

计算智能在水利水电工程中的应用研究进展

许世刚¹, 索丽生², 陈守伦²

(1. 淮阴师范学院经济与法律系, 江苏 淮安 223001; 2. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:在简要介绍计算智能基本概念及其特点的基础上, 分类综述遗传算法应用于水库及水电站(厂)优化运行、水污染控制系统和水文模型参数估计, 应用神经网络进行水文预测与分析评价、模拟优化和水电补偿调节, 应用模糊理论解决优选、评价、预报和水质管理等问题及其杂合系统在水利水电工程中的应用研究的新进展, 对计算智能在水利水电系统中的应用研究现状和存在的问题进行了评述与展望。

关键词:计算智能; 水利水电工程; 遗传算法; 神经网络; 模糊理论; 综述

中图分类号:F224.33; TV1

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2002)01-0062-04

1 计算智能的基本概念及特点

一般把智能分为3个层次:最高层的是生物智能(biological intelligence, BI), 其次是人工智能(artificial intelligence, AI); 处于低层次的是计算智能(computational intelligence, CI)。1994年, 在美国佛罗里达奥兰多市举行的首届计算智能大会首次将神经网络、模糊系统与遗传算法3个不同的领域结合起来^[1]。计算智能包括模糊技术、神经网络、进化计算、进化计算又有4个分支:遗传算法(genetic algorithm, GA)、进化策略(evolutionary strategy, ES)、进化规划(evolutionary programming, EP)和遗传编程(genetic programming, GP)。进化计算强调自然进化的不同方面, 比较而言, 遗传算法的理论体系和算法结构比较完善, 并被人们广泛认同。这几项技术各自均有了数十年的历史, 但当时这些方法并未受到足够的重视。一是当时这些方法还不很成熟; 二是受当时计算机软硬件的限制。随着计算机技术的发展和普及, 进化计算在最近10年得到了突飞猛进的发展, 引起了诸多领域专家和学者的关注, 成为一个跨学科的热点^[2]。

在计算智能中, 计算的概念是传统计算概念的拓展, 计算对象不仅局限于数和字符, 运算符也不再局限于加减乘除等运算, 赋予了新的含义。比较而言, 模糊系统善于描述和利用经验知识; 神经网络善于直接从数据中进行学习; 而进化计算善于求解复杂的全局最优问题, 具有极强的稳健性和整体优化性。模糊系统的推理能力强于神经网络和进化计算, 而神经网络、进化计算的学习及搜索能力强于模糊系统。进化计算优化搜索的广度和适应性优于神经网络, 而神经网络的优化、学习精度优于进化计算。虽然三者各有特点, 但它们共同的仿生基础决定了三者存在必然的联系, 尤其是三者技术的结合所产生的强大生命力更是吸引了越来越多的研究者和探索者^[1]。计算智能在机器学习、过程控制、经济预测和工程优化等领域取得了巨大成功。

2 计算智能在水利水电工程中的应用

计算智能在水利水电工程中的应用起步较晚, 现尚属初步应用阶段。下面分类综述遗传算法、神经网络、模糊理论及其杂合系统在水利水电工程中的应用研究进展。

2.1 遗传算法在水利水电系统中的应用

在水库优化运行、水污染控制系统、水电站(厂)优化运行、水文模型参数估计等问题中, GA得到了卓有成效的应用。

Robin等^[3]将GA用于4座水库运行中, 并和传统的方法进行了比较, 发现GA鲁棒性强, 很容易用于复杂系统, 有潜力取代随机动态规划, 同时实数编码快于二进制码, 结果更好。Nachazel等^[4]用GA优化Sance水库能量利用, 为实时获得最大的水电能, 提出水库管理的操作规则。

