

# 神经网络用于结构动荷载识别的研究\*

高宝成

刘红霞

杨叔子

(北京邮电大学 100083) (郑州工学院 450002) (华中理工大学 430074)

**摘 要:** 本文讨论了神经网络用于结构动荷载识别方法, 通过系统输入及输出, 建立系统的仿真模型, 然后对结构的动荷载进行识别, 对解决非线性辨识问题作了有益的探讨, 具有一定的实用意义。

**关键词:** 神经网络 系统辨识 振动分析

**中图分类号:** TP39

随着科学技术的飞速发展, 设备的结构变得越来越复杂, 结构部件的作用荷载是研究结构强度的人员极为关注的问题。许多结构的荷载可以通过直接或间接的方法进行测量, 但确实存在一些复杂结构的荷载无法通过简单的测量来获取。例如: 飞机的许多结构所受的冲击力是无法直接获取的, 这给飞机结构设计带来了问题。为了保证强度, 结构尺寸自然增加, 其重量亦增加, 提高了飞机的造价。若为了减轻其重量, 则必然降低其强度, 给飞行安全造成威胁。因此, 准确地识别作用在结构上的荷载以及所造成的结构变形和破坏是一个关键性的问题。

## 1 传统的结构荷载识别方法

传统确定荷载的方法有两种, 一种是通过测量与荷载有关的物理参数, 然后根据所测得的物理参数去求取荷载。它的流程图如图(1)所示。



图1 常规求荷载结构图

这种方法要求能够直接或间接地测量与荷载有关的参数。但实际情况中, 许多相关参数是无法测量的, 所以这种方法仅适用于简单结构, 对于复杂结构就不再适用了。

随着计算机技术的进步, 实验模态技术得到了飞速发展, 因此人们往往将一个结构视作一个系统, 通过模态识别后, 确定这个系统的模态参数及相应的特征参数, 然后求得输入(即荷载)。由于模态识别的方法分为时域和频域两种, 因此荷载识别也可以分为时域和频域两种。它们的流程图如图(2)所示。



图2 模态方法求荷载结构图

这种方法要进行大量的计算, 其工作量大, 对设备要求高, 费用大, 对于非线性系统难度也

\*注: 本文系建设部“八五”攻关项目 项目编号: 85-01-02

收稿日期: 1995-06-09

大, 而且精度上也难以达到理想的程度。

## 2 时序信号的表达方式

对于一个系统, 它输入和输出的时间序列可分别写成:

$$x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$$

$$y_0, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n$$

它们分别代表不同时刻的模拟信号采样值, 也可以写成:

$$x_{(0)}, x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n-1)}, x_{(n)}$$

$$y_{(0)}, y_{(1)}, y_{(2)}, \dots, y_{(n-1)}, y_{(n)}$$

系统可用下面的差分方程描述:

$$y_{(k)} = f[y_{(k-1)}, \dots, y_{(k-N)}, x_{(k-d)}, \dots, x_{(k-M-d)}] \quad (1)$$

即输出为输出的过去值和输入的过去值函数。这种表示方法是因为我们对输出感兴趣, 如果我们对输入感兴趣, 那么也可以将方程写为:

$$x_{(k)} = g[x_{(-1)}, \dots, x_{(k-L)}, y_{(k-C)}, \dots, y_{(k-C-J)}] \quad (2)$$

这两种方式是对应着两个辨识系统。

有了表达式后, 余下的工作就是一个辨识问题了。对于时域辨识, 最常用的是 ARMA 模型, 但其对输入和输出条件有严格限制, 当使用条件不满足时误差就会增大。

## 3 基于神经网络的荷载谱识别方法研究

神经网络是近些年才转入实用的一种集多学科技术为一体的新型技术。它是由大量处理单元广泛互连而成的网络, 是在现代神经生物学和认知科学对人类信息处理研究成果的基础上提出来的。神经网络与以算术和逻辑运算、存贮与运算机分离、串行地执行指令为基础的冯·诺伊曼计算机迥然不同, 它是一个非线性动力学系统, 是以分布式和并行协同处理为特色的系统。

对于给定如图 3 所示的三层 BP 网络, 根据 kolmogorov 定理可知, 当有  $N$  个输入时, 隐含层有  $2N+1$  个神经元时, 这个三层的 BP 网络就可以精确地实现任意的连续映射, 也就是说, 它可以任意逼近一个非线性系统。

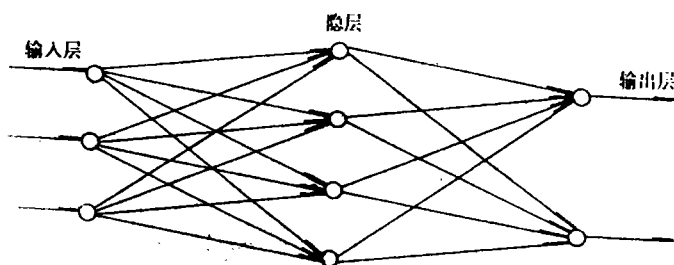


图 3 多层感知器(简称 BP 网)

通常各神经元的作用函数均取为 Sigmoid 函数, 即:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x})$$

神经网络用于系统辨识, 根据系统误差方式给定的不同, 分为图(4)所示的三种结构:

