

13-66
人工神经网络在电力系统中的研究与应用现状76, 16(4)
12-15

丁晓群 蔡志慧

TM 76

(河海大学电气工程学院 南京 210098)

A 摘要 本文结合作者近几年在美国弗吉尼亚理工大学进修期间所从事的研究方向及参加有关神经网络研究与应用的国际学术会议的信息资料的分析,对人工智能领域的专家系统、人工神经网络及神经网络专家系统方法的基本特征作了简述;对近几年来国际上人工神经网络方法应用于电力系统的工作及代表性研究动态进行了综述。神经网络系统理论已开始渗透到电力系统领域中,并逐渐走向应用阶段。

关键词 电力系统 人工神经网络 专家系统 故障诊断

人工神经网络(artificial neural network, 简称 ANN)是现代科学研究的前沿,神经网络理论正处在重大突破的前夜,已成为科学研究的热点,吸引着世界范围内,尤其是美、日等国家的大量科学家们转向对神经网络理论进行探索、研究和开发。

事实上,人们对于人工神经网络的研究早在40年代就开始了,只是几经曲折,近年来国际上又掀起了一个新的研究热潮。目前,关于神经网络的研究已从理论转为应用,并渗透到各个领域,在智能控制、模式识别、计算机视觉、自适应滤波和信号处理、非线性优化、自动目标识别、连续语音识别、知识处理、传感技术与机器人、生物医学工程等方面都取得了令人鼓舞的成就。

随着电力工业的发展,现代的电力系统规模正变得越来越大,系统结构和运行方式也越来越复杂多变,这使得电力系统中问题的解决也越来越困难。如何提高电力系统的自动化水平已经成为刻不容缓的任务。于是神经网络理论被引入到电力系统中,成为解决电力系统问题的一种行之有效的方法,并在某些领域中取得了接近实用的成果,显示了其广泛的应用前景。

1 ANN在电力系统中的应用

1.1 ANN简介

人工神经网络是由大量简单处理单元(神经元、处理元件、电子元件、光电元件等)广泛连接而成的复杂网络系统,用以模拟人脑的行为。它是在现代神经科学研究成果的基础上提出的,是一种全新的模拟人类智能的方法和技术。与传统的分析方法和专家系统不同,它既可以处理已知算法的问题,也可以通过自组织、自学习处理未知算法的问题。因此,它引起了众多学者的兴趣,并被广泛地应用到工程学科的许多领域。

到目前为止,在世界范围内已有50多种神经计算模型。其中有代表性的有十几种,它们大多具有如下的基本特征:大规模并行处理、分布式储存、鲁棒性好、具有学习联想能力等。网络的分类形式多种多样,如按结构分有前向网络和反馈网络;按学习方式分有有导师学习和无导师学习等。在此不详细介绍。

1.2 ANN在电力系统中应用的简单回顾

关于神经网络在电力系统中的应用,早在1975年就有有关的研究报导^[1],但当时并

未受到重视,此后,这方面的研究停滞了很长一段时间,直到1986年由于OH的工作^[1],这种沉寂的局面才被打破,随后几年中在几次重大国际会议上均有这方面的论文发表。1991年7月在美国Seattle召开了首届ANN在电力系统中应用的国际会议,这标志着ANN作为一种解决某些传统方法所无法解决的有力工具正越来越受到电力工作者的重视,以致于对它的研究也越来越广泛和深入。

1.2 ANN在电力系统中的应用情况

和在其它工程领域中的应用相类似,神经网络在电力系统中主要有以下几种用途:①模式识别(故障诊断)^[2];②数学规则的替代方法;③输入数据译码。相应地我们也将网络模型分成三类:多层感知器(主要是BP网络);Hopfield网络以及其它网络(如Kohonen网络等)。以下我们将分别简要介绍它们的特点及在电力系统中的应用。

1.3.1 多层感知器(multi-layer perceptrons)

感知器的概念是由美国学者Rosenblatt于1957年首先提出的。最初的感知器是一个具有单层计算单元的简单网络,并由线性阈值组成。它只有一个输出节点,相当于单个神经元。它虽能够对连续或二值输入模式进行分类,但仍带有很大局限性,有时连一些最简单的逻辑运算都无法实现。在此基础上,1986年Rumelhart等人将单层感知器发展成具有输入层、隐层和输出层的多层网络,并用 σ 表达输入和输出之间非线性的无法用函数关系来描述的映射关系。多层感知器对于解决一些未知算法的问题是卓有成效的,例如模式识别、鉴定、估计、预报等。目前关于多层感知器(主要是BP网络)在电力系统中的应用十分广泛,有以下几个方面