刘首文等^[5]用GA求解水污染控制系统中排放口最优化处理问题, 采用罚函数法将约束条件纳入目标函数中, 堵河沿岸和沈阳南部浑河沿岸两个应

用实例说明 GA 所得结果优于非线性规划法。

水电站(厂)内经济运行的数学模型是一类非线性、混合 0-1 规划问题,用 GA 求解该问题,速度快,而且可同时在时域和空间上分别求出机组开停机计划和机组组合及负荷分配优化运行结果,可满足水电站(厂)内经济运行实时性的要求。对那板水电站和柘溪水电站的计算结果表明,GA 能提高经济效益 2%~4%^[6]。王黎、马光文^[7]在其它水电站运行中取得了类似的结论。Eliasson 等^[8]将 GA 用于水电站设计,在模型求解过程中,发现传统方法只能得到局部最优,而 GA 是全局优化,外在表现为计算的电站大小相同,而水路不同,经济效益得到了很大提高。伍永刚等^[9]为求解电力系统经济调度问题,提出了双链态遗传算法,给出了显性基因和隐性基因选优准则,建立了电力系统经济调度的遗传算法模型,该模型充分考虑了系统负荷平衡、用水限制和梯级水电站之间的水流流达时间等约束条件,对由 2 座火电厂和含有 4 座梯级水电站组成的系统仿真计算,取得了满意的效果。

金菊良等^[10]研究发现,GA 中的杂交、变异的最优功能随进化迭代次数的增加而减弱,进化迭代两次已充分发挥基因算法的寻优功能,而把迭代中形成的优秀个体的参数变化区间作为基因方法被估参数的新的变化区间,再重新运行基因算法,如此循环,时间复杂度大大降低,将所提的加速基因算法成功地应用于水文建模。

2.2 神经网络在水利水电系统中的应用

神经网络广泛地应用于水文分析和预测。刘国东等^[11]通过两个实例发现训练样本的复杂性对 BP 网络结构有较大影响,用输出和输入之间的线性相关系数作为问题的复杂性指标;讨论了收敛准则选择的问题,过分追求拟合精度必以牺牲预测精度为代价;给出了加快训练速度的几项改进措施,实例表明,BP 网络是一种精度较高的水文预测模型。胡铁松等^[12]提出一种新的径流长期分级预报的模式识别方法,该方法不直接描述径流形成的物理机制,而是通过 Kohonen 自组织神经网络对历史样本(径流级别及其影响因子集)的学习,识别出蕴含在样本中径流级别及其影响因子之间的规律性。辽宁省大伙房水库基于气象因素的汛期径流预报实践表明了该方法的可行性和有效性,低流量期水流流速不足以支持自然废水同化作用,包括:冲刷、转移、混合、污染是一个严重的环境问题。Campolo 等^[13]将神经网络用于预测低流量期河流流速,为水质管理提供参考。大坝安全监控中,坝体位移预测用回归分析方法很难描述位移与诸多影响位移的物理量间的复杂关

系,人工神经网络方法具有较强的非线性动态处理能力,无需知道位移与力学参数之间的显式关系,就可实现高度非线性映射,其较强的学习、存储和并行计算能力,适用于从实际样本中提取特征、获取知识,从而实现位移和力学参数间的非线性映射^[14]。陈启卷等^[15]将递推预报误差算法(RPE)运用于多层前向神经网络,对水轮发电机组进行非线性建模,取得了满意的结果。

Virginia 等^[16]检验了应用神经网络和线性近似于两个不同的地下水补救源于模拟退火搜索解决方法的定性和定量问题。Neelakantan^[17]用 BP 网络近似城市水供应问题的模拟模型,神经网络在非线性规划模型里作为亚模型,寻找接近优化策略,对结果用传统的模拟优化模型精确化。

冯耀龙等^[18]建立了水质富营养化的 BP 网络,用水质指标等级作为训练样本,对 1993~1998 年于桥水库水质监测值进行归类、分析、评价。

高宏等^[19]建立了基于 Hopfield 网络的水电补偿调节模型,提出了结合模拟退火技术的综合求解算法,并将其应用于乌江梯级水电站群优化补偿调节问题,计算效率大大提高。

