

进化计算及其在智能控制中的应用

褚德欣

摘 要:介绍了进化计算的起源与发展历史、特点与分类、有关研究与应用现状及有关软件与国际信息交流等方面的基本情况。简述了进化规则和进化策略在智能控制中的应用。

关键词:进化计算;进化策略;进化规则;遗传算法;智能控制

中图分类号:TP273

文献标识码:A

进化算法是一系列搜索技术,包括遗传算法、进化编程、进化策略、遗传编程等。尽管进化算法有很多变化,但它们都是基于自然进化过程的基本计算模型。同传统的基于微积分的方法和穷举法等优化算法相比,进化计算是一种成熟的具有高鲁棒性和广泛适用性的全局优化方法。具有自组织、自适应、自学习的特性^[1],能够不受问题性质的限制,有效地处理传统优化算法难以解决的复杂问题。

1 起源与发展

仿生进化研究主要有三类:遗传算法(Genetic Algorithms)、进化策略(Evolution Strategies)和进化规划(Evolution Programming)。第一类方法比较成熟,现已广泛应用,进化策略和进化规划在科研和实际问题中的应用也越来越广泛。遗传算法的主要基因操作是选种、交配和突变,而在进化规则、进化策略中,进化机制源于选种和突变。就适应度的角度来说遗传算法用于选择优秀的父代(优秀的父代产生优秀的子代),而进化规则和进化策略则用于选择子代(优秀的子代才能存在)。遗传算法强调的是父代对子代的遗传链,而进化规则和进化策略则着重于子代本身的行为特性,即行为链。进化规则和进化策略一般都不采用二进制编码,省去了运作过程中的编码—解码手续且更适用于连续优化问题。进化策略可以确定机制产生出用于繁殖的父代,而遗传算法和进化规则则强调对个体适应度和概率的依赖,此外,进化规则把编码结构抽象为种群之间的相似,而进化策略抽象为个体之间的相似。

进化策略和进化规则已应用于连续函数优化、模式识别、机器学习、神经网络训练、系统辨识和智能控制的众多领域。

1.1 进化规划的起源与发展

进化规划是由美国人 L. J. Fogel 于 20 世纪 60 年代提出来的。他提出采用有限字符集上的符号序列表示模拟的环境,采用有限状态机表示智能系统^[2]。这种方法与遗传算法有许多共同之处,但不像遗传算法那样注重父代与子代的遗传细节,而是把侧重点放在父代与子代表现行为的联系上^[3]。当时学术界对进化规划持怀疑态度,直到 90 年代才逐渐受到重视并开始解决实际问题。

1.2 进化策略的起源与发展

进化策略是在欧洲独立于遗传算法和进化规划而发展起来的。1963 年德国大学的两名学生 I. Rechenberg 和 H. P. Schwefel^[4],在利用流体工程研究所的风洞作实验室时 Rechenber 提出了按自然突变和自然选择的生物进化思想的进化策略思想。同样,当时人们无法接受,直到 1990 年欧洲召开了第一届“基于自然思想的并行问题求解”的国际会议。

1.3 进化计算的起源与发展

1990 年,遗传算法开始与进化规划和进化策略有所交流,1992 年,进化规划和进化策略这两个不同领域的研究人员首次接触到对方的研究工作,通过深入交流,他们发现彼此在研究中所依赖的基本思想都是基于生物界的自然遗传和自然选择等生物进化思想,于是将这类方法统称为进化计算,相应的算法称为进化算法或进化程序^[5]。1993 年进化计算这一专业领域的第一份国际杂志问世,1994 年 IEEE 神经网络委员会主持召开了第一届进化计算国际会议。近年来,国际上掀起了进化计算

的研究和热潮,各种新的研究结果和应用实例不断涌现,将来有一天可能会出现一门内容包括进化计算但比进化计算更为广泛的科学,这一科学可能被称为“自然计算(NC, Natural Computation)”。

