

# 电力系统中人工智能的应用与研究

吴晓峰 张 浩 西安交通大学工业自动化教研室(710049)

## Abstract

Artificial Intelligence (AI) techniques are widely used in nonlinear problems, they have incontestable advantage over the traditional method. AI techniques play an important role in power system management, control and layout. This article describes some problems used the techniques and the future application of them, and gives specified explanation on relay protection.

**Keywords:** Artificial Intelligence, power system, relay protection, artificial neural network

## 摘 要

人工智能技术被广泛地应用于求解非线性问题,较之于传统方法有着不可替代的优势。人工智能技术在电力系统的管理、控制及规划等各个领域发挥着重要的作用。本文描述了电力系统中一些已经应用了该技术来解决的问题与此项技术的今后应用,并针对继电保护给出了具体说明。

**关键词:** 人工智能, 电力系统, 继电保护, 人工神经网络

## 1 人工智能在电力系统中的应用方向

为了研究电力系统中适合通过人工智能工具来解决问题的特性,特将问题按时帧分为实时控制、管理规划两部分。

### 1.1 实时控制

实时控制包含离散和连续控制系统,在个体操作时,实时控制相对简单,但是它们之间的相互作用影响使得电力系统的控制异常复杂。

1)保护:继电保护是一种普遍的离散控制,分布于系统的各个环节中。对系统状态(正常或事故)进行判断,即状态评估,是实现保护动作的关键。在继电保护设计中存在着大量的模糊知识与方法。

2)切负荷:另一种离散控制。当负荷超出系统供应容量,就必须降低负荷以避免大范围的供电中断。这时,需通过对负荷需求和系统行为的分析和启发式知识来控制继电器及时动作。如果将故障后系统的暂态稳定问题用故障后系统微分方程的解来描述,则故障与暂态稳定之间存在着某种数学映射。用人工神经网络(ANN)进行电力系统的切负荷控制有着良好的适应性和实时性。对输入特征量的选取和获得足以描述函数映射的样本,是用神经网络进行切负荷控制的关键问题。

3)励磁控制: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。将模糊集理论用于励磁控制系统,较传统基于线性系统理论的PSS有更好的控制效果。

### 1.2 管理规划

电力系统的管理和规划能源管理系统(EMS)在现

代电力系统中的作用越来越突出。

全系统的数据通过监督控制与数据获取(SCADA)传给EMS,控制信号由EMS传给各元件,整个过程要做到同步进行,这要求EMS具有对大量信息的实时处理能力,并且能在正常和事故情况下及时、正确地做出控制决策。监测与诊断是EMS的重要功能。AI在状态监测与故障诊断领域发挥着重要作用,国内外已开发了多种基于专家系统和神经网络的诊断策略。

1)自动发电控制(AGC):AGC是互联电力系统运行中的集中化实时计算机控制功能,保持系统出力和系统负荷相匹配。通过控制互联系统之间的能源交换,实现机组(电厂)间的负荷经济分配。由于工业负荷的高度变化性,采用常规的控制方法存在较大的局限,如采用Kohonen自组织神经网络进行可控信号的模式识别,只对长期扰动响应,有效地提高了AGC控制质量。

2)安全评价:安全评价领域普遍采用的方法是仿真,即模拟预想事故下系统的静态和暂态响应。预想事故的筛选是个难点,往往需依赖运行人员的经验。AI作为预想事故筛选工具具有广阔的前景,如基于规则的专家系统和Kohonen自组织神经网络应用于预想事故的筛选,既可有效结合运行人员的经验,又具有筛选速度快等特点。

3)恢复:故障后的系统正确的恢复动作,关键在于恢复次序的选择,应用启发式搜索则可以有效地减少搜索空间。智能化的恢复技术是电力系统中的重要研究方向之一。

4)负荷预测:在传统统计分析方法之外,逐渐兴起了人工智能的预测技术,主要是专家系统和神经网络

络。由于神经网络适合解决时间序列预报(尤其是平稳过渡过程预报)问题,一经引入电力系统,负荷预测便成为其应用的一个主要领域。

### 2 人工智能在电力系统中的应用方法

应用于电力系统的AI技术可以传统上可以分为专家系统、人工神经网络、模糊集理论和启发式搜索四类。图1表示这四类方法在实际应用中的数量比较。

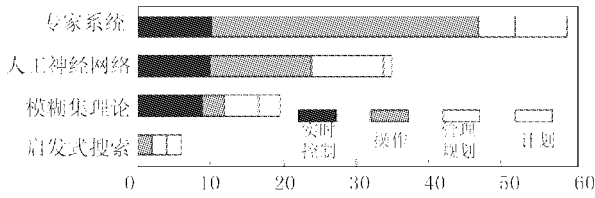


图1 智能系统应用数量

#### 2.1 专家系统(Expert System, ES)

一个典型的专家系统由四个部分组成:知识库、推理机、知识获取机制和人机界面。专家系统已成为在电力系统中应用最为成熟的人工智能技术。国内外已发展了多种专家系统,应用于电力系统的不同领域:监测与诊断、电网调度、预想事故筛选、系统恢复。尤其是监测与故障诊断已成为ES在电力系统最重要的应用领域。根据存储知识的方式,可将专家系统分为不同形式,即基于浅知识(经验知识)、规则、决策树、模型等专家系统,以及面向对象的专家系统。基于模型的知识表示方式适合于实时处理,与其他方法如基于规则(假设)或启发的推理方式更快速、简单和易于维护。知识获取的瓶颈问题,是建造和维护专家系统的主要难点。有一种新的知识自动获取方式,即机器学习(Machine Learning),将其应用于电力系统开关序列专家系统。在知识库建造阶段,从运行人员的以往经验抽取知识,而不必直接向运行人员学习,每次人类专家与系统交互时,知识库可以自动更新和扩展。图2表示专家系统的应用数量。