a. 规划:①电力系统年、月、日的负荷预报;②电力系统谐波预测。

b. 控制:①电机或发电厂控制;②电容器配置;③最优电力潮流分布;④机组起停;⑤机组最优组合。

c. 诊断:①故障探测和诊断;②警报处理;③数据测试。

d. 监控:①动态可靠性估计;②静态可靠性估计。

e. 分析:①意外事故分析;②电机模拟;③谐波识别;④拓扑测定;⑤母线和输电线路保护。

1.3.2 Hopfield网络

1982年,美国科学家Hopfield提出了HNN模型,有力地推动了人工神经网络的研究。他首次引入了“计算能量函数”的概念,给出了网络稳定性判据,而且它的电子电路实现为神经计算机的研究奠定了基础,同时开拓了ANN用于联想记忆和优化计算的新途径^[4],因此他的工作是一突破性的成就。Hopfield网络有离散模型和连续模型之分,都是单层对称连接的简单ANN。网络由大量的神经元相互连接而成,因而这种类型的网络更注重整体的能力而非单个神经元的功能。借助于Hopfield网络我们可以将常规的组合优化问题转化为ANN问题,而且由于它们的并行结构,使得在大规模系统中神经元的计算通过神经连线来完成是完全可行的。目前关于Hopfield网络在电力系统中的应用研究主要有以下几个方面。

a. 规划:①机组最优组合;②发电厂扩建。

b. 控制:①经济负荷调度;②发电机组起停;③最优电力潮流(optimal power flow)^[5];④状态估计。

c. 分析:①意外事故分析;②拓扑可视性分析;③负荷潮流计算(load flow calculation)^[6]。

1.3.3 其它网络

一些神经网络具有自适应功能,能够抽象出输入模式的特征,因而在输入数据译码方面有特殊的作用。这种功能也被应用于电力系统中,主要体现于以下几个方面

a. Kohonen网络:①故障探测和诊断;②静态可靠性估计。

b. 联想记忆(associative memory),如环

数据处理。

c. 自适应共振理论 (adaptive resonance theory), 如可靠性估计。

d. 遗传算法 (genetic algorithms)^[5]: ① 拓扑可观性分析; ② 电容器配置; ③ 电压最优化; ④ 机组最优组合; ⑤ 调速器协调。

e. 模拟演变 (simulated evolution)^[5]: ① 电力系统分解; ② 经济负荷调度。

图 1 给出了一个关于 ANN 在电力系统中的应用概况图。由图中也可以看出, 目前多层感知器 (BP 网络) 的研究应用仍是工作主流。

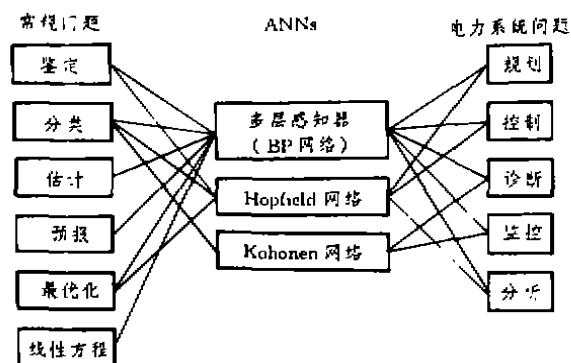


图 1 ANN 的应用概况图

近些年来, 有关 ANN 在电力系统中应用的研究工作已全面展开, 这方面的论著也发表不少。图 2 和图 3 就是对 1989~1993 年发表的有关论著的统计, 参考了 IEEE 相关学报和会议录, 以及其它有关的重要、大型的会议记录和专题论文集 (如 1990 年 4 月美国

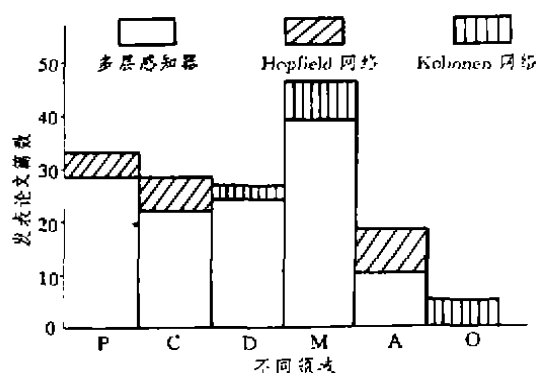


图 2 关于 ANN 在不同领域的应用发表的文章数
P—规划; C—控制; D—诊断; M—监控;
A—分析; O—其它

Clemson 关于 ANN 在电力系统工程方面的应用专题讨论会议录, 1993 年 4 月在日本召开的关于神经网络在电力系统中的应用的第二届国际会议论文集, 1993 年 10 月在美国 Washington D.C. 召开的北美电力系统学术会议论文集等)。