2 基本框架及其特点

2.1 基本步骤

进化计算是基于自然选择和自然遗传等生物进化机制的一种搜索算法。与普通的搜索方法一样,进化计算也是一种迭代算法,不同的是进化计算在最优解的搜索过程中,一般是原问题的一组解出发改进到另一组较好的解,再从这组改进的解出发进一步改进。而且在进化问题中,要求当原问题的优化模型建立后,还必须对原问题的解进行编码。进化计算在搜索过程中利用结构化和随机性的信息,使最满足目标的决策获得最大的生存可能,是一种概率型的算法。一般来说,进化计算的求解包括以下几个步骤:给定一组初始解;评价当前这组解的性能;从当前这组解中选择一定数量的解作为迭代后的解的基础;再对其进行操作,得到迭代后的解;若这些解满足要求则停止,否则将这些迭代得到的解作为当前解重新操作^[4]。

2.2 特点

进化计算是一种具有鲁棒性的方法^[5],能适应不同的环境不同的问题,而且在大多数情况下都能得到比较满意的有效解。它对问题的整个参数空间给出一种编码方案,而不是直接对问题的具体参数进行处理,不是从某个单一的初始点开始搜索而是从一组初始点搜索,搜索中用到的是目标函数值的信息,可以不必用到目标函数的导数信息或与具体问题有关的特殊知识。因而进化算法具有广泛的应用性,高度的非线性,易修改性和可并行性^[6]。

3 理论研究及其应用现状

3.1 理论基础

进化计算的理论基础有待充实,尤其是进化规划和进化策略,这在一定程度上制约了进化计算的实际应用。建立进化计算的数学模型,奠定进化计算的理论基础,更深刻地认识进化计算的本质,是目前的热点和难点。算法的复杂性分析、算法的收敛性、收敛速度,与其他优化方法的结合而成的混合算法以及在非优化算法中的应用都是亟待解决的问题。

3.2 应用现状

目前常见的软件或软件包有十几种,包括进化计算的各个方面,如遗传算法、平行遗传算法、进化策略、进化规划、遗传规划、分类系统等,并有 DOS 版本、Windows 版本、Unix 版本以及网络版本等。最新的软件可以通过互联网直接下载,美国海军后勤研究中心于 1985 年首先建立了全球性的有关遗传算法的网站,不定期编辑出版遗传算法文摘,交流有关遗传算法的最新信息。

进化计算几乎在所有的科学和工程问题中都具有应用前景,尤其是一些典型的领域:复杂的非线性最优化问题,复杂的组合规划或整数规划问题,起源于生物学又应用于生物学,可以利用进化算法研究小生境

理论和生物物种的形成; 计算机科学的图像处理、自动识别以及文档自动处理。进化算法已经越来越多地应用于工程实际: 通讯网络的优化, 超大规模集成电路的布线, 飞机外型的设计。进化计算还广泛地应用于社会科学领域, 如人类行为规范进化过程的模拟, 人口迁移模型的建立。

4 在智能控制中的应用

将进化计算引入鲁棒控制系统^[7]是一种新的有效的方法, 对于鲁棒控制领域中的某些控制结构和控制作用, 进化算法可以提供比传统数值优化方法更快更好的优点。同其他传统的鲁棒系统设计方法相比, 基于进化算法的鲁棒控制系统设计直接法具有算法简便, 灵活性大, 能够得到低阶控制器, 可以达到全局最优的特点; 而间接法是对传统方法的发展, 能够缩短设计时间, 提高自动化程度。

模糊进化神经网络^[8] (Fuzzy Evolutionary Neural Network, 简称 FENN) 融合模糊逻辑、进化计算和神经网络理论与技术, 是符号智能和计算智能的有机融合, 是一种综合智能理论技术, 其基本思路是利用模糊逻辑解决进化计算中控制参数的初选、编码、调节和对优化结果的综合评价; 利用模糊进化计算解决神经网络和模糊神经网络的全自动高效优化设计, 以及模糊逻辑系统中控制参数的优化^[9]。它是在三种现有的智能理论技术基础上发展起来的, 作为崭新的智能理论技术进行研究的, 旨在分析进化算法中的模糊智能行为智能和属性、神经网络设计、模糊建模和控制中的进化智能行为和属性, 解决进化计算、神经网络、模糊控制理论本身许多无法解决的难题, 模糊进化神经网络主要是利用模糊进化算法来设计神经网络, 包括训练神经网络权重, 拓扑结构等所有参数, 以提高神经网络学习效率, 建立合理最优的网络模型, 并对神经网络模型进行评价研究^[10]。