2.3 模糊理论在水利水电工程中的应用

a. 模糊优选。陈守煜等^[20]用两级模糊模式识别研究了抽水蓄能电站排序优选问题。实例计算优选结果与模糊综合评判一致,而以相对隶属度为基础的两级模糊模式识别模型,在确定相对隶属度时远比确定隶属度(绝对隶属度)矩阵简单,而且从理论上基本消除了确定隶属度中的主观任意性缺陷。胡志根等^[21]系统地分析了施工布置方案的影响因素,提出了方案评价的指标体系,并建立了施工布置方案的多目标模糊优选模型,有效避免了综合评判模型的决策指标(综合评价)趋于均化难以决策的缺点。在水电系统规划过程中,水电工程项目的决策是一项复杂的工作,一个工程项目要经过方案提出、技术论证和可行性等阶段方可进行立项、投资和建设,在一段时间内,一个地区拟建几个水电工程时,由于受到财力、物力的限制,必须根据该地区电网发展的实际情况,结合项目的经济效益、社会效益等因素综合考虑,方可确定水电站的最优开发次序。水电工程项目是一个复杂的社会、技术经济系统工程,要考虑的目标很多,在这些目标中,有的是可以定量的,而有的只能定性分析,即是个模糊的概念,单靠规划专家经验进行判断决策已显得越来越困难。为此,李颖峰^[22]将多目标模糊优选决策引入水电工程的建设决策,可使决策过程科学化、规范化,避免了人为的影响,提高了电网的投资建设效益。

b. 预报.姜铁兵等^[23]引入了模糊综合评判的概念和交互式知识获取的思想,提出了一种新型的专家系统,针对洪水预报的特点,设计了两个各自独立的功能模块,以实现了对预报结果的综合分析和知识的半自动获取.陈春田等^[24]从长江洪水系统的特点出发,将该系统分解成3个目标明确的子系统,以子系统2为中心,建立了长江中上游防洪系统模糊优化调度模型,并提出了三峡水库洪水调度方案生成方法,以几个典型供水年对模型及软件系统进行了模拟运行,表明系统具有较好的灵活性和可操作性.苏锦星^[25]根据水库诱发地震的模糊性特点,用模糊数学方法原理,利用模糊关系中的等价关系,对已经发生的水库诱发地震样本进行聚类,并在二滩水库诱发地震预测中得到了应用.Lee Wenping等^[26]用模糊理论进行溢洪道空化故障时间、地点、强度的预测,隶属函数表示每一因素对故障的影响程度,权重表示每一因素的相对重要性.

c. 评价.贾嵘等^[27]通过建立水资源开发利用程度评价指标体系,运用模糊综合评判的方法对区域水资源开发利用程度进行分析评价,并将此应用到西安市的水资源开发利用评价之中,为西安市水资源的可持续利用提供科学的决策依据.王瑞骏等^[28]结合对小水电工程特点的分析,构造了进行小水电工程可行性评价的模糊层次模型,并建立了相应的模糊综合评判的方法.刘汉昌^[29]认为用模糊数学方法评标定标科学合理,弥补了以低价决策和凭主观评标定标的不足,有利于评标定标工作的规范化.朱文彬等^[30]以大系统多目标递阶分析理论与方法为基础,深入研究了移民安置与经济协调发展问题,提出了库区移民安置与经济协调发展的多级递阶模型,并提出用模糊分析模型确定权向量的实用方法.

d. 水质管理.Wen Chingung等^[31]针对水质管理中的两个难点,提出了应用模糊多目标规划方法.Lee等^[32]从不确定的和不精确的生态信息,采用模糊专家系统决定水质分类,并与传统的专家系统比较,曲线光滑,更接近于实际.

2.4 杂合系统在水利水电系统中的应用

Petridis等^[33]将神经-遗传杂合系统用于多模型参数估计,神经网络计算模型每一代每一个体的信用函数,GA据信用函数值决定复制模型的下一代概率,并将此方法用于一废水处理厂参数估计的数值模拟.

Tang等^[34]用GA获取优化的模糊子集和规则,染色体的基因分成两类,呈阶层结构,一类控制其余类的基因,并应用于控制一恒压泵站系统.Huang^[35]提出基于模糊系统的GA用于水力发电计划、目标和约束模糊化,GA调整隶属函数.

