

焦点论坛

神经网络理论在土木工程应用中的几点认识

Discussion on neural network application in civil engineering

刘兴远^{1,2}

(1. 重庆大学 博士后流动站, 重庆 400045; 2. 后勤工程学院 军事土木工程系, 重庆 400041)

中图分类号: TP 183

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2003)04-0514-03

作者简介: 刘兴远(1963-), 男, 副教授, 博士。已发表学术论文 60 余篇, 目前主要从事人工神经网络理论的教学与科研应用工作。

1 问题的提出^{*}

人工神经网络模型最早是由生物学家与数学家于二十世纪 40 年代提出的。人类为了模拟生物神经系统的某些优良特性, 特别是人脑神经系统的特性, 提出了不同类型的人工神经网络模型。人工神经网络理论第一个研究高潮在二十世纪 60 年代, 第二个研究高潮在二十世纪 80 年代, 特别是在第二个研究高潮中, 人工神经网络理论在许多应用学科中取得了巨大的进展, 因此人工神经网络理论研究得到了国内外学者的认可。我国学者将人工神经网络理论研究成果应用于解决土木工程问题最早在二十世纪 80 年代末 90 年代初期, 当时发表的学术论文数量有限, 且当时的一些研究成果普遍不被人们所接受。通过十几年来许多学者的不断努力和辛勤工作, 加之人工神经网络理论研究的深入, 在二十一世纪初, 应用人工神经网络理论解决土木工程实际问题的有关文献在专业杂志上大量出现, 这是值得人们高兴的一件事, 但也出现了一些令人担忧的问题, 如国内多数应用人工神经网络理论研究的学术论文质量不高, 重复劳动过多, 有特色的研究成果不多, 一些在二十世纪 90 年代初期的研究成果就已超过了现在有关专业杂志上发表的学术论文, 而当时这些成果并未被这些杂志认可, 更有甚者, 凡涉及到人工神经网络理论应用于土木工程中的论文一概录用, 所有这些问题都不利于人工神经网络理论应用的发展, 为此对人工神经网络理论应用研究的一些基本问题应有一个正确的认识, 希望能尊重科学、尊重历史, 少走历史的弯路。当然由于笔者的学识和水平有限, 在阐述这些问题时不免可能有不当之处, 望能批评指正。

2 应用中的若干问题

2.1 生物神经网络与人工神经网络

神经系统是一个复杂的生物系统。人脑神经系统有其物质基础和化学变化过程, 解剖学对此进行了深入的研究。关于人脑神经系统的基本介绍, 许多文献都有专门的讲解^[1,2], 这里不多述。有关资料表明: 人类大脑皮质的全部表面积约有 $2.0 \times 10^5 \text{ mm}^2$, 平均厚度约 2.5 mm, 皮质的体积则约为 $5.0 \times 10^5 \text{ mm}^3$ 。如果皮质中的全部突触的平均密度是每立方毫米约 6 亿个左右, 则可认为皮质中的全部突触数为 300 兆亿个。如果再按人脑所含的全部神经元数目为 100~200 亿个计算, 则每个神经元平均突触的数目可能有 1.5~3 万个。由此可见人脑神经系统的复杂程度^[1]。

人脑作为一个智能的信息处理系统, 有其固有的特征, 其主要特征是: ①并行分布处理的工作模式; ②神经系统的可塑性和自组织性; ③系统性; ④系统的恰当退化及再生性^[1]。

为了模拟人脑神经系统(生物神经系统)的某些优良特性或某种特定的工作方式, 对人脑神经系统进行了大量的简化, 保留了其中最主要的特征从而提出了不同类型的人工神经元和人工神经网络模型, 为简单起见将人工神经网络简称神经网络, 如此简称有时将会导致一些误解。根据分类方法的不同, 人工神经网络模型有不同的分类。一般情况而言, 根据人工神经网络模型中是否有反馈, 将人工神经网络分为无反馈人工神经网络和有反馈人工神经网络两类。不同类别的人工神经网络有不同的特点, 就目前的研究成果而言, 还没有一种人工神经网络可以和人脑神经系统相比美。

在论述人工神经网络特点时, 主要有以下几点不妥之处:

①将人工神经网络(简称神经网络)等同于生物神经系统。②将某类神经网络模型的特性等同于生物神经系统的特性。③夸大人工神经网络模型的优点, 将特殊性等同于一般性。④将学习算法等同于神经网络模型。