进化算法的全局采样特性可以与传统的神经学习算法的局部搜索行为相结合, 先用进化算法寻找 ANN 初始权空间, 而后采用传统神经网络梯度下降学习法^[11], 还可以用进化算法优化标准神经学习算法中关键参数的问题 (如 BP 网中的学习速率^[12])。以如何对神经网络的结构进行编码为主要研究内容的进化神经网络^[13], 即网络参数编码的确定 (包括选择待编码的参数、为各参数分配串长、定义串值与参数值之间的映射关系等), 随着大规模计算机的不断发展, 使其实用化成为可能。

用遗传算法设计模糊逻辑控制器具有许多其他方法所没有的优越性^[14, 15]: 遗传算法可以优化模糊逻辑控制器从结构到参数数值的各个方面; 可以不需要设计者对控制对象有任何先验知识, 可以没有良好的训练数据对; 易于融入设计者的知识以提高学习效率; 基于规则的模糊逻辑控制器摆脱了全局隶属函数的束缚, 规则数可以自由改变, 尤其适合用遗传算法来设计。综合运用匹兹堡方法和密歇根方法, 在控制器级和规则级同时进化模糊系统的方法, 克服了二者的缺点, 大大提高了进化的效率。模糊控制器是刺激响应型的分类器系统, 每一控制周期均与环境进行交互, 因而避免了繁琐的分值分配算法, 为简单的规则评价方法提供了可能。规则评价的关键是解决系统状态变量之间的可能的冲突, 将状态变量边界附近的误差加以放大, 则在边界附近状态变量的任何较小的改变, 都能产生较大的反馈。

微遗传算法实现的自适应控制器, 对于多模态情况以及非平稳函数的优化, 都取得了性能卓越的结果。遗传算法可以应用到前向神经网络的学习中, 把权值和节点的连接作为基因组, 不管是前向还是反馈, 任何一种连接方式, 都可作为基因的一种随机组合方式, 而基因组可以随意形成, 通过遗传算法可以得到输入与输出正确映射的网络结构和网络权值。遗传算法用于神经网络自适应 PID 控制系统是通过遗传算法训练神经网络而构成的自适应控制系统, 实现了遗传算法、神经网络、PID 控制三者的有机结合, 获得了优异的控制效果, 收敛快、鲁棒性强、动态响应良好。

基于遗传算法的自学习故障诊断方法^[16], 利用了自学习诊断规则能够缓解知识获取上的困难, 特别是当对故障缺乏了解时, 为从一组训练数据中自动建立规则提供了有效手段。

遗传算法作为一种实质上的随机搜索技术, 难免由于随机性太大而陷入盲目搜索, 以至于以搜索失败而告终。若与专家系统结合, 以有效的

启发知识来引导种群规模的界并设定交配概率和突变概率以及这两项操作的基因串的位置, 则可快速获得满意解。此外, 遗传算法用于图像恢复、图像识别和作业调度都是当前实用的研究课题。

5 结论

进化理论技术蓬勃发展的同时也暴露出一些亟待解决的问题。算法的收敛性将严重影响控制系统的稳定性, 尤其对于实时控制, 可能使整个系统陷入恶性循环完全失去控制^[17]。即便算法在实质上隐含高度并行性, 当种群规模庞大及搜索空间广阔时, 算法的收敛速度及搜索效率便成为突出问题, 所以进化计算应该同智能控制的其他技术有效结合。在过渡过程初期, 为加快响应速度, 以传统方法为主, 过渡过程中期便可采用进化计算辨识控制系统模型以及优化控制器参数, 而为避免控制器参数的剧烈改变所引起的干扰影响, 可以在过渡过程后期全面恢复到传统控制状态, 以利于整个系统平稳地达到目标状态^[18]。