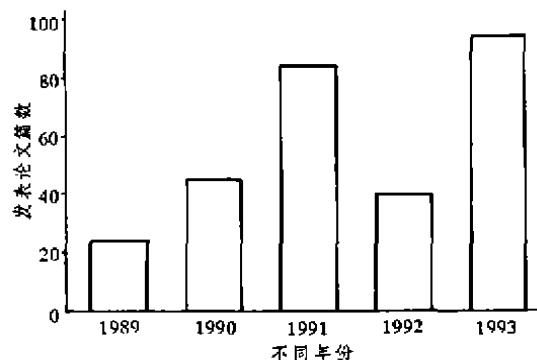


图 3 1989~1993 年关于 ANN 应用发表的文章数目

1.4 电力系统故障诊断 (模式识别) 的人工神经网络方法

同其它工业领域相似, ANN 应用于电力系统中一个较为成功的例子便是电力系统故障诊断^[6]。

电力系统运行人员通过分析一组复合警报来诊断系统故障的过程可看作是模式识别的过程, 但目前大多数常规技术都无法对含有噪声的警报模式精确分类。而 ANN 一个很大的优点便是具有正确识别噪声模式的能力, 因此人们便将 ANN 应用于故障诊断中, 取得了很好的效果。其基本思路是: ① 一个具体的系统故障将导致一组对应的警报信号; ② 分析警报信号中的“噪声”部分; ③ 即使“噪声”带来诊断结论的不正确, 但向系统运行人员提供一些可能的结论还是有用的。

基于上述思路, 人们提出了具体的处理过程: ① 列出所有可能的系统故障; ② 对每一种故障, 确定在不同的系统状态下应产生的警报, 由此构成 ANN 的训练集; ③ 用训练集训练 ANN; ④ 用一组试验警报信号检验 ANN 是否能正确判断对应的系统故障; ⑤ 引入错误或者丢失的警报信号, 检验 ANN 在遇

到含有“噪声”输入时的性能。

最初人们提出用 BP 网络进行警报处理和故障诊断^[7],其方法较为简单,可以应用在规模不大的问题中,但对于有相同警报模式的多种故障则难以判别;文献[8]提出了采用分层的 ANN 进行电力系统故障诊断,共采用三组 BP 网络,分别负责大系统下子系统的不同段的诊断问题。这种方法原理上可应用于大型电力系统中,但系统运行方式变化时 ANN 的维护相当困难,仍需要改进;有人提出用分层分布式的 ANN 结构解决这一问题,用联合梯度法训练 BP 网络,但在计算过程中必须借助经验指导^①;近年来国内有人提出采用三层前馈网络,中间层引入 Kohonen 平面,并采用了前馈算法,效果较好^②。

由此可见,将 ANN 用于电力系统故障诊断是十分有潜力的一种方法,特别是在故障类型和故障信号之间的逻辑关系难以描述的场所。为此国内外的专家学者们已经做了大量的工作,但目前仍存在着不少的问题,等待人们继续去探索、研究和解决。

2 神经网络专家系统

2.1 专家系统

什么是专家系统(expert system—ES),目前还没有确切的、公认的定义。下面的一段话可以较为贴切地描述专家系统的实质性内容^[9]:专家系统以一种计算机可实现的方式收集人类专家在某个特定的专门领域的知识,它利用这些知识提供与专家水平相当的决策支持,并能够证明其推理是正确的。它把推理机制和领域专门知识分开,用一种或多种知识结构,如产生式规则、框架、语义网络、谓词演算和对象等来表示这些知识。

专家系统技术在工业、农业、医学等领域

的应用都已经有了较长的历史,发展较为完善,但在电力系统中的应用还只有十多年的时间。由于专家系统具有善于处理启发式或经验知识,能够缓解运行人员的工作强度,易于修改和扩充,便于积累知识,培养新手等一系列优点,因此它一被引入电力系统中便引起了很多学者的重视,并得到了电力部门运行人员的积极响应与配合,所以有关这方面的研究工作发展迅速,并取得了令人瞩目的成绩。对此很多文献都作过报导,在这不再详细介绍。

2.2 神经网络专家系统(ANNES)

虽然专家系统的研制和应用技术已经取得了很大进展,并日趋成熟。但由于 Von Neumann 计算机的固有缺陷,同用于其它领域一样,ES 在电力系统中的应用也遇到了诸多问题,如领域知识难以获取,知识库难以维护,不确定性问题处理困难,开发周期长及通用性较差等等。而与其相比,ANN 的优点在于,允许矛盾的知识存在,能自动总结并隐含一些规则知识、通用性好、易于实现等,但它也具有不适于处理启发式知识等缺点。关于两者的比较见附表。

