

人工神经网络技术在电力系统中的应用

包立公¹, 张瑞祥²

(1.内蒙古乌兰察布电力勘测设计所,内蒙古集宁 012000;

2.西北电力设计院自动化室,陕西西安 710075)

摘要:电力系统是由发电、输电、变电、配电和用电等多个部分组成的复杂的非线性动态系统。应用传统方法分析电力系统常常存在诸多缺陷,而人工神经网络技术由于具有不可替代的优势,文中介绍了人工神经网络在电力系统故障诊断、智能控制、继电保护、优化运算以及负荷预测等方面的应用情况。

关键词:电力系统;人工神经网络;BP网络

中图分类号:TP18

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)05-0052-04

人工神经网络在各个领域得到了广泛的应用,尤其是在智能系统中的非线性建模及其控制器的设计、模式分类与模式识别、联想记忆和优化计算等方面更是得到人们的极大关注。1991年7月在美国召开了第一届神经网络在电力系统中应用的国际学术会议,使得神经网络在电力系统中的应用得到了世界范围的广泛关注。目前就电力系统而言,人工神经网络已经应用到发电、输电、配电和用电的各个方面。

1 人工神经网络原理和技术特点

人工神经网络(ANN)是二十世纪80年代中后期世界范围内迅速发展的一个前沿研究领域,是一门高度综合的交叉学科,它的研究和发展涉及神经生理科学、数理科学、信息科学和计算机科学等众多领域。人工神经网络是模拟人脑组织结构和人类认知过程的信息处理系统。它由人工模拟的大量简单的神经元以一定的方式连接而成,单个神经元实现输入到输出的非线性关系,它们之间的连接组合使得人工神经网络具有复杂的非线性特性。人工神经网络具有很强的自组织、自学习能力。它通过现场大量的标准样本学习与训练,自动调整各神经元之间的连接权和阈值,使获取的知识隐式分布在整个网络上,并实现人工神经网络的模式记忆。和其他信息处理方法相比,人工神经网络具有诸多优点:强大的知识获取能力和信息容错能力;学习能力强,可以实现知识的自组织,适应不同信息处理的要求;神经元之间的计算具有相对独立性,便于并行处理,执行速度快。正是由于人工神经网络有极强的非线性拟合能力和自学习能力,且具有联想记忆、鲁棒性强等性能,使人工神经网络对于电力系统这个存在着大量非线性的复杂大系统来说有很大的应用

收稿日期:2010-05-04;修回日期:2010-06-15

潜力,很多难以列出方程式或难以求解的复杂的非线性问题,应用人工神经网络方法则可迎刃而解。

2 人工神经网络在电力系统中的应用

2.1 故障诊断

目前神经网络用于电力系统的故障诊断,主要集中在对电网的故障处理。电网中的每一类故障都会产生一组警报信息,不同类别的故障具有不同的警报组合。因而可以将警报处理和故障诊断表示为模式识别问题,这样就适用于人工神经网络来进行处理。用人工神经网络进行故障诊断的基本原理是:将故障警报信息进行数字量化作为神经网络的输入量。神经网络的输出量代表故障诊断的结果。首先对神经网络进行训练学习,即将特定故障对应的警报模式作为样本,建立较全的样本库,然后用所有的样本对神经网络进行训练,这样就可以将样本库的知识以网络的形式存储在神经网络的连接权中,最后通过神经网络输入量计算就可以完成故障诊断。故障诊断中神经网络所采用的模型大多为反向传播算法(BP)模型,这主要是由于对BP模型的研究比较成熟,使用比较可靠。文献[1]较早提出了用BP进行警报处理和故障诊断方法。该方法将警报信息作为神经网络的输入量,故障作为神经网络的输出量。用于识别电网发生的故障。这种方法的缺点是不能用于大规模系统。

除电网故障诊断外,人工神经网络还被应用于电力系统设备的故障诊断,包括变压器、发电机、电缆、断路器、绝缘子等。

变压器的故障诊断是人工神经网络在电力系统应用研究中较早提出的一个课题。当变压器内部出现异常时,都会在绝缘油中产生异常气体,将反映变压器绝缘油的特征元素以及油温、油压、各种噪声和绕组直流电阻、绝缘电阻介损等信号汇集成一个

样本集,对人工神经网络进行学习训练,网络投入实际运行后,即能对各种可能出现的异常故障作出正确的诊断。文献[2]应用6个神经网络组成模块化结构的变压器故障诊断系统,该系统可正确判断变压器内部焊接不良、绕组击穿、铁芯接地等各种故障,正确率可达到90%以上。