参考文献

- [1] 潘正君, 康立山. 演化算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [2] Fogel D B. An introduction to simulated evolutionary optimization[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1994, 5(4): 3 - 14.
- [3] Fogel L J, Owens A J, Walsh M J. Artificial intelligence through simulated evolution[M]. New York: Wiley, 1966.
- [4] Michalewicz Z. Genetic algorithms + Data structure = Evolution program[M]. Berlin: Springer - Verlag, 1992.
- [5] Goldberg D E. Genetic algorithm in search, optimization and machine learning[M]. MA: Addison Wesley, 1989.
- [6] Holland J H. Adaptation in natural and artificial systems[M]. Boston: MIT Press, 1992.
- [7] 何丕廉, 侯越先. 基于神经网络的时间序列鲁棒预测[J]. 控制与决策, 2001, 16(3): 333 - 336.
- [8] Jia Limin, Shi Tianyun. Research on Fuzzy Evolutionary Neural Network Theory and Technique [C]. IASTED International Conference on Intelligent System and Control (ISC 2000) Hawaii, USA, August, 2000, 14 - 16; 170 - 175.
- [9] 王立新. 关于模糊理念的思考[J]. 自动化学报, 2002, 28(4): 670 - 672.
- [10] 史天运, 贾利民. 模糊进化神经网络理论与技术框架[J]. 中国铁道科学, 2002, 23(2): 33 - 41.
- [11] 谭政华, 胡光锐, 任晓林. 利用进化规划设计人工网络[J]. 计算机工程与应用, 1999(10): 20 - 22.
- [12] Angeline P J. An Evolutionary Algorithm that Constructs Recurrent Neural Networks[J]. IEEE Trans. On Neural Networks, 1994, 5(1): 54 - 65.
- [13] Goldberg D. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning[M]. Massachusetts: Addison - Wesley Pub., 1989.
- [14] 李少远, 田永青. 模糊控制器的结构化分析及系统化设计方法[J]. 控制与决策, 2001, 6(4): 435 - 438.
- [15] 季春霖, 张洋洋. 用于模糊控制器设计的遗传算法研究[J]. 控制与决策, 2003, 18(6): 733 - 739.
- [16] 陈根社, 陈新海. 遗传算法的研究与进展[J]. 信息与控制, 1994, 23(4): 215 - 222.
- [17] 王兴成, 郑紫薇, 贾欣乐. 模糊遗传算法及其应用研究[J]. 计算技术与自动化, 2000, 19(2): 5 - 9.
- [18] 涂承媛, 涂承宇, 冯占英. 基于仿生进化的自动控制系统[J]. 北京联合大学学报, 2000, 14(3): 69 - 73.

(责任编辑: 刘翠玲)

第一作者简介: 褚德欣, 女, 1970年3月生, 山东省德州市人, 现为太原理工大学测控专业2003级在读硕士研究生, 讲师, 内蒙古工业大学信息学院, 内蒙古自治区呼和浩特市爱民路, 010062.

谈高压输电线路无功功率的几个问题

张利刚

摘 要: 高压输电线路在输送负荷功率的同时自身也消耗有功功率、吸收或输出无功功率,线路无功会对功率因数产生很大影响。针对输电线路无功功率吸收或输出的界限、线路无功对功率因数的影响和改进措施进行了讨论,最后分析了现场应用线路容性无功对二次接线进行向量检查的优点。

关键词: 高压输电线路;自然功率;无功功率

中图分类号: TM726.1

文献标识码: A

高压输电线路在输送负荷功率的时候,自身也要消耗有功、吸收或输出无功。消耗有功会产生线损,吸收无功则产生线路压降,输出无功还可能产生容升效应,亦可补充负荷所需无功之不足。故线路无功对功率因数有时会造成重大影响。本文就几个相关的问题进行分析讨论。

1 自然功率是区分输电线路吸收或输出无功功率界限

输电线路是分布参数电路,其相间及相对地均有分布电容及电导,每段导线均相当于一电感与电阻串联。在三相对称运行情况下,可用单相等值电路代替三相,如图 1 所示。

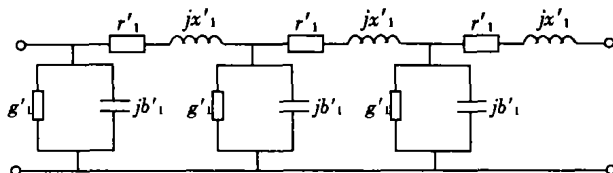


图 1 三相对称运行情况下的单相等值电路

图 1 中 r'_1, x'_1, g'_1, b'_1 分别为输电线 d_m 段的电阻、电抗、电导、电纳。如单位长度值为 r_1, x_1, g_1, b_1 , 则 $r'_1 = r_1 d_m, x'_1 = x_1 d_m, g'_1 = g_1 d_m, b'_1 = b_1 d_m$ 。