2.2 人工神经网络的分类及基本特点

迄今为止, 人类提出了几十种甚至上百种不同类别的人工神经网络模型。这些人工神经网络模型在不同的条件下使用, 显示其独特的性能。在土木工程中应用较多的几类人工神经网络模型是: ①单层感知器模型, ②BP 网络模型, ③径向基函数模型, ④样条函数模型, ⑤Elman 模型, ⑥Hopfield 模型, ⑦自组织映射模型, ⑧自适应双向联想记忆模型, ⑨随机神经网络模型, ⑩模糊神经网络模型等。

单层感知器模型在模式识别中主要用于线性可分问题或真、假(开、关)的判定, 在描述时间序列时其作用等效于时间序列 AR 模型, 对其它类问题作用有限。

BP 网络模型应用得最多, 相对也最成熟, 大量的人工神经网络模型应用的有关文献多数是关于 BP 网络模型, 对于 BP 网络模型应用中的问题许多文献均有报道^[1~5], 在此不再论述。但需要说明的是在应用 BP 网络模型的有关文献中多数是简单化的应用, 属重复劳动, 望引起有关学者的注意。

径向基函数模型、样条函数模型是 BP 网络模型的变种, 在 BP 网络模型中神经元作用函数变为径向基函数或样条函数, 网络模型就变成了径向基函数模型或样条函数模型, 但通常其

隐层为一个,而不是多个隐层。径向基函数模型由于神经元具有局部敏感性特点,其应用有逐渐增多的迹象,但径向基函数的连接权的确定相对较为困难,且易出现过拟合现象,其具体应用仍受限制。关于径向基函数模型的具体特色可参见文献[2]。

由于BP网络模型对动态数据的处理具有很大的局限性,Elman提出在BP网络模型中的隐层中增加一个反馈层,从而使BP网络模型演变成Elman模型,Elman模型对处理一阶延时问题具有良好的性能,从而改善了BP网络模型处理动态数据的能力。

Hopfield模型的提出标志着人工神经网络理论研究第二次研究高潮的来到,因此,该模型具有划时代的意义。Hopfield模型是一动态模型,已广泛应用于优化问题的求解,对此许多文献均有报道^[1,2]。

自组织映射模型为一双层人工神经网络模型,其对样本具有自组织分类能力,因此它广泛地应用于模式分类,特别是人们对样本缺乏先验知识时,该网络的优点特别明显。它也可用于特征量的识别问题。国内学者所编写的有关文献中,均未能完整地介绍清楚该网络的应用技术,而文献[6]的论述极具特点,对此有兴趣的学者可参阅文献[6]。

自适应双向联想记忆模型(Bidirectional Associative Memory):联想记忆(AM)主要是利用反馈神经网络的稳定吸引子来完成信息记忆的,双向联想记忆模型是这样一种AM,它使用前向和反向搜索以从一输入对(A, B)回忆一个相关的双极性向量对(Ai, Bi)。自适应双向联想记忆模型所具有的上述特性,使其具有一定的纠错(容错)功能,即当输入模式与学习模式不完全同时,它可以联想出正确的模式。

随机神经网络模型,当神经元的响应由随机函数来确定时,一般的前向神经网络模型就成为了随机神经网络模型。它可以减少外部噪声对人工神经网络的影响,使网络性能得到优化。模糊神经网络模型是模糊数学与人工神经网络结合的产物。将模糊变量及其运算规则通过前向神经网络模型加以实现,从而构成了一般意义上的模糊神经网络模型。由于神经元具有特定的明确的物理意义,故参数的初值可以根据系统的模糊性或定性知识加以确定,再通过学习很快地确定其参数,这使模糊神经网络模型优于一般神经网络模型。由于模糊神经网络模型具有神经网络结构,因而参数的学习和调整比较容易,使它又优于一般的模糊逻辑系统。

2.3 学习与算法

人工神经网络模型中存在大量的连接权,不同的神经网络模型连接权的确定方法不同,通过对不同生物系统或生物系统某些特性的模仿形成了不同的学习规则,而这些学习规则的实现就形成了算法,但并非算法等同于学习规则。相同的学习规则可形成不同的算法,不同的算法在确定权系数时功效也不同。

