

基于合作协同进化和 IMPSO 算法的多阶段多目标电网规划

何井龙¹, 杨红梅²

(1. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 郑州中岳电力有限公司, 河南 郑州 452477)

摘要: 提出一种模型, 其任务是在满足安全约束的条件下, 确定何时、何地, 新建多少线路以满足各阶段电网负荷增长的需要, 同时使建设费用、运行费用和网损费用最小。尝试将合作协同进化算法与 IMPSO 算法结合, 应用于多阶段多目标的电力系统规划问题, 在各阶段中采用 IMPSO 算法多目标优化, 各阶段之间通过合作协同算法根据各约束条件进行协调。与常规算法比较, 在算例分析与实际应用中取得了较好的效果。

关键词: 合作协同进化; 粒子群算法; 多目标优化; 多阶段

Multi-stage and multi-objective transmission planning based on IMPSO and cooperative coevolutionary algorithm

HE Jing-long¹, YANG Hong-mei²

(1.Hunan University, Changsha 410082, China; 2.Zhengzhou Zhongyue Electric Power Co., Ltd,Zhengzhou 452471,China)

Abstract: This paper points out a model whose task is to make sure that when, where and how many wires should be built to satisfy the increasing load on different stages, and the same time to make the lowest charge of building, function and break on the condition of satisfying security restriction. The cooperative coevolutionary algorithm combined with IMPSO is applied to solve the multi-stage and multi-objective transmission systems planning. Sub-stage which is optimized by IMPSO coevolves with other sub-stages through the constraint conditions. Compared with normal algorithm, it can give better results in examples and applications.

Key words: cooperative coevolutionary; particle swarm optimization algorithm; multi-objective optimization; multi-stage

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)20-0010-05

0 引言

近年来我国发生了全国性的大范围严重的供电不平衡现象, 有些地方缺电, 但有些地方有电送不出, 制约我国地区经济的发展, 从一个侧面反映我国电力系统规划工作还不完善, 对其进行深入研究是非常有必要的。随着电力系统规模的不断扩大, 电网规划涉及的目标越来越多, 这些目标往往具有不同的重要性, 甚至相互矛盾。在电网规划中, 多阶段协调规划把规划期划分成若干阶段, 在每一个阶段确定新建线路的位置和数目, 前一阶段的规划对后一阶段的规划产生影响, 多阶段协调规划是一个动态优化过程。

多目标电网规划 MTNP (Multi-object Transmission Network Planning)是在满足系统安全约束的条件下, 使建设费用、运行费用和网损费用等作为目标优化问题。文献[1]提出了采用改进遗传算法在多目标电网规划中的应用, 文献[2]采用多目标种群

的遗传算法进行电网规划, 取得了较好的效果。多阶段电网规划其任务是在满足系统安全性的要求下, 确定何时、何地, 新建多少线路以满足电网负荷增长的需要, 同时使建设和运行的总贴现值最小。文献[3]提出了采用改进的粒子群优化算法实现多阶段电网规划, 文献[4]提出了采用并行协同粒子群算法实现多阶段电网规划, 都取得了较好的效果, 但它们都只就某一个问题提出了解决方法。针对多目标多阶段电网规划, 本文提出一种模型, 其任务是在满足安全约束的条件下, 确定何时、何地, 新建多少线路以满足各阶段电网负荷增长的需要, 同时使建设费用、运行费用和网损费用最小, 是一个离散、多峰、非线性的大系统最优化问题。