文献[3]基于一种联想记忆神经网络,通过网络的联想能力快速准确地进行电机早期故障的双向诊断,有效地处理各种模式并存的故障诊断问题,使诊断系统具有良好的鲁棒性。

文献[4]利用人工神经网络判断高压电缆绝缘破坏前的电晕放电波形和一般噪声波形的区别,经过学习对故障波形判断的准确率在99%以上。

文献[5]提出了一种以振动信号小波包能谱熵为特征量的断路器故障神经网络诊断方法。利用小波包分解原理将高压断路器振动信号分解到不同频段中,计算各频段的能谱熵值,以此构造小波包能谱熵向量作为神经网络的输入向量,并利用遗传算法对网络的连接权值进行了优化,试验结果表明了该方法的有效性,改进后的神经网络具有新故障模式的识别功能。

文献[6]根据绝缘子在线检测的特点,提出了基于改进ART2神经网络的绝缘子故障在线诊断技术,解决了传统ART2神经网络聚类中心漂移问题,杜绝了绝缘子故障漏判的发生。仿真实验结果表明,应用改进的ART2神经网络可有效实现绝缘子故障在线检测,获得较好的诊断结果。

2.2 智能控制

励磁控制是控制发电机端电压和无功功率的重要组成部分,是重要的实时连续控制系统,对维持电力系统的稳定性起主要作用,完成该功能的部分又称为电力系统稳定器(PSS)。由于大容量机组的投入和快速励磁系统的应用,系统的动态稳定性问题愈来愈突出,应用4层BP网络对发电机运行方式和系统干扰进行精确在线识别,并以此为基础设计一种最优励磁调节器模型,这种调节器比固定点线性励磁方式具有更强的稳定性和较好的动态品质。采用改进型神经网络由2个子神经网络综合构成:一个是应用递推最小二乘算法的线性神经网络;一个是应用动态BP算法的动态递归网络。对基于相控整流直流传动系统的自适应控制实现策略的进行仿真,结果表明该自适应控制器性能好于传统的PID控制器。基于人工神经网络的自适应励磁控制和动态电阻制动的综合控制器,线路故障失去700 MW电源时,稳定控制切换负荷误差小于0.5 MW的比例达到81.5%,最大误差在2~3 MW之间的

仅为1%,显示了较好的控制特性。

2.3 继电保护

神经网络技术在继电保护领域中应用的优势和特点非常明显。它的并行处理能力能加快保护的计算速度和判别速度;它的鲁棒性和容错性可极大地提高数字保护抗干扰能力和容错能力,提高数字保护抗电流互感器(TA)饱和的能力以及适应电力系统故障暂态过程的能力,提高数字保护整体的安全性、可靠性和稳定性。到目前为止,人工神经网络已经被应用于线路保护、变压器保护、母线保护、发变组保护等多个继电保护领域。

在线路保护方面,文献[7]采用神经网络实现电流保护,该保护能识别故障情况,解决电流保护的灵敏度补偿和故障方向的识别问题。

应用神经网络理论的保护装置是神经网络与专家系统融为一体的神经网络专家系统。例如在双侧电源系统里,两侧系统电势夹角变化,此时发生经过渡电阻短路就是一个非线性问题,传统的距离保护很难作出正确判断,而用经过对训练样本进行学习的神经网络保护装置就可以正确判别。文献[8]利用了人工神经网络的优越性来实现自适应距离保护。设计的距离保护网络由2个独立子网络组成:振荡识别子网络ANN1、故障检测子网络ANN2。2个子网络输出的结果经过综合判断后,给出系统所处的状态,在故障发生时,按故障类型发出保护跳闸命令并给出保护启动、系统有无振荡等信号。

文献[9]利用人工神经网络模式识别技术,实现了超高压输电线路方向高频保护,建立了3层BP网络。该保护通过对被保护线路电压、电流特征值的学习,不仅能自适应地识别输电线路在各种运行方式和故障条件下的故障方向及故障相别,而且在整个时域上都具有准确的识别能力,克服了各种方向高频保护的缺陷,满足了作为超高压输电线路主保护的要求。

人工神经网络避免了常规差动保护整定方法的不灵活性和原理上的不足,有工程实用价值,文献[10]提出了基于BP网络的差动保护。仿真结果表明,神经网络用于差动保护是合理、可行的。

在变压器保护方面,文献[11]建立了基于径向基函数(RBF)神经网络的变压器保护。检验结果表明,所建立的神经网络对变压器所发生的故障状态的响应时间小于10 ms。并且该方法克服了常规保护及目前变压器保护中的缺点,能够对变压器处于励磁涌流状态进行正确判断,具有很好的工作性能,能够正确识别变压器所处的各种状态。