附表 神经网络和专家系统的比较

比较项目	ES	ANN
过程	推论	学习
输入数据	知识	模式
算法	启发式	统计式
计算方法	符号或逻辑量	数字量
数据处理	串行	并行
输出结果	推论式	归纳式

信息与认知科学的原理表明,专家系统与人工神经网络表现了两种不同的思维方式,它们具有共同的基础,这就是对信息的处理,只是处理的方法和机制各有千秋,它们相辅相成,正好构成了智能理论的完备框架。用神经网络建立专家系统,不需要组织大量

① 周国忠、孙雅明,基于分层分布式人工神经网络的大规模电力系统故障诊断,见:全国高等学校电力系统及其自动化专业第七届学术年会论文集,山东工业大学,1991, D112~D116。

② 岑文辉等,基于人工神经网络的电力系统故障诊断,见:全国高等学校电力系统及其自动化专业第八届学术年会论文集,东南大学,1992, D109~D114。

的产生式规则,也不需进行树搜索,机器可以自组织、自学习。这对用传统人工智能方法建立专家系统最感困难的知识获取与推理等问题提供了全新的途径。ANNES方法较好地模拟了人脑的形象思维,它是一种非逻辑、非语言、非静态、非局域、非线性的信息处理方法。它与传统人工智能的关系不是简单取代而是互为补充的辩证统一关系,它的发展和应用对人工智能、计算机科学与信息科学有可能带来历史性的突破^[10]。

在电力系统中,近年来也不断的有人提出,将专家系统与神经网络融为一体来处理各类问题^[9]。这是一个开拓性的研究课题,其结果可为电力系统的规划、运行和控制提供新的方法论。但目前对于两者结合构成一混合型系统的可能性和方法还处于研究探索阶段,有关的报导也不多。

3 结束语

目前,ANN在电力系统中应用的研究还只是初步的。从有关的报导中可以看出,现有的研究例子都较为简单,就BP网络而言,如用于实际电力系统中(无论哪一方面)都还有很多工作要进行,因为其仍有学习算法太慢,训练时间太长,数据库建立的非动态性等缺点,这都有待于我们进一步研究解决。而将ANN和ES相结合被认为是人工智能的发展方向,在电力系统中也是如此。但ANNES也有它固有的弱点,如它目前只适用于规模较小的问题,系统的性能很大程度上受所选择的训练数据集的限制等,特别地,它最严重的问题之一就是没有能力来解释自己的推理过程和推理根据。所有这些都促使人们进一步考虑如何改进和完善人工神经网络的工作机制,使之能具有更高的智能水平。

参考文献

- 1 Dillon T S. Artificial neural network application to power systems and relationship to symbolic methods. A Report in 10th PSCC, August 1990
- 2 CH S Y. A pattern recognition and associative

memory to power system security assessment. IEEE SMC - 16, 1986(1):32~35

- 3 Ding X, Liu Y. Predicting power transformer resonance frequencies using ANN. In: Proceedings of North American Power Symposium. IEEE Computer Society Press, 1993. 300~307
- 4 焦李成. 神经网络系统理论. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991
- 5 Mori H. Survey of applications of artificial neural networks to power systems. IEEE PES Task Force on Applications of ANNs to Power Systems, 1994
- 6 Ding X, Yao E, Liu Y. ANN based transformer fault diagnosis using gas-in-oil analysis. In: Proceedings of 57th American Power Conference. IEEE Power Engineering Press, 1995. 18~20
- 7 Chan E H P. Application of neural-network computing in intelligent alarm processing. In: Proceedings of IEEE Conference PICA 1989, 1989. 246~251
- 8 Kim K H, Park J K. Application of hierarchical neural network to fault diagnosis of power system. In: Proceedings of Third Symposium on Expert Systems Application to Power Systems. IEEE Power Engineering Press, 1991. 323~327
- 9 何定. 专家系统, 人工神经网络及其结合在电力工程诊断领域的应用:[学位论文]. 南京: 东南大学, 1993
- 10 钟义信, 潘新安, 杨义先. 智能理论与技术——人工智能与神经网络. 北京: 人民邮电出版社, 1992

(收稿日期: 1995-12-04)

·简讯·

'97 水力发电国际会议征文消息

第3届国际水力发电会议拟于1997年6月30日至7月2日在挪威特隆赫姆举行。会议议题有:①水力发电与环境;②水/火电系统中水电比例、运行、规划及协调;③大坝安全与风险分析。会议要求提交约250字(英文)论文摘要,收稿截止日期为1996年10月1日,11月间将通知作者征稿是否被录用。联系地址: International Centre of Hydropower S.P. Andersens Vei 5, N-7034 Trondheim, Norway, Telephone: + 4773590780, Telefax: + 4773590781

(熊莉芸 供稿)