我们知道,分布参数电路有个重要参数,即特性阻抗(波阻抗) Z_c 。

$$Z_c = [(r_1 + jx_1) / (r_1 + jb_1)]^{1/2} \quad (1)$$

因为我们着重讨论无功情况,且在实际线路中泄漏很小,可设 $g_1 = 0$ 。又因不考虑线路损耗,且 r_1 又确比 x_1 小许多,即 r_1 可略去,使线路成为理想无损线路,则:

$$Z_c = (x_1 / b_1)^{1/2} \quad (2)$$

再者,如果只研究中等以下(300 km)长度线路,就可不考虑其分布参数特性,而只用将线路参数简单地集中起来的电路表示它们,其π型

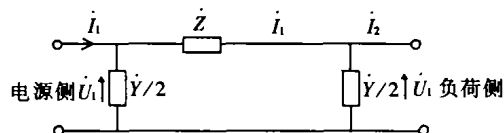


图 2 中等以下(300 km)长度线路的π型等值电路图

等值电路如图 2。

图 2 中, Z, Y 为所讨论线路全长之阻抗及导纳,理想情况下就是电阻与电纳。

$$\dot{Z} = \dot{X} = j\omega LH = jx_1 H \quad \dot{Y} = \dot{B} = j\omega CH = jb_1 H$$

其中, H 为线路全长, L, C 为单位长度电感与电容。

$$Z_c = (X/B)^{1/2} = (L/C)^{1/2} \quad (3)$$

若在线路末端所加负荷为特性阻抗 Z_c , 则负荷功率称为自然功率。我们计算此种状态下输电线路串联支路的感性无功和并联支路的容性无功:

$$P_N = U^2 / Z_c \quad (4)$$

在正常负荷情况下,线路压降不大,故在图 2 等效电路中,可设 $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \dot{U}$, 即输入输出电压相等,两并联支路承受相同电压,可将两并联支路合并。另一方面并联支路的容性电流相对负荷电流也可略去,即设 $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \dot{I}$, 等效电路 2 可进一步简化为图 3。

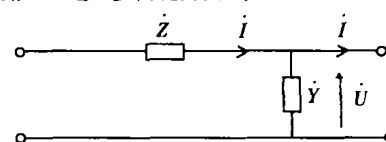


图 3 简化后的等效电路图

$$\text{容性无功 } Q_C = U^2 \omega C \quad (5)$$

$$\text{感性无功 } Q_L = P \omega L \quad (6)$$

$$\text{因为 } \dot{U} = \dot{I} Z_c = \dot{I} (L/C)^{1/2} \quad \dot{I} = \dot{U} / (L/C)^{1/2}$$

$$Q_L = P \omega L = \dot{U} / (L/C) \omega L = U^2 \omega C = Q_C$$

所以当负荷阻抗等于特性阻抗时输电线路的容性无功和线路本身吸收的感性无功正好相等抵消,输电线路作为一四端网络,既不向系统或负荷输出无功,也不吸收电源无功。加上特性阻抗的纯电阻性,所以从电源侧看,输电线路与负荷组成的整体网络也呈电阻性,功率因数为 1。

因为输电线路容性无功与负荷大小关系不大,只由线路长度和电压确定,故其大小变化甚微。而感性无功却决定于负荷大小,变化颇为剧烈。当负荷功率小于自然功率,负荷电流小于 U/Z_c 时,则感性无功 Q_L

Survey on Evolutionary Computation and Its Application in Intelligent Control

CHU De-xin

ABSTRACT: This paper introduces the basic situation related to the evolutionary computation, including its origination, developing history, characteristics, classification, research and application, relevant software, and information exchanges internationally, etc., and expounds briefly the application of evolutionary rules and strategies in the intelligent control.

KEY WORDS: evolutionary computation; evolutionary strategies; evolutionary rule; genetic algorithms; intelligent control