

文章编号:1007-2985(2012)05-0039-04

基于均匀试验人工神经网络的实用可靠性方法^{*}

高 博

(天津职业大学,天津 300410)

摘 要:根据均匀试验的设计提出了一种全新的可靠性计算方法,它有机地综合了人工智能网络.神经网络弃用有限单元法(FEM)而改用该方法,一个根本原因在于它能极大地减少计算量.首先,根据随机变量分布情况,通过均匀试验提取出有限样本,将它们看作是有限元分析的输入参数.其次,基于有限元分析结果利用这些有限的训练样本构建最优的人工神经网络.利用最优人工神经网络的泛化能力,随机得到一个有效的响应值,然后计算出结构系统的可靠性指数.最后,这一计算方法还为进行可靠性分析提供新尝试,在对复杂系统进行实际试验时该方法表现得切实可行且有效.

关键词:可靠性方法;均匀试验;FEM分析;BP网络

中图分类号:TP301.6

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.1007-2985.2012.05.010

目前工程设计的标准正朝着基于概率极限状态设计方法的可靠性理论的方向发展.该方法的精髓在于分析设计的主要不确定因素并进行相关的定量分析.显然,从基于经验的定性分析到基于统计的定量分析,这个方法显得更科学、合理.

对于大型、复杂结构的可靠性分析,经常采用三维非线性有限元分析,因为这类系统的应力状态极其复杂.鉴于设计过程中的随机变量总是不确定的,用传统的估值方法获得的结果几乎难以反映过去几年里该结构的实际状况.不过,从可靠性分析法的设计理论出发,可以对系统的实际工作状态进行模拟试验^[1].在诸多可靠性分析法中,蒙特卡罗法是可靠性统计算法中用以解决高阶非线性系统问题最直观且相对准确的有效方法,因其结果精确度高,经常被用来检测其他类似分析法.蒙特卡罗法与有限元结合,随机抽样将所得结果导入有限元方程,通过结构分析进行统计计算得到响应变量,再根据它们的分布特性最终可求得可靠性值.鉴于这方面的计算量太大,该方法在大型、复杂的系统方面应用受限.

为了改善模拟效率和准确度,要尽可能地提高样本质量.笔者提出了一种全新的可靠性计算方法,它能提高FEM-均匀试验人工神经网络大规模计算的编程效率.

1 神经网络的基本原理

1.1 神经网络概述

作为近年来一个全新的跨学科课题,人工神经网络的有关研究已经取得许多重大成就^[2].BP网络在

^{*} 收稿日期:2012-09-18

作者简介:高博(1983-),男,天津人,天津职业大学助教,硕士,主要从事计算机应用、人工智能与网络研究.

人工神经网络方面应用最广泛,它采用的是一种非线性数学结构模式,这有助于描述任何复杂的非线性过程.尽管这种模型的参数本身带有非物理意义,但人工神经网络拥有非线性函数的优良特性以及函数能力,如自我组织、自适应和容错.通过 BP 算法的网络训练,人工神经网络可以为非线性分析、鉴定和预测提供强大支持.

1.2 神经网络训练

BP 神经网络是多层前馈型^[3],不同神经网络学习算法的具体计算也不同,但计算方法基本上是一样的.通常,BP 神经网络主要包括 1 个输入层、1 个或多个隐藏层以及 1 个输出层.每个层又由某个神经元构成.人工神经元是基础处理单元,它可以模拟生物神经元的功能和结构,通过自我组织、自适应以及容错功能实现信息存储和非线性映射.神经网络学习,即神经网络训练,是一种反应过程,通过根据输入参数来调整神经网络的加权系数和输出值来实现.当神经网络的加权系数达到预期值,网络学习即完成.

神经网络训练的分析过程具体如下:

- (1) 分析可靠性指数的主要影响因素,根据全面、经典和易选的原理构建人工神经网络的训练样;
- (2) 随机选取足够量的样本来创建 BP 网络并进行神经网络的训练工作;
- (3) 根据随机输入样本的顺序,通过人工神经网络求得对应的输出值.

1.3 神经网络训练的优化

(1) 训练样的特征.样本的特征能很好地反映模型的基础特点,不仅在训练区域具有代表性,在预测区域也具有普适性.在分析预测结果的普适性和特殊案例的影响时,挑选出相对性较大的那个变量.

(2) 训练样的数量.网络鉴于其样本数目的不足或难以充分地进行自我表达,样本数过多又会导致冗余,增加网络训练的负担,从而因为信息盈余的缘故导致训练出现过度拟合问题.

(3) 训练样的规范化.在进行网络训练前,需要将原始数据规范化才能得到样本因子.影响因子指数的不同会给样本的数量级造成巨大差异.为了防止部分神经元达到超饱和状态,建议进行规范化操作,如此一来计算工作才会更简便,也就是说,样本数据应设定在 0~1 之间才能减少绝对误差,提高计算精确度.

在进行人工神经网络训练之前,可以通过对原始数据进行规范化处理来获取样本因子.样本输入的规范化操作公式为

$$\bar{x}_i = \frac{y_i - y_{i\min}}{y_{i\max} - y_{i\min}} \times d_1 + d_2,$$

其中 d_1, d_2 是常量,可用实验方式得到, y_i 是训练样的初始值.综合上述分析,可知样本选择和优化是问题的关键,同时它们可以通过均匀试验来很好地解决.

2 均匀试验

均匀试验设计的关键在于如何组织好试验过程以便达到试验目的,同时又在 不影响分析准确度的情况下尽可能地将试验次数控制在最少.试验设计的本质在于在全面的试验框架内筛选出最具有代表性的点,这就意味着可以在全面的多因子试验里对元素进行选择,不仅减少试验次数,而且达到试验目的.