1 多目标多阶段规划模型

一般电网规划考虑的因素包括一次性建设投资、运行费用和网损费用等^[4,5], 将这些因素分别作为目标优化问题的目标, 同时考虑规划的多阶段性,

得到多目标多阶段规划模型的优化目标函数:

$$\begin{cases} \min f_1 = \sum_{s=1}^N A_p(j, g(s)) \sum_{i \in D} K_1 x_{si} l_{si} \\ \min f_2 = \sum_{s=1}^N \sum_{i \in E} Pen_{si} W_{si} \\ \min f_3 = \sum_{s=1}^N T(s) \sum_{i=1}^{N_b} K_2 r_i P_{si}^2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \min f_{s1} = A_p(j, g(s)) \sum_{i \in D} K_1 x_{si} l_{si} \\ \min f_{s2} = \sum_{i \in E} Pen_{si} W_{si} \\ \min f_{s3} = T(s) \sum_{i=1}^{N_b} K_2 r_i P_{si}^2 \end{cases} \quad (2)$$

式(1)为规划目标优化函数,式(2)为各子阶段目标优化函数。式(1)中: f_1 为目标函数1,为方案的建设投资等年值费用; D 为新建线路集; K_1 为单位长度线路造价; x_{si} 为决策变量,第 s 阶段第 i 条待选线路的回路数; l_{si} 为第 s 阶段第 i 条线路长度; f_2 为目标函数2,为网络安全约束的惩罚项; W_{si} 为第 s 阶段的第 i 种网络约束,如过负荷约束等; Pen_{si} 为第 s 阶段的第 i 种网络约束的惩罚系数。 f_3 为目标函数3,为年网损费用;式(2)中 f_{s1} 、 f_{s2} 和 f_{s3} 为相应的 s 阶段目标函数。 $T(s)$ 为第 s 阶段年网损小时数; N_b 为网络支路数; K_2 为单位电价; r_i 为第 i 条线路的电阻; P_{si} 为第 s 阶段正常运行方式下第 i 条线路上的功率潮流。 $A_p(j, g(s))$ 为资金回收系数。

$$\begin{cases} A_p(j, g(s)) = j(1+j)^{g(s)} / (1+j)^{g(s)} - 1 \\ g(s) = \sum_{l=1}^s y(l) \end{cases} \quad (3)$$

其中: j 为资金贴现率, $g(s)$ 为贴现年限, $y(l)$ 为1阶段包含的年数, $g(0)=0$;

需满足的约束条件如下:

各阶段的潮流约束为

$$\begin{cases} P_i^s = V_i^s \sum_{j \neq i} V_j^s (G_{ij}^s \cos \theta_{ij}^s + B_{ij}^s \sin \theta_{ij}^s) \\ Q_i^s = V_i^s \sum_{j \neq i} V_j^s (G_{ij}^s \sin \theta_{ij}^s - B_{ij}^s \cos \theta_{ij}^s) \end{cases} \quad (4)$$

各阶段的线路过负荷约束为

$$\begin{cases} -p_i^s \leq p_i \leq p_i^s, i \in m + m^o \\ -q_i \leq q_i \leq q_i^s \end{cases} \quad (5)$$

各阶段架线整数约束及上下限约束为

$$0 < x_i^1 \dots < x_i^s < x_i^{\max}, x \in Z, i \in m$$

表示后一阶段的规划是在前一阶段规划的基础上进行的,并保证前一阶段的架线不会在以后阶段被拆除掉, m 为可架线走廊; m^o 为不可架线走

廊; x_i^{\max} 为走廊 i 上允许架设的最大线路回数。

2 多目标多阶段电网规划实现

2.1 改进的多目标粒子群优化算法

2004年 Xiaodong Li^[6]提出了一种基于 Maximin 函数的多目标粒子群优化算法,它首先通过计算每个粒子与其他粒子对不同目标函数的差值,从中选取最小值 $\min X(i)$,然后找出这个粒子与其他所有粒子所计算的最小值 $\min X(i)$ 中的最大值 $\max(\min X(i))$ 作为该粒子的适应函数值,适应度值小于零的粒子被确认为非劣解集的成员。并根据非劣解集中非劣解的适应度值按照轮盘赌的方式为每个粒子选取一个全局最优值进行迭代优化。该方法的缺点是不利于非劣解前沿的均匀分布。