对于给定的输入、输出时间序列, 我们可以使用上述网络进行辨识。式 (1) 采用模型 (a) 进行识别, 式 (2) 则采用模型 (b) 进行识别。

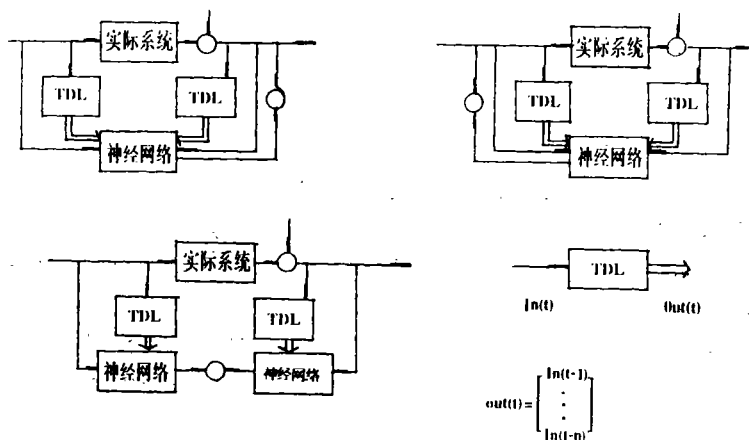


图4 神经网络辨识模型

例如, 对于一个非线性系统, 其差分方程描述如下:

$$y(k) = 0.4y(k-1) + 0.5y(k-2) + f[q(k-1)] + w(k)$$

$$f(x) = x[x(x+1) - 2.5]$$

采用模型(a), 经过学习后, 当输入为

$x(k) = 0.2\sin(2\pi k / 25) + 0.3\sin(\pi k / 7.5)$  时, 其实际输出曲线与神经网络的仿真曲线如图5所示:

示:



图5 (256点)



图6 (128点)

采用模型(b), 经过学习后, 当输入为

$x(k) = 0.2\sin(2\pi k / 25) + 0.1\sin(2\pi k / 7.5) + 0.1\sin(2\pi k / 5)$  时, 其实际输出曲线 (对应  $x(t)$ ) 与神经网络的仿真曲线如图(6)所示。

#### 4 神经网络在桥梁荷载识别中的应用

桥梁荷载识别的目的是在确保桥梁安全工作的条件下, 尽最大可能地发挥其作用。桥梁承载力的最大限度是在某一荷载作用下, 最大静挠度应满足下式

$$D_{\max} \leq l / 600 \quad \text{或} \quad D_{\max} \leq l / 500$$

$D_{\max}$  —— 最大静挠度

$l$  —— 桥的跨度

而最大静挠度与最大动挠度之间的关系为

$$D_{\max} / D_{\max} = 1 + \mu$$

$D_{\max}$  —— 最大动挠度

$\mu$  —— 冲击因子, 各国标准不同, 我国在《桥规》中给出了它的数值。

$$D_{\max} = D_{\max} + y_{\max}$$

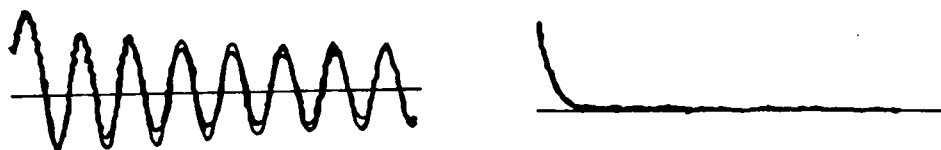
$y_{\max}$  —— 振度的最大幅值

因此有:  $y_{\max} / D_{\max} = \mu$

$$D_{\max} = y_{\max} / \mu$$

使用神经网络进行承载力识别, 首先是根据实测的输入及输出对神经网络进行训练, 建立逼近实际桥梁的网络模型, 然后我们可以根据实测得的振动信号, 反求输入的荷载, 同时根据输出的振动信号确定最大静挠度。当其最大静挠度满足要求时, 我们便可以判定在此荷载作用下, 桥梁是安全的, 否则说明桥梁在此荷载作用下不安全。

图 7 是根据模型桥的冲击输入和振动输出进行分析的网络, 通过分析建立了桥梁的网络模型, 在此模型下, 根据输出信号, 求得输入信号, 参照《桥规》即可确定桥梁工作是否安全了。



(a) 输出信号(128 点)

(b) 输入信号(128 点)

图 7 模型桥的识别

## 5 结语

神经网络用于结构荷载识别只是一种探讨, 尚有许多实际问题需要解决。作为尝试, 神经网络用于结构荷载的识别还是有其实用意义的。

### 参 考 文 献

- 1 杨叔子、吴雅《时间序列分析的工程应用》, 华中理工大学出版, 1991, 5
- 2 傅志方《振动模态分析与参数辨识》, 机械工业出版社, 1990.9
- 3 李国豪《桥梁结构稳定与振动》, 中国铁道出版社, 1992.10
- 4 Ks Narendra and K P Parthasavathy "Identification and control of dynamical system using neural networks", IEEE Trans on Neural Networks Vol 1, No 11, PP4-27, 1990.
- 5 罗发龙、李衍达《神经网络信号处理》, 电子工业出版社, 1993.10

## An Investigation on the Identification Method of Dynamic Loads of Constructure

Gao Bao-cheng (Beijing University of Posts and Telecommunication)

Liu Hong-xia (Zhengzhou Institute of Technology)

Yang Shu-zi ((Huazhong University of Science and Technology)

**Abstract:** In the paper, a neural network based on identification method of dynamic loads of constructure is discussed in detail. Simulation model of the system is established using system input and output. The dynamic loads of constructure are identified. This approach can be used for nonlinear system identification.

**Key words:** neural networks, system identification, vibration analysis.