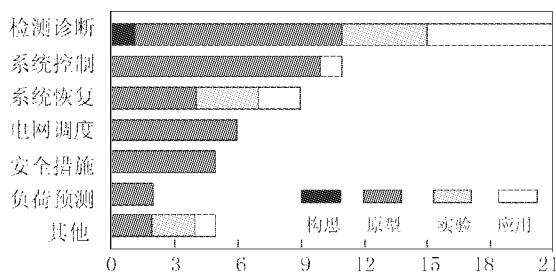


图2 专家系统应用数量统计

#### 2.2 人工神经网络(ANN)

人工神经网络是模拟的生物激励系统,将一系列输入通过神经网络产生输出。这里输出、输入都是标准化的量,输出是输入的非线性函数,其值可由连接各神经元的权重改变,以获得期望的输出值,即所谓的训练过程。根据不同问题,多种结构和训练算法的神经网络在电力系统中得到了应用,如BP网络、Kohonen自组

织网络等。由于神经网络的快速并行处理能力和良好的分类能力,被广泛地应用于电力系统的实时控制、监测与诊断、短期和长期负荷预测、状态评估等诸多领域,而基于神经网络的负荷预测技术已成为人工智能在电力系统最为成功的应用之一。BP网络结构及其算法简单,易于实现,是负荷预测中应用较为成熟的方法。人们提出了多种BP网络的改进算法,如冲量系数的自适应调整和误差函数的改进,加速收敛;对初始随机权值在量级上进行限定,克服了局部最小问题。图3表示人工神经网络的应用数量。

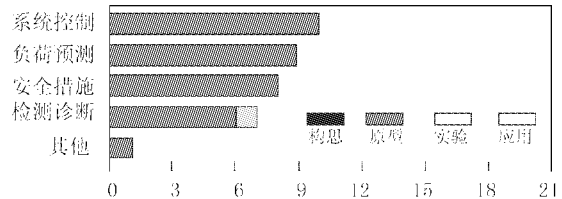


图3 人工神经网络应用数量统计

#### 2.3 模糊集理论(Fuzzy Sets Theory)

人的认知世界包含大量的不确定性知识,这就需要对所获信息进行一定的模糊化处理,以减少问题的复杂度。模糊逻辑可认为是多值逻辑的扩展,能够完成传统数学方法难以做到的近似推理。近年来,模糊集理论在电力系统中的应用取得了飞速进展,包括潮流计算、系统规划、模糊控制等领域。对于负荷变化和电力生产的不确定性,用一模糊值表示某不确定负荷在实际集合中的隶属函数,建立电力系统最优潮流的模糊模型,即模糊最优潮流。

#### 2.4 启发式搜索(Heuristic Search)

遗传算法(Genetic Algorithms,GA)和模拟退火(Simulated Annealing,SA)算法是近年来逐渐兴起的两种启发式搜索,通过随机产生新的解并保留其中较好的结果,并避免陷入局部最小,以求得全局最优解或近似最优解。GA是由数字串的集合表示优化问题的解,通过遗传算子,即选择、杂交和变异的操作对数字串寻优。SA在已知解的邻近区域产生新的解,并逐渐缩小邻近区域的大小,直到逼近全局的最优解。两种方法都可以用来求解任意目标函数和约束的最优化问题,在能源工程、经济、电力等领域都取得了令人满意的结果。遗传算法是基于自然选择和遗传机制的搜索算法,对优化设计的要求较少,对目标函数既不要求可微,又不要求连续,仅要求问题是可计算的,且其搜索始终遍及整个解空间,可有效避免常规数学方法的组合“爆炸”问题和局部最小解。具有很强的实用价值。目前,应用启发式搜索仍有很多有待解决的问题,如搜寻终止标准的选择:终止过快易偏离最优解,不及时停止则会导致过度计算而并不能提高解的质量。GA中遗传因子和SA中冷却速率的选择是影响算法性能的关键因素,必须进行适当的调整,否则可能得到局部最优解。

### 3 人工智能在电力系统中的发展趋势

#### 3.1 混合智能

目前,人工智能中的四种主要工具,即专家系统、人工神经网络、模糊集理论和启发式搜索,各有优点和局限,缺少一种普遍有效的方法应用于电力系统的各个领域。混合智能,即综合多种智能技术,成为 AI 的重要发展方向之一。

