

# 基于神经网络方法的包装件 非线性特性识别的研究<sup>1)</sup>

梁艳春 王 政 杨晓伟

(吉林大学数学系, 长春 130023)

周春光

(吉林大学计算机科学系, 长春 130023)

**摘要** 结合模糊集合理论, 将结构化神经网络方法用于包装件缓冲垫层非线性特性识别问题. 对于两种典型的包装件缓冲垫层材料模型的模拟识别结果表明, 据此方法可以较好地获得其非线性特性. 模糊自适应技术的引入, 提高了网络训练速度, 减少了对于训练参数的人为干预, 使得结构化神经网络方法更适于实际应用.

**关键词** 缓冲包装, 非线性特性, 模型识别, 结构化神经网络, 模糊自适应控制

## 引 言

缓冲包装设计是包装动力学理论研究与实际应用的最重要内容, 其基本步骤之一是选择适当的包装件缓冲垫层, 以控制传递到内装物的加速度峰值, 从而避免由于惯性力过大而产生过量的内应力所引起的产品损坏. 现有的可以为缓冲包装设计作出预先评价与论证的方法大多建立在将包装件简化为线性模型的基础上<sup>[1]</sup>. 但是实际上缓冲材料几乎都是非线性的, 且大多呈强非线性. 无论从理论研究还是从工程应用的角度, 确定包装件缓冲垫层的非线性特性, 对于合理地设计包装件, 提高产品包装的防振、缓冲能力无疑都是十分重要的.

## 1 神经网络模型与识别方法

由于人工神经网络模型具备传统计算模型所没有的固有特性, 已使得它成为动力学模型识别的一个理想选择. 文 [2] 首次提出了利用人工神经网络技术识别非线性动力系统恢复力的方法, 它是将人工神经网络方法用于应用力学领域中的物理系统的成功尝试, 利用它的识别结果可以判断系统中非线性的存在. 但这种方法是将线性与非线性恢复力作为一个整体来识别的, 在需要特别了解非线性特性本身的属性时, 它则不足以胜任. 文 [3] 在已知振动系统线性特性的前提下, 提出了一种识别振动系统非线性特性的结构化神经网络方法, 将系统分为线性和非线性两部分, 经学习得到的神经网络可以单独识别出系统的非线性模型, 而不是线性与非线性综合在一起的模型. 本文把结构化神经网络方法与模糊自适应控制<sup>[4]</sup>相结合, 并将其应用于包装件缓冲垫层非线性特性识别问题中, 提高了网络训练速度, 减少了对于训练参数的人为干预, 从而使神经网络方法更适于实际应用.

在产品的运输或实验过程中, 包括产品和缓冲包装材料在内的整个包装件是一个复杂的动力学系统. 首先将包装件简化为单自由度模型, 其动力学方程可以写为

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + p(x) = f(t), \quad (1)$$

<sup>1)</sup> 国家自然科学基金资助项目 (69575007).

1996 - 11 - 04 收到第一稿, 1997 - 03 - 09 收到修改稿.

式中  $m$  为包装容器与内装物质量,  $c, k$  分别为缓冲包装材料的线性阻尼与线性刚度系数,  $f(t)$  为包装容器在实验条件下承受的激振力,  $p(x)$  为关于位移的非线性项, 它是刻画缓冲包装材料的非线性特征的函数.

令  $\dot{x} = y$ , 并利用后退欧拉公式, 可将 (1) 式化为

$$\left. \begin{aligned} x(n+1) &= x(n) + \tau \cdot y(n) \\ y^*(n+1) &= y(n) + \tau \cdot [f(n) - cy(n) - kx(n)]/m \\ y(n+1) &= y^*(n+1) - \tau \cdot p(x(n))/m. \end{aligned} \right\} \text{ 一是}$$

www.cnki.net

### 3 算 例

本节以缓冲包装材料中常见的具有三次非线性和双曲正切非线性情形为例，说明模糊自适应 BP 算法对于典型的缓冲包装材料非线性特性识别问题的有效性，并与常规 BP 算法进行了比较。在模拟实验中首先假设非线性项  $p(x)$  为一已知函数，由数值方法获得实验数据，利用这些数据训练网络，然后由训练好的网络识别出系统的非线性特性。算例中取激振力  $f(t) = f_0 \sin(314t)$ ，隐层节点数目为 5，样本数目为 200，量化因子  $CT = CCT = 200$ 。

**算例 1** 假设  $p(x) = k_1 x^3$ ，即为三次非线性型。选用模拟参数为： $c/m = 1000$ ， $k/m = 1.2 \times 10^5$ ， $k_1/m = 10^5$ ， $f_0/m = 5 \times 10^4$ ， $t = 0.001 s$ 。采用常规 BP 算法，取训练速率 = 0.7，惯性系数 = 0.0，经过 2000 次训练后，误差小于 0.01。采用模糊自适应 BP 算法，取训练速率与惯性系数初始值分别为  $\eta(0) = 0.7$ ， $\alpha(0) = 0.5$ ，经过 1000 次训练后，误差即小于 0.01。对于误差等于 0.01 的情形，我们绘制了识别出的非线性特性与实际非线性特性的比较图如图 1 所示。

