition of modes which was a ever-difficult problem. The data analysis indicates that this method is robust.

Keywords Kohonen network; mode recognition; modal analysis