魏文秋等^[36]建立了水质评价的模糊神经网络系统,引入模糊概率测度来完成水质单指标评价的不确定性复合,确定其功能类别;利用神经网络自学习功能来进行水质多指标的综合评价确定其水质级别.徐凌宇等^[37]提出了一种嵌入式水电系统事故预测中信息融合的方法——利用模糊 if/then 规则和数字数据,为了处理模糊语言值,提出了一种能够控制模糊输入矢量的神经网络体系结构.该方法能够对非线性实间隔矢量和模糊矢量进行分类.陈启卷等^[38]提出了一种新的有效的转桨式水轮机协联方式——基于模糊 CMAC(小脑模型关节控制器)神经网络的数字协联,该协联方式不需对输入进行分区,允许完全的连续信号输入,具有全协联空间的跟踪精度和工作稳定性.

3 讨论与展望

a.在遗传算法和神经网络应用中取得了一定成果,模糊理论应用比较全面,而它们之间的杂合系统应用尚属初步,对遗传算法、神经网络与模糊技术三者的杂学系统还未见报道.

b.神经网络模型丰富纷呈,其中BP网络以其清晰的思路、较高的精度成为应用最成功的一种模型,其它模型也逐步受到重视.

c.寻找计算智能与水利水电系统优化更多的结合点,深入研究和改进CI在水利水电系统中的应用,构造和探求适合于水系统的模型和方法.

d.遗传算法、神经网络、模糊技术杂合系统的研究及应用,尤其是遗传算法与神经网络的杂合系统,将成为人们研究认知过程的重要工具.同时,进化计算、混沌理论、分形几何是研究非线性现象和复杂系统的新的三大方法,它们之间的融合将为解决更复杂的水利水电系统优化问题提供新的思路.

e.将进化计算的其它方法(EP,ES,GP)以及专家系统引入水利水电工程.

参考文献:

- [1] 赵莉萍.一门新学科——计算智能[J].华东船舶工业学院学报,1999,13(5):23~28.
- [2] 李敏强,徐博艺,寇纪淦.遗传算法与神经网络的结合[J].系统工程理论与实践,1999(2):65~69.
- [3] Robin W, Mohd S. Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1999(1-2):25~33.
- [4] Nachazel K, Toman M. Genetic algorithm and its application to optimise energy utilization of a water reservoir [A]. In: Applications of Artificial Intelligence in Engineering, 1995, Computational Mechanics Inc, 1995, 253~259.