文献[7]通过改进 Xiaodong Li 的算法,将 ϵ -主导理论引入最大最小适应函数,针对多目标优化问题的特点,提出一种改进的多目标粒子群优化算法 (IMPSO)。该方法在求解多目标问题的非劣解前沿 (Pareto Front) 时表现很好的性能。一方面由于最大最小适应函数的存在,算法不需要额外的类聚或小生境技术去处理一部分拥挤的非劣解前沿,也可以得到均匀分布的非劣解前沿,保证了算法的收敛速度,同时又不影响非劣解前沿的完整性,本文尝试将 IMPSO 算法引入电网协调规划中。

2.2 基于 IMPSO 的多目标电网规划

IMPSO 算法已经在一些实际工程中得到了应用^[8],本文尝试将 IMPSO 算法引入到多目标的电网规划中。其步骤如下:

(1)初始化粒子群

给定群体规模 N ,随机产生 N 个粒子并存储在 PSOList 中,对每个粒子 X_i ,同时被默认为个体的最优值 $pBest_i$,粒子的初始速度 V_i 设为 0。

(2)根据目标函数分别计算初始群体中每个子目标的函数值,并根据 $f_{\max i \min}$ 来确定每个粒子的适应值,将适应值为负值(非劣解)的粒子存储在 nonDomPSOList。

(3)对 PSOList 中每个粒子 i 进行迭代计算。

(a)根据非劣解的适应函数值,通过轮盘赌在 nonDomPSOList 中选择一个 $gBest$ 作为粒子 i 的全局最优值。

(b)确定每个粒子的个体最优值:如果更新后的粒子 i 的所有目标函数值都优于先前的值,将用更新后的粒子 i 作为下一代的 $pBest_i$;若它的目标函数值一部分优于先前的值,一部分差于先前的值,那么随机地选择更新后的粒子或者原来的 $pBest_i$;作为下一代的 $pBest_i$;如果更新后的粒子 i 的所有目标函数值都差于先前的值,那么 $pBest_i$ 保持不变。

许迭代次数,则停止优化,输出结果;否则,移到第1个种群并转到步骤(4),继续迭代。

以各阶段作为子群,基于合作协同进化 IMPSO 算法的多目标多阶段电网规划计算框架如图1。

3 算例分析

本算例[12]是一个扩展四阶段(每阶段为1年)的动态规划问题。至规划目标年,该系统有19个节点,32条待选支路。系统的初始可行网络如图2所示,节点参数和支路参数见文献[13]。为了验证合作协同进化 IMPSO 算法的有效性和可行性。本文采用合作协同进化 IMPSO 算法对该系统进行规划。这里合作协同进化 IMPSO 算法的目标函数为式(1)。计算标幺值时,功率基准值 $S_B=100$ MVA;单位长

度造价取为100万元/km;单位电价取为0.3元/kWh;年损耗小时数取为3000h;资金贴现率 j 取10%。考虑到本算例为四阶段,本文采用一台P4 2.8G,1G内存计算机作为服务器,四台P4 2.4G,512M内存计算机作为客户机,通过以太局域网连接,java语言编程,Socket通信,进行协同计算。服务器粒子维数为 32×4 ,粒子群规模取100,客户机维数取32,粒子群规模取50,迭代次数设为100次,用合作协同进化 IMPSO 算法对19节点四阶段电网进行规划的结果如表1、2,最优方案为表1中的方案1。由于4种方案都满足约束条件,故目标函数 f_2 费用为0,阶段4无规划线路,因此在表2中不列出费用。

表1 19节点的不同优化方案信息

Tab.1 Optimal number of new lines for the 19-bus system

方案	阶段1	阶段2	阶段3	阶段4
1	2-3,2-5,4-5,4-6,5-8(2),6-14	2-3,2-4,4-5,4-6,5-8,6-7	2-3,2-5,4-6,7-8	
2	2-3,4-5(2),4-6,5-8(2),6-14	2-3,2-4,2-5,5-8,6-7	2-3,2-5,4-6,7-8	
3	2-3,2-5,4-5,4-6,5-8(2),6-14	2-3,2-4,4-5,4-6,5-8,6-7	2-3,2-5,7-8	
4	2-3,2-4,4-5(2),4-6,5-8(2),6-14	2-3,2-5,4-6,5-8,6-7	2-3,2-5,7-8	