在母线保护方面,文献[12]提出的一种基于神

经网络模型的母线保护,将母线上各TA的不同特性全部放入到神经网络中,并将从各TA获得的同步采样电流值作为神经网络的输入,依据此模型可以区分不同情况下的母线内部故障和外部故障。

2.4 优化运算

电力系统优化问题通常具有大规模、非线性等特点,常规优化方法往往难以求解。人工神经网络在处理非线性、多变量、多约束的电力系统优化问题方面有其特有的优势。

文献[13]把Hopfield网络应用于梯级水电站实现实时优化调度,克服了梯级水电站经济调度约束条件复杂、计算量大、优化问题具有非线性特性等缺陷。

文献[14]提出了一种城市电网规划中多阶段变电站规划优化的新算法。该算法先用贪心法快速求解目标年新建变电站的座数和各变电站(包括已有变电站)的目标年容量,再利用Hopfield神经网络算法计算新建变电站的位置和各变电站(包括已有变电站)在各规划阶段的供电范围,最后确定各变电站在各阶段的真实容量及投建计划。

文献[15]提出利用两级人工神经网络进行系统无功/电压控制。第一级人工神经网络检测出系统中无功/电压越限的节点,第二级是给出校正对策。为了加速样本训练收敛速度,还提出一种加速B-P算法,使系统收敛速度大为提高。

文献[16]提出利用多层Hopfield神经网络求解机组组合优化问题。通过构造合适的能量函数使得单层Hopfield神经网络可以解决某一时刻的机组出力问题,与之相对应的多层神经网络可以解决任意时间段的机组出力问题。通过对已有文献的算例进行计算比对,所得结果和遗传算法基本一致,但Hopfield神经网络通过解微分方程组来确定最优解,计算时间相对较少。

文献[17]在传统混沌神经网络模型的基础上,提出了一种具有衰减混沌噪声的混沌模拟退火神经网络模型,该模型结合了Hopfield神经网络与模拟退火算法的优点,从而使该模型可以有效地解决高维、离散、非凸的非线性约束优化问题。对电力系统经济负荷分配问题的应用表明,该模型的算法是可行和有效的。

2.5 负荷预测

负荷预测是人工神经网络在电力系统应用研究的一个主要领域。由于负荷和影响负荷变量之间的关系难以用精确的数学模型加以描述,因此增加了模型的复杂性。而人工神经网络不依赖于输入变量和预测负荷之间的明确的表达式,输入变量和预

测负荷之间的关系是通过训练过程得到。此外,该技术还适于解决时间序列预测问题(尤其是平稳随机过程的预测)。因此,人工神经网络技术在电力系统负荷预测中的应用理论是可行的。

文献[18]提出的混合模型神经网络短期负荷预测方法同时具有人工神经网络捕获各种变化趋势、逼近非线性关系的优点以及传统电力系统负荷预测线性模型方法的快速收敛、实时跟踪的优点,取得了较好的预测效果。文献[19]根据电力系统短期负荷变化的特性,提出了BP模型在实际负荷预测应用中方法和步骤,对BP网络、样本空间、收敛性等作了有针对性的研究,结果表明:多层神经网络应用于电力系统短期负荷预测是可行和有效的,其预报结果比传统的负荷预测方法更准确、经济、效果更好。

文献[20]根据广东省电力市场竞价规则和竞价模式,针对电力负荷预测,利用布朗二次多项式指数平滑法和常规BP网络和递推合成神经网络的方法开发了满足负荷预测标准的预测模型,通过实例证明了预测模型是合理的、可用的。

3 结束语

当代科学技术发展的重要趋势就是各学科的相互渗透和交叉,电力系统中仍然存在着很多的非线性问题,用传统的方法,难以得到满意地解决,而人工神经网络理论作为一种人工智能的方法,则能够满意的解决此类问题。因此,随着神经网络技术的发展,更多且更复杂的电力系统非线性问题都可以得到解决。

参考文献:

- [1] CHAN E. Application of Neural Network Computing in Intelligent Alarm Processing [C]. IEEE Conference PICA'89, Seattle, 1989.
- [2] 杨启平,蓝之达.基于人工神经网络的变压器故障诊断[J].变压器,2000,37(3):33-36.
- [3] 何雨侯,薛模根.基于神经网络的电机状态监测与早期故障诊断[J].电工技术学报,1997,12(5):41-44.
- [4] 张津春,茶幅淳.采用人工神经网络技术对高压线缆绝缘破坏预测的研究[J].河北工业大学学报,1998,27(3):53-58.
- [5] 陈伟根,邓帮飞.小波包能谱熵与神经网络在断路器故障诊断中的应用[J].重庆大学学报,2008,31(7):744-748.
- [6] 张海龙,关根志.基于改进ART2神经网络的绝缘子故障在线诊断[J].湖南大学学报,2008,35(10):41-45.
- [7] 房鑫炎,钟聪,沈芳良.基于人工神经网络自适应电流保护[J].继电器,2000,28(5):16-19.
- [8] 都洪基,邓烽,苏炜宏.基于人工神经网络的自适应距离保护[J].继电器,2002,30(2):38-41.
- [9] 王钢,李遥,刘众仆,等.基于ANN的超高压输电线路