“均匀统计员”这一概念首次由 Fang Kaitai 教授与 Wang Yuan 共同提出^[4].该方法是应对多级多因子试验的理想之选,因子会影响试验指数,具体条件称为级别,试验过程中需要对各个因子进行比较.进行试验设计时,要组织好试验使得次数尽可能少,同时能充分反映所有试验样本的状况.均匀试验表里的这些代表性的点能反映不同因子、不同级别之间的关系.一个均匀试验表的最显著特征在于均匀分散,均匀试验所需的次数等于关系的级别数或倍数.例如,对于一个 6 个因子的组合,其级别是 11,那么均匀试验总次数就是 $11^6 = 177\ 156\ 1$;但若采用均匀设计表 $U_{11}(11^6)$,只需要 11 就够了,如表 1 所示,由此可以看出试验次数大大减少了.

表 1 6 个因子的组合, 级别 11 的均匀试验

	因子					
	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	5	7	10
2	2	4	6	10	3	9
3	3	6	9	4	10	8
4	4	8	1	9	6	7
5	5	10	4	3	2	6
6	6	1	7	8	9	5
7	7	3	10	2	5	4
8	8	5	2	7	1	3
9	9	7	5	1	8	2
10	10	9	8	6	4	1
11	11	11	11	11	11	11

3 基于 FEM 均匀试验人工神经网络的可靠性算法的实证分析

3.1 可靠性计算

可靠性功能函数包括结构的基础随机变量(如加载参数、系统参数等)和响应值(如应力、位移等)^[5]. 结构的随机变量映射的响应值可以通过有限元分析求得. 不过, 由于有限元方法的复杂性, 若要通过大规模数据来解决可靠性问题的话, 有限元方法的计算工作量会过大, 并且难应用于实际工程领域^[6]. 要简便、快捷地计算可靠性, 可通过均匀试验提取有限样本组合, 然后将这些样本看作初始输入值来进行有限元分析; 接着, 借助于基于输入样本和有限元法分析得到的响应值来建立有关模型. 很明显, 神经网络具有复杂非线性映射模拟特性, 可以模拟随机变量之间的映射关系或隐式功能函数. 当通过神经网络求得功能函数的充分值后, 便可以很容易解决可靠性指数.

3.2 可靠性分析法的计算步骤

首先, 根据工程实践的随机变量的概率分布, 基于有限元方法方面的均匀试验提取有限的样本. 通过有限元分析得到的输入样本和响应值可看成是人工神经网络的训练样. 接下来创建神经网络, 随机、充分训练样本. 最后, 根据由神经网络求得的随机变量的总概率的可靠性概念, 进行如下计算:

- (1) 建立有限元模型, 通过输入系统参数值和随机加载, 并结合有限元分析便可求得结构式系统的响应值;
- (2) 根据均匀试验的设计, 提取有限的样本并将它们当成最佳人工神经网络的训练样;
- (3) 构建并优化人工神经网络, 再通过输入训练样便可求得响应值;
- (4) 根据系统可靠性的定义以及人工神经网络充足的训练次数, 利用人工神经网络便可计算出结构系统的可靠性指数.

4 结语

可靠性方法是在结构系统的随机变量分布基础上提出的. 通过均匀试验提取到有限样本后, 借助人工神经网络和有限元方法的有机结合, 就可以有效地减少计算工作量. 可靠性方法不仅使计算对有限元方法更高效, 而且在不应用显式功能函数的情况下充分利用到人工神经网络的优势. 试验和分析结果证明, 此方法对提高系统的可靠性是有效、可行的, 且为复杂结构的可靠性计算提供了一条全新的解决之道.

参考文献:

- [1] DIMOPOULOS,IOANNIS J,CHRONOPOULS A,et al. Neural Network Models to Study Relations Between Lead Concentration in Grasses and Permanent Urban Descriptors in Athens City [J]. *Ecological Modelling*,2009(6):157-165.
- [2] GRIFFITHS D V,LANE P A. Slope Stability Analysis by Finite Elements [J]. *Geotechnique*,2008(20):387-403.
- [3] SAHOO G B,RAYA C,WADEB H F. Pesticide Prediction in Ground-Water in North Carolina Domestic Wells Using Artificial Neural Network [J]. *Ecological Modeling*,2005(7):29-46.
- [4] HALDAR A,REDDY R K. A Random-Fuzzy Analysis of Existing Structures [J]. *Journal of Fuzzy Sets and Systems*,2008(12):201-210
- [5] WANG Jian-feng. Comparisons of Limit Analysis Solutions and Random Search Solutions on Slope Critical Slip Surface [J]. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*,2002(15):66-71.
- [6] MARTINEZ-FLORES R,KATKHUDA H,HALDAR A. Structural Performance Assessment with Minimum Uncertainty-Filled Information [J]. *International Journal of Performability Engineering*,2008(8):121-140.

Artificial Neural Reliability Calculating Method Based on Uniform Test Network

GAO Bo

(Tianjin Vocational Institute,Tianjin 300410,China)

Abstract: This paper presents a design of a new reliability calculation method based on uniform test, which organically combines artificial intelligence network. Artificial neural networks abandons the finite element method (FEM) and applies this method, because the new law can greatly reduce the amount of computation. First, according to the distribution of the random variable, limited samples are extracted by uniform test, which are taken as for the input parameters finite element analysis. Secondly, based on the finite element analysis results, the limited training samples are used to construct the optimal artificial neural network. Optimal artificial neural network generalization ability is applied to obtain a valid response, and then the reliability index of the structural system is calculated. Finally, this calculation method provides a new attempt for reliability analysis in the actual testing of complex systems, which is proved to be practical and effective.

Key words: reliability calculating method; uniform test; FEM analysis; BP network

(责任编辑 向阳洁)