通过向环境学习获取知识并改进自身性能是神经网络的重要特性,学习的方式有三种:①有监督学习,通过已知模式对的指导来调整网络参数;②无监督学习,通过样本体的特性(如统计特性)进行自组织来调整网络参数;③强化学习,通过外部

对神经网络输出的反应来调整网络参数。由以上学习方式产生以下几个主要学习规则:①误差修正学习规则,对在相同输入条件下,对比神经网络输出和已知输出的差别,调整网络参数并使该差别最小,此学习过程为有监督学习过程;②记忆学习规则,通过对过去正确分类样本的精确记忆,使待分类样本以某一精度判定为指定的类别,此学习过程也为有监督学习过程;③奖罚学习规则(Hebbian Learning),当神经元输出与环境相适应时,使神经元连接加强,反之使神经元连接减弱,此学习过程为强化学习过程;④竞争学习规则,通过神经网络输出对神经网络输入的竞争,使获胜者的连接权得以加强,而其它连接权弱化,此学习过程为强化学习过程;⑤Boltzmann学习规则,它源于统计力学,是一个随机学习算法,该法中的一个方法为模拟退火算法,详见文献[2]。

算法总是与学习方式和学习规则相联系的,对于学习规则的不同定义将导致不同的学习算法。从本质上将一切优化算法均可用于调整神经网络参数,随问题的不同,所用学习算法不同。本文不准备对每一算法逐一作详细介绍,但目前常用的学习算法为:①反向传播算法,②外积算法,③模拟退火算法,④遗传算法,⑤蚂蚁算法(最近两年模仿蚂蚁群体行为而提出的算法)等,其中最为著名的是反向传播算法,而近年热门的学习算法为遗传算法和蚂蚁算法。

2.4 使用中的若干误区

上述讨论使我们对在岩土工程中应用的人工神经网络有一个基本的了解。目前人们在应用人工神经网络理论时存在一些误区,它严重阻碍了人工神经网络理论在土木工程中的进一步发展,浪费了有限的资源。关于BP网络应用中的若干问题,文献[7,8]早有较好的论述,但是许多低水平的相关研究仍在重复进行,研究工作存在误区,其中部分情况如下。

(1)当人们对问题本质有清晰的认识且存在解析表达式时,神经网络模型与其相比无任何优势。部分论文并未认识到这一点,而是简单地应用一下BP网络模型算一个算例,发表一二篇论文了事,这对原问题的求解并无益处,使抄袭现象泛滥。

(2)有将简单问题复杂化和复杂问题简单化的趋势。对某一类问题认识不深入,换一种方式即简单地应用人工神经网络模型再求解老问题,无新的内容,换汤不换药的学术论文不少;对问题的复杂性缺乏认真的研究,主观地将多变量影响问题化为单变量或几个变量问题用人工神经网络来求解,这无疑对科学技术的发展不利。

(3)由于不同类神经网络模型具有不同的特性,其适用范围是有限的,充分地认识到这个问题,对充分体现人工神经网络理论的特点非常有利,否则将有碍神经网络理论应用的发展。如前向BP网络模型在解决动力学问题时并无特别的优势,而不论问题的性质如何仅选择BP网络模型求解,将不能得到有效的和满意的解答。

(4)人类神经系统具有很强的自适应能力,而某些人工神经网络模型也具有一定的自适应能力,但并非所有的人工神经网络模型均具有自适应能力。一些论文不考虑所用人工神经网络模型的特点,简单地抄袭某些文献的提法,认为所有人工神经网络模型都具有自适应能力,这是不正确的观点。此外,

在有关文献中提出 BP 网络模型的某些自适应算法,认为它可不用人为干预就可自适应地确定 BP 网络模型结构和权系数。事实上,在文献[7]中已指出,目前我们还没有从数学上证明寻找最佳 BP 网络模型结构的方法。因此,文献中所述的自适应是有限自适应,其自适应算法仅对特定的问题有效,而对复杂问题无效,其具体应用实例见文献[3]。

(5) 与自适应问题相似,关于容错性问题也应有正确认识问题。在许多应用文献中,夸大人工神经网络模型的容错性,将不具有容错性的神经网络模型吹嘘成具有容错能力。而在外文文献中对此认识较为客观,值得中国学者学习。不同的神经网络模型具有不同的容错能力,相同的神经网络模型当其结构不同时其容错能力也不相同。