- [5] 刘首文,冯尚友.遗传算法及其在水污染控制系统规划中的应用[J].武汉水利电力大学学报,1996,29(4):95~99.
- [6] 姜铁兵,梁年生,康玲,等.用遗传算法确定水电站自动发电计划[J].水力发电学报,1995(4):7~14.
- [7] 王黎,马光文.水电厂经济运行的遗传算法[J].四川联合大学学报(工程科学版),1997,1(1):42~47.
- [8] Elhasson J, Jansson P, Ludvigsson G. Software to optimize hydropower plant design [A]. In: Proceedings of the International Conference on Hydropower-Waterpower [C]. ASCE, 1997, 1673~1682.
- [9] 伍永刚,张勇传,王定一.水火电混合系统经济调度的双链态遗传算法[J].华中理工大学学报,1997,25(7):94~96.
- [10] 金菊良,杨晓华,储开凤,等.基因算法的应用及改进[J].河海大学学报,1998,26(2):75~79.
- [11] 刘国东,丁晶.BP网络用于水文预测的几个问题探讨[J].水利学报,1999(1):65~70.
- [12] 胡铁松,丁晶.径流长期分级预报的 Kohonen 网络方法[J].水电站设计,1997,13(2):24~29.
- [13] Campolo M, Soldati A, Andreussi P. Forecasting river flow rate during low-flow periods using neural networks [A]. In: Water Resources Research [C]. American Geophysical Union, 1999, 3547~3552.
- [14] 樊琨.基于人工神经网络的大坝位移预测[J].长江科学院院报,1998,15(5):45~48.
- [15] 陈启卷,徐枋同.水轮发电机组神经网络非线性建模研究[J].水利学报,1997(10):62~65.
- [16] Virginia M J, Leah L R. Accuracy of neural network approximators in simulation-optimization [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 2000, 126(2): 48~56.
- [17] Neelakantan T R, Pundarikanthan N V. Neural network-based simulation [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 2000(3):57~64.
- [18] 冯耀龙,杨庆学.应用神经网络评价于桥水库水质[J].海河水利,1999(5):39~40.
- [19] 高宏,王浣尘,刘可新,等.基于人工神经网络的水电补偿调节研究[J].系统工程学报,1999,14(3):205~210.
- [20] 陈守煜,邱林.模糊模式识别模型优选抽水蓄能电站[J].华北水利水电学院学报,1998,19(3):1~6.
- [21] 胡志根,肖雄雄.水电工程施工布置方案多目标模糊优选决策研究[J].水电站设计,1997,13(2):19~23.
- [22] 李颖峰.水电工程项目的多目标模糊优选决策[J].陕西工学院学报,1999,15(3):34~38.
- [23] 姜铁兵,蔡华,舒畅,等.一种新型专家系统及其在洪水预报中的应用[J].水电能源科学,1999,17(2):45~47.
- [24] 程春田,王本德,陈守煜,等.长江上中游防洪系统模糊优化调度模型研究[J].水利学报,1997(2):58~62.
- [25] 苏锦星.模糊聚类分析及其在水库诱发地震研究中的应用[J].水利水电技术,1997(6):18~23.
- [26] Lee Wenping, Hoopes J A. Testing model for predicting spillway cavitation damage [A]. In: Waterpower-Proceedings of the International Conference on Hydropower [C]. ASCE, 1995, 2290~2299.
- [27] 贾嵘,薛小杰,薛惠锋,等.区域水资源开发利用程度综合评价[J].中国农村水利水电,1999(11):22~24.
- [28] 王瑞骏,张三敖.小水电工程可行性的模糊综合评判[J].中国农村水利水电,1999(12):33~35.
- [29] 刘汉昌.水利水电工程模糊评标定标方法[J].中国农村水利水电,1999(6):28~30.
- [30] 朱文彬,陈守煜.库区移民安置与经济发发展的模糊带权递阶模型研究[J].大连理工大学学报,1997,37(5):590~594.
- [31] Wen Chinggun, Lee Chihsheng. Fuzzy programming approach to water quality management [A]. In: Proceeding of the National Science Council, Republic of China, Part A, Physical Science and Engineering [C]. 1998, 579~590.
- [32] Lee H K, Oh K D, Park D H, et al. Fuzzy expert system to determine stream water quality classification from ecological information [J]. Water Science and Technology, 1997, 36(12):199~206.
- [33] Petridis V, Paterakis E, Kehagias A. Hybrid neural-genetic multimodel parameter estimation algorithm [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1998, 9(5):862~876.
- [34] Tang kit-sang, Man kin-fuzzy, Liu zhi-feng, et al. Minimal fuzzy memberships and rules using hierarchical genetic algorithms [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1998, 45(1):162~169.
- [35] Huang S J. Application of genetic based fuzzy-systems to hydroelectric generation scheduling [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1999, 14(3):724~730.
- [36] 魏文秋,孙春鹏.模糊神经网络水质评价模型[J].武汉水利电力大学学报,1996,29(4):21~25.
- [37] 徐凌宇,杜庆东,赵海.嵌入式水电事故预测系统中信息融合的方法[J].东北大学学报(自然科学版),2000,21(1):8~11.
- [38] 陈启卷,徐枋同.基于模糊神经网络的转桨式水轮机数字协联[J].武汉水利电力大学学报,1996,29(4):16~20.

(收稿日期:2001-03-12 编辑:张志琴)

+++++

(上接第 58 页)

- [18] 辛厚文.分形介质反应动力学[M].上海:上海科技教育出版社,1997.
- [19] 蒲迅赤,李克锋,李嘉,等.紊动对水体中有机物降解影响的实验[J].中国环境科学,1999,19(6):485~489.
- [20] Nakamura Y, Stefan H G. Effect of flow velocity on sediment oxygen demand: theory [J]. Journal of Environmental Engineering, 1994, 120(5):996~1016.
- [21] Mackenthun A A, Stefan H G. Effect of flow velocity on sediment oxygen demand: experiment [J]. Journal of Environmental Engineering, 1998, 124(3):222~230.
- [22] 褚君达,徐惠慈.河流底泥冲刷沉降对水质影响的研究[J].水利学报,1994(11):42~47.

(收稿日期:2001-01-02 编辑:马敏峰)