- 方高频保护[J]. 电力系统自动化, 1998, 22(5): 18-21.
- [10] 贾德香, 韩净. 神经网络差动保护技术[J]. 电工技术, 2003(3): 11-12.
- [11] 胡香玲, 冯浩, 华亮. 基于RBF神经网络的变压器保护[J]. 电气应用, 2005, 24(10): 59-62.
- [12] 罗建, 李亚军. 基于神经网络模型的母线保护[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(11): 41-44.
- [13] 陈祥光, 裴旭东. 人工智能神经网络技术及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [14] 高炜欣, 罗先觉. 基于Hopfield神经网络的多阶段配电站的规划优化[J]. 电工技术学报, 2005, 20(5): 58-64.
- [15] 岑文辉, 李国有, 孔慧. 应用神经网络进行无功/电压控制[J]. 中国电机工程学报, 1992, 12(3): 60-65.
- [16] 高炜欣, 穆向阳, 汤楠, 等. Hopfield神经网络在机组组合问题中的应用[J]. 计算机应用, 2009, 29(4): 1028-1031.
- [17] 毛亚林, 张国忠, 朱斌, 等. 基于混沌模拟退火神经网络模型的电力系统经济负荷分配[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(3): 65-70.
- [18] 赖晓平. 混合模型神经网络在短期负荷预测中的应用[J]. 控制理论与应用, 2000, 17(1): 69-72.
- [19] 胡晖, 杨华, 胡斌. 神经网络在电力系统短期负荷预测中的应用[J]. 湖南大学学报, 2004, 31(5): 51-53.
- [20] 林艳妮. 电力市场发电侧竞价上网研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.

作者简介:

包立公(1967-), 男, 江苏常州人, 工程师, 从事变电站电气设计工作;

张瑞祥(1979-), 男, 内蒙古乌兰察布人, 工程师, 从事发电厂电气设计工作。

Application of Artificial Neural Network in Electric Power System

BAO Li-gong ZHANG Rui-xiang

(1. Inner Mogolia Wulanchabu Electric Survey and Design Department, Jining 012000, China;

2. Northwest Electric Power Design Institute, Shanxi 710075, China)

Abstract: The electric power system is a complex non-linear dynamic system, which is composed with generation, transformation, transmission, distribution and load demands. There are some defects when traditional methods are utilized to analyze such a complex system. As a typical intelligent algorithm, the artificial neural network (ANN) technology has many advantages in solving non-linear problems, and it has been successfully applied in various areas of power system. The application of artificial neural networks in power system is introduced in this paper, including fault diagnosis, intelligent control, relay protection, optimization and load forecasting.

Key words: electric power system; artificial neural network; BP network

(上接第 51 页)

设备的端口进行以太网端口的模式匹配设置。杜绝实际端口模式处于全双工对应半双工的现象。当不能确定对端设备的端口类型, 可以先将端口设置在全双工模式下, 进行大数据包试验, 如果数据损耗大, 网管性能检测有告警, 则将端口设置为半双工。

必须说明的是: 目前, 网管性能检测不能够对全部的以太网板卡进行检测, 部分传输厂家的网管只能对大容量以太网板监控。因此, 以太网的配置在不能确定对端设备端口类型时, 通过数据包的实验是非常必须的。

参考文献:

- [1] 王建全, 万春, 张杰, 等. 城域 MSTP 技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] COMER D E. 用 TCP/IP 进行网际互连[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [3] Ethernet LAN Protocols as Defined in IEEE 802.3 suite [S], 2000.

作者简介:

符士侃(1982-), 男, 江苏苏州人, 助理工程师, 从事电力系统设备维护及系统管理工作。

Application of Ethernet in MSTP System

FU Shi-kan

(Electric Power Control Center of Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210008, China)

Abstract: With the popularization of multi-service transfer platform (MSTP) concept, the traditional Synchronous Digital Hierarchy (SDH) equipments have been gradually replaced by MSTP products. The application of Ethernet transparent technology in MSTP system expands constantly in the power network operation level. The problems and characteristics of some applications of Ethernet in MSTP system are analyzed, and the suggestions are proposed.

Key words: MSTP; Ethernet; port