(6) 算法与神经网络模型本身是不同的两个问题,算法是确定神经网络权系数的过程与实现,它本身也具有相对独立性,可单独存在,将算法等同于神经网络模型是不正确的。

(7) 在实际应用中,工程师特别关心计算精度问题,但计算精度总是相对的。业已证明,对一组样本,求其最优拟合曲线时,在最小二乘法意义下有无穷多个最优解。过份地追求拟合精度,可能导致过拟合现象,由于神经网络模型的“黑箱”性,使高精度的拟合结果可能不能正确反映问题的客观规律。

(8) 人工神经网络理论应用缺乏创新。有关论文中前言部分反复抄袭着人工神经网络具有的特点和优势,而在正文中却一点也看不出所说的人工神经网络具有这样或那样的优点,如某刊物上曾刊登过一篇人工神经网络的学术论文,其论述未见算例论证不说,文中不知是排版错误,还是作者笔误,所论述的某类人工神经网络模型根本就是错误的,事后也未见更正,而该类人工神经网络模型又是论文的重点。由此可见,我国人工神经网络理论在土木工程中的应用研究水平仍然不高。

2.5 今后研究的方法

通过对上述部分误区的分析,使我们不得不考虑人工神经网络理论在土木工程中的应用研究如何进一步开展?全面准确地论述这个问题,作者实感困难,也确知水平有限,但这也是必须要回答的问题,为此笔者谈一些拙见。

(1) 必须进一步开展人工神经网络理论的基础研究,即从数学上论证不同类人工神经网络模型的理论基础,在这方面的研究似国外学者比国内学者做得好。

(2) 避免抄袭现象的泛滥。如对径向基函数模型而言,在许多中文文献(主要指出版的书籍)中多少都有一些论述,但几乎大部分文献中均未讲清楚,权函数到底是怎样确定的,这个文献是这样写的,那个文献仍然是这样写的,不知谁抄谁的,如此根本就谈不上正确应用径向基函数模型,但文献[2]的论述是可以接受的。向有关使用过径向基函数模型的人员了解,他

们主要是使用 MATLAB 工具箱中的软件包来应用径向基函数模型的,若离开了这些软件包,径向基函数模型就无法应用,这不得不使人想到拥有自主知识产权的重要性。

(3) 深刻理解和掌握已有的不同类型的人工神经网络模型特性,深层次地理解其内涵和外延,避免乱用人工神经网络模型。

(4) 深刻理解所研究的对象,全面掌握研究对象的先验知识,分清问题的主次,才能正确选择合理的人工神经网络模型,通过不同的学习方式,揭示研究对象的内在联系。

(5) 既要勇于创新,又要善于创新。创新有其丰富的内涵,要从不同角度、不同层次、不同方向(或方式)进行创新,创新是发展的动力。

3 结 语

人工神经网络理论已成为一门独立的科学,它集神经科学、数学、仿生学、计算机等多种学科于一身,受到不同领域的科学家、学者和工程技术人员的高度重视,在不同的领域取得了令人瞩目的成就。但是,人工神经网络理论仍很年轻,有待于有志者去开拓。同时,我们必须清醒地认识到我国的人工神经网络理论研究水平与国际水平相比还有很大差距,在土木工程应用研究方面可能至少有 5~10 a 的差距,年青的学者仍任重而道远。

参考文献:

- [1] 庄镇全,王煦法,王东生.神经网络与神经计算机[M].北京:科学出版社,1992.
- [2] Simon Haykin. NEURAL NETWORKS A Comprehensive Foundation(2nd)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [3] 刘兴远,康景文,林文修.桩基工作特性分析的神经网络模型[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [4] 何玉彬,李新忠.神经网络控制技术及其应用[M].北京:科学出版社,2000.
- [5] 阎平凡,张长水.人工神经网络与模拟进化计算[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [6] 潘忠孝,陈玲然,译.神经网络及其在化学中的应用[M].北京:中国科学技术大学出版社,2000.
- [7] 懂 聪,等.多层前向神经网络研究进展及若干问题[J].力学进展,1995,25(2): 186-195.
- [8] Willian C C, et al. Common misconceptions about neural networks as approximators[J]. J Comp Civ Engrg, 1994, 8(3): 345-358.