**算例 2** 假设  $p(x) = \frac{1}{1 + \exp(-kx)}$ ，即为双曲正切非线性型，式中  $\frac{1}{1 + \exp(-kx)}$  为弹性力的渐近值。许多较理想的缓冲材料，如瓦楞纸、蜂窝板、聚苯乙烯泡沫塑料等，都具有这类特性。选用模拟参数为： $c/m = 40$ ， $k/m = 1000$ ， $\gamma = 100$ ， $f_0/m = 250$ ， $t = 0.003 s$ 。采用常规 BP 算法，取训练速率 = 0.7，惯性系数 = 0.8，经过 600 次训练后，误差小于  $5 \times 10^{-6}$ 。采用模糊自适应 BP 算法，取训练速率与惯性系数初始值分别为  $\eta(0) = 0.7$ ， $\alpha(0) = 0.8$ ，只须经过 120 次训练，误差即小于  $5 \times 10^{-6}$ 。可见，采用模糊自适应 BP 算法较常规 BP 算法大约可提高训练速度 5 倍。对于误差等于  $5 \times 10^{-6}$  的情形，我们绘制了利用模糊自适应 BP 算法与常规 BP 算法得到的误差变化曲线图如图 2 所示。

由图 1 与图 2 可见，对于两种典型的非线性缓冲包装材料模型，根据神经网络方法获得的非线性特性的识别结果与相应的实际值吻合良好。与常规 BP 算法比较，利用模糊自适应 BP 算法可以较大幅度提高网络训练速度。

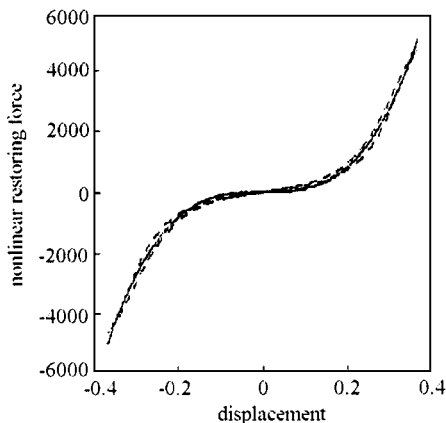


图 1 非线性特性识别结果与实际值比较  
—— 真值，--- 识别值  
Fig.1 Comparison of identified results and actual values of nonlinear characteristics  
—— actual values, --- identified values

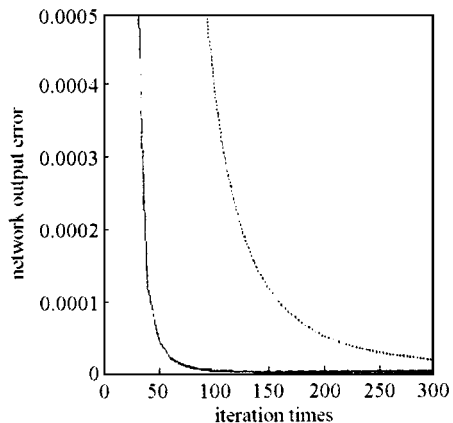


图 2 模糊自适应 BP 算法与常规 BP 算法误差曲线比较  
—— 模糊自适应 BP 算法，--- 常规 BP 算法  
Fig.2 Comparison of error curves from adaptive BP and conventional BP algorithms  
—— adaptive BP algorithm, --- conventional BP algorithm

### 3 结束语

计算机模拟结果表明, 基于人工神经网络技术的包装件缓冲垫层非线性特性识别方法是有效的. 由识别结果可以较好地获得缓冲材料的非线性特性. 模糊自适应方法的引入, 达到了提高网络训练速度, 自适应调整网络训练参数, 使结构化神经网络方法更适于实际应用的目的. 该方法亦可应用于包装件模型简化为多自由度系统的情形, 但这将需要较复杂的网络结构. 对于缓冲包装设计而言, 由单自由度系统模型获得的包装件缓冲垫层非线性特性, 可以为预先评价、论证与设计缓冲包装提供基本的理论依据.

### 参 考 文 献

- 1 Liang Yanchun, Wang Zaishen, Li Hongli. Optimal Design of Physical Parameters in Packaging Cushioning for Products Containing Critical Elements. Proceedings of the Second International Packaging Conference, Beijing, China, 1988: 147 ~ 156
- 2 Masri SF, Chassiakos AG, Craghey TK. Identification of Nonlinear Dynamic Systems Using Neural Networks. ASME Journal of Applied Mechanics, 1993, 60 (1): 123 ~ 133
- 3 杨建刚, 戴德成等. 利用结构化神经网络识别振动系统非线性特性. 振动工程学报, 1995, 1: 62 ~ 66
- 4 Li Songyin, Zheng Junli. The Fuzzy Adaptive Algorithm for Feed-Forward Multilayered Neural Network. Chinese Journal of Electronics, 1994, 3 (4): 28 ~ 33
- 5 Rumelhart DE, McClelland JL. Parallel Distributed Processing. Vol. 1, MIT Press, Cambridge, MA, 1986

## A STUDY OF IDENTIFICATION OF NONLINEAR CHARACTERISTICS IN CUSHIONING PACKAGING BASED ON NEURAL NETWORKS

Liang Yanchun Wang Zheng Yang Xiaowei

( Department of Mathematics, Jilin University, Changchun 130023, China )

Zhou Chunguang

( Department of Computer Science, Jilin University, Changchun 130023, China )

**Abstract** The structural neural network method with fuzzy adaptive controls applied to the identification of nonlinear characteristics in packaging cushionings in this paper. The simulated results on the two typical models of packaging cushioning materials show that the nonlinear characteristics can be identified perfectly. The combination of the structural neural network method with fuzzy adaptive techniques increases the training speed of the network, reduces the artificial interference to parameters of the network, and enables the structural neural network method to be more applicable in practice.

**Key words** packaging cushioning, nonlinear characteristics, model identification, structural neural networks, fuzzy adaptive control