表2 19节点系统的规划结果

Tab.2 The optimal solutions of the 19-node system

方案	阶段1/百万元		阶段2/百万元		阶段3/百万元		合计
	f_1	f_2	f_1	f_2	f_1	f_2	
1	336.243	95.21	328.104	116.44	243.49	137.27	1256.757
2	381.092	95.74	282.207	117.36	243.49	137.28	1257.169
3	383.639	95.96	327.104	124.93	197.558	130.05	1259.241
4	419.723	99.68	292.026	124.76	197.558	130.76	1264.507

为进一步验证算法的可行性,本文将算法用于某地区电网“十一五”规划,该电网共有24节点,28条走廊,48条待建线路。结合电网实际情况,根据要求,本规划分为四个阶段,分别为2008,2009,2010年和2010-2015年四个阶段。设定粒子数为100,迭代次数为100,通过所编写的程序进行计算,获得规划结果见表3。为便于比较,在某台客户机上分别采用文献[13]中遗传算法(GA)和基本粒子群算法(PSO)进行计算,遗传算法设定染色体数为100,进化代数为100,基本粒子群算法设定粒子数为100,迭代次数为100。

由表3可以看出,同遗传算法、粒子群算法比较,合作协同进化 IMPSO 算法收敛概率有所提高,计算时间由于是多台计算机并列运行,计算时间比基本 PSO 算法少,所得结果既减少了投资费用,也保证了系统 N-1 校验,优化结果更为合理。

表3 24节点系统规划结果

Tab.3 The optimal solutions of the 24-node system

比较项目	GA	PSO	本文算法
总计算次数/次	100	100	100
搜索到最优方案概率	71%	73%	78%
各方案的平均投资/百万元	2720.12	2678.02	2551.56
计算粒子数	100	100	100
计算时间/s	220-242	213-238	204-225

4 结论

本文对多阶段多目标电网规划进行了研究,提出将合作协同进化和改进的多目标粒子群算法(IMPISO)结合应用于电网规划,对算例进行分析以及在实际规划中取得的结果验证了算法的有效性和可行性,表明合作协同进化算法和改进的多目标粒子群算法(IMPISO)在电网规划中具有好的应用前景,在协同多阶段与多目标方面有好的效果。但是