#### 3.2 分布式人工智能(Distributed AI)

DAI 技术是 20 世纪 80 年代发展起来的人工智能研究的一个分支,是伴随着并行分布式计算的发展而产生的,包括分布式问题求解(DPS)、并行人工智能(PAI)、多代理(Multi-agent)等内容。DAI 在电力系统中的应用目前主要集中于运用多代理技术。对神经网络本身结构和算法的改进也是 AI 在发展中的重要任务。近年来,椭圆单元神经网络的提出为故障诊断领域开拓了新的方向。与经典 BP 网络相比,椭圆单元网络具有泛化有界、拒绝性能好等优点,故障分类精度高,尤其在多故障同时性诊断中,较 BP 网络具有更好的模式识别能力。

AI 已在电力系统中获得了健康的发展,在较为成熟的技术(如专家系统)实用化的同时,进行多种智能技术的研究和探索。随着我国电力建设和电力市场竞争机制的引入,不确定性因素和运行复杂性的增加,AI 在电力系统中的应用前景将更加广阔。

#### 4 人工智能在继电保护中的具体应用

综合利用模糊理论及人工神经网络各自的特点形成的模糊神经网络已成为研究提高电力系统继电保护可靠性、快速性、灵敏性及选择性的一个重要发展方向。由于模糊神经网络中已经融入了模糊控制系统的所有信息,包括影响模糊控制器控制性能的所有参数,因此,可通过对其权值和阈值的调整来实现对模糊控制系统参数的综合优化调整,提高控制器的控制精度,保证系统的可靠运行。

智能技术在继保领域应用的研究人员目前大多从应用的观点出发,在某些方面虽完成了不少出色的工作,但也存在一些问题,如自适应优化算法方面如何利用 ANN 来实现比常规的优化算法获得更快的运算速度和更好的性能,及利用 ANN 去实现一些以往难以实现的新算法;再如保护定值及动作特性的自适应调整方面如何利用 ANN 的自学习和自适应能力,根据系统不同的运行工况自适应调整各种运行参数下的保护定值和保护的動作特性等问题,都需要研究人员对神经网络理论作更深入的理解,以从不同的角度去研究、探讨,搞清其与相关领域如模糊集理论、小波分析理论等的关系,以有机地将各种理论完美地结合起来,扬各种理论之长。同时,算法的研究、特征样本变量的选取的研究对于加快运算速度、提高判断的可靠性;对于保证网络的分类能力、网络的推广能力及网络的容错能

力等都具有十分重大的意义。

另一个需要重点突破的方向是自动重合闸技术及发电机保护方面的研究。采用 ANN 技术对暂时性和永久性故障进行判别并结合系统运行参数对断路器是否重合、何时重合等进行自适应优化控制;对于发电机组的定子匝间保护、失磁保护及定子绕组一点接地保护等常规保护做得难以令人满意的各種故障保护,应用模糊集理论及 ANN 算法进行分析判断以确定最佳的保护动作,都是今后研究的重点。目前在这方面的研究报道相当罕见,相信随着人工智能在电力系统中应用研究的日渐深入,陆续会有这方面的研究成果面世。最后,ANN 在电力系统继电保护中应用的可靠性问题是妨碍人工智能在继电保护领域获得广泛应用的障碍。众所周知,继电保护对保护装置的基本要求就是可靠性,随着电力系统容量的不断增大,对装置的可靠性的要求愈来愈高,而 ANN 基于对过往经验学习基础上的自学习及自适应原理,使电力系统从业人员不敢将其投入到实际系统中运营,因为事物毕竟是在不断变化的,现有经验不可能涵盖一切可能发生的故障,因此,解决 ANN 在实际应用中的可靠性问题是人工智能能否在继电保护领域获得应用的关键之所在;而自学习及自适应是人工智能的精华之所在,舍弃了这些,人工智能将失去其作用。

#### 5 结束语

在我国,人工智能乃至模糊神经网络在电力系统及继电保护中的应用研究才刚刚开始,虽然因种种原因目前尚未在电力系统继电保护中实际应用,但由于它既发挥了神经网络的自学习功能,又加强了模糊系统解决不确定问题的能力,定将在未来的电力系统继电保护中发挥重大作用。反常条件将是未来 AI 技术在电力系统中应用的主要推动力,以下为三个主要的表现:首先,输入数据不确定性的增加。其次,管理的复杂性大幅度的增长。最后,电力系统中管理调度受到时间与市场竞争的影响加大。这些情况为人工智能解决未来电力系统的各种问题提供了广阔前景。

#### 参考文献

- 1 Iraj Dabbaghchi, Richard D.Christie,Gary W.Rosenwald,etc.AI Application Areas in Power Systems.Intelligent System & Their Applications,1997,58~66
- 2 聂一雄,尹项根.人工智能与模糊控制在电力系统继电保护应用的研究现状及前景.电力系统及其自动化学报,2000,10(2):37~41
- 3 段玉倩,贺家李.基于人工神经网络的距离保护.中国电机工程学报,1999,18(3):190~194
- 4 徐文,王大忠.结合遗传算法的人工神经网络在电力变压器故障诊断中的应用.中国电机工程学报,1997,20(3)45~49

[收稿日期:2002.8.6]