粒子群算法的收敛性仍然是困扰该方法的重要因素,需要进一步的探讨研究,提高收敛速度。

参考文献

- [1] 伍力, 吴捷, 钟丹虹. 多目标优化改进遗传算法在电网规划中的应用[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(12): 45-48.
WU Li, WU Jie, ZHONG Dan-hong. Application of Improved Genetic Alogorithm In Multi-Objective Power Network Optimization Planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(12): 45-48.
- [2] Potts J C, Giddens T D, Yandav S B. The Development and Evaluation of an Improved Genetic Algorithm Based on Migration and Artificial Selection[J]. IEEE Trans on Systems Man and Cybernetics, 1994,24(1):73-86.
- [3] 陈海炎, 陈金富. 基于改进粒子群优化算法的输电系统多阶段协调规划[J]. 继电器, 2005,33(23): 36-40.
CHEN Hai-yan, CHEN Jin-fu. Particle Swarm Optimization for Transmission Systems Multi-Stage and Coordinated Planning[J]. Relay, 2005,33(23): 36-40.
- [4] 金义雄, 程浩忠, 严健勇, 等. 基于并行协同粒子群算法的多阶段电网规划[J]. 中国电机工程学报, 2005,25(5): 49-53.
JIN Yi-xiong, CHENG Hao-zhong, YAN Jian-yong, et al. Parallel Cooperative Particle Swarm Optimization Based Multistage Transmission Network Planning [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(5): 49-53.
- [5] 王秀丽, 李淑慧, 陈皓勇, 等. 基于非支配遗传算法及协同进化算法的多目标多区域电网规划[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(12): 11-15.
WANG Xiu-li, LI Shu-hui, CHEN Hao-yong, et al. Multi-objective and Multi-district Transmission Planning Based on NSGA-II and Cooperative Co-evolutionary Algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(12): 11-15.
- [6] Li X. Better Spread and Convergence: Particle Swarm Multiobjective Optimization Using the Maximin Fitness Function[A]. In: GECCO(2004) LNCS(3102)[C]. 2004: 117-128.
- [7] 徐佳, 李绍军, 钱锋. 基于最大最小适应度函数的多目标粒子群算法[J]. 计算机与数字工程, 2006,34(8): 31-34.
XU Jia, LI Shao-jun, QIAN Feng. A New Particle Swarm Optimization for Multiobjective Problem[J]. Computer & Digital Engineering, 2006,34(8): 31-34.
- [8] 徐佳, 李绍军, 钱锋. 多目标粒子群优化算法在集群目标靶场效能优化问题上的应用[A]. 第六届全球智能控制与自动化大会[C]. 2006.
- [9] Hillis D W. Co-evolving Parasites Improve Simulated Evolution as an Optimization Procedure[A]. In: Artificial Life II[C]. California: 1991.313-314.
- [10] Husbands P, Mill F. Simulated Co-Evolution as the Mechanism for Emergent Planning and Scheduling[A]. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms[C]. California: 1991. 264-270.
- [11] Potter M A, De Jong K A. Cooperative Coevolution: an Architecture for Evolving Coadapted Subcomponents[J]. Evolutionary Computation, 2000,8(1): 1-29.
- [12] 童陆园, 王小波, 王仲鸿. 输电网的中长期动态整数规划—临界可行结构匹配法[J]. 电力系统及其自动化学报, 1989, 1(1): 12-13.
TONG Lu-yuan, WANG Xiao-bo, WANG Zhong-hong. Long and Middle term Dynamic Integral Power Transmission Network Planning—Critical Feasible Structural Matching Method[J]. Proceedings of CUS-EPSA, 1989, 1(1): 12-13.
- [13] 王秀丽, 王锡凡. 遗传算法在输电系统中的应用[J]. 西安交通大学学报, 1995,29(8):1-9.
WANG Xiu-li, WANG Xi-fan. Application of Genetic Algorithm in Transit Electricity System[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1995,29(8):1-9.
- 收稿日期: 2008-01-10; 修回日期: 2008-05-08
作者简介:
何井龙 (1984-), 男, 硕士研究生, 从事电力市场及其软件开发研究; E-mail:xthj1149@163.com
杨红梅 (1971-), 女, 大专, 从事继电保护工作。
-
- (上接第 9 页 continued from page 9)
- DING Wang-lin, LUO Jian, LIU Qiang. Effect of Zero-sequence Current on Star-delta Vector Transform of Digital Transformer Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(5): 56-58.
- [11] 毕大强, 王祥珩, 杨恢宏, 等. 变压器差动保护中电流相位补偿方式的分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(18):33-37.
BI Da-qiang, WANG Xiang-heng, YANG Hui-hong, et al. Analysis on the Current Phase Compensation Methods in Differential Protection for Transformer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(18): 33-37.
- [12] Bastard P, Bertrand P, Meunier M. A Transformer Model for Winding Fault Studies[J]. IEEE Trans on PWRD, 1994,9(2):690-699.
- 收稿日期: 2008-01-04; 修回日期: 2008-02-25
作者简介:
金恩淑 (1975-), 女, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事电力变压器保护的研究;
刘丽丽 (1981-), 女, 研究生, 研究方向为电力系统继电保护。E-mail: allison8192003@yahoo.com.cn