

文章编号:1001-9081(2005)03-0720-03

自适应并行进化策略在配电网重构中的应用

臧文科,刘希玉,胡明峰

(山东师范大学 计算机系, 山东 济南 250014)

(wink@d2www.com)

摘要:针对目前利用计算机技术进行中压电网运行方案优化问题,构造了网络运行方案优化的数学模型,提出了自适应多种群并行进化策略模型,采用多种群连接节点逐步扩展法求解问题线路对应的串位进化变异,并对算法进行了实现。算例分析证明,这种策略能够极大地降低网损,提高经济效益。

关键词:进化策略;并行进化;电网重构

中图分类号: TP181 **文献标识码:** A

Application of self-adaptation parallel evolutionary strategies in reconfiguration of distribution networks

ZANG Wen-ke, LIU Xi-yu, HU Ming-feng

(Department of Computer, Shandong Normal University, Jinan Shandong 250014, China)

Abstract: The mathematical model of distribution network operation scheme was constructed. Based on it, a parallel evolutionary strategy combined self-adaptation and multi-population was presented and implemented to optimize the distribution network operation scheme. Multiple populations were used to expand nodes in the network, and the corresponding cluster locations were evolved and varied progressively. Experimental results show that this strategy can greatly reduce the electric network loss and increase the economic benefit.

Key words: evolutionary strategies; parallel evolution; reconfiguration of electric networks

0 引言

随着城市电网的发展,电力企业对配电网运行可靠性和经济性要求也越来越高。在电力系统中,有 5%~13% 的电能以线路损失的形式浪费在配电系统各级电网的综合线损中,中低压配电网(本文指 10 kV 配电网络)的线损占了很大的比例。因此近年来,中压配电网运行方案的优化越来越被重视,在满足中压配电网运行可靠性的条件下,如何通过网络结构优化重组来降低线损是一个非常具有经济效益的研究课题。

从数学角度看,配电网重构是大规模非线性组合优化问题。由于配电网重构问题的变量很多,约束条件复杂,用非线性规划、动态规划等数学优化算法求解,通常都面临着组合爆炸问题,而进化策略(Evolutionary Strategies, ES)的计算时间主要取决于种群数,跟系统规模大致成正比,这和动态规划等算法的指数增长有很大不同^[1],因此进化策略非常适合求解大规模的配网重构问题。但由于常规进化策略的缺陷和配电网网络重构辐射型约束条件的影响,直接进行进化操作得到的优化方案的成功率不高,而且进化速度很慢。针对这些问题,本文提出一种自适应并行进化策略来实现配电网重构。

1 配电网重构典型实例

为说明配电网重构问题,本文设计了一个典型的中压配电网(见图 1):其中有 2 条馈线,馈线间设有联络线。包括

高压网络(作为一虚拟节点)和变压器节点在内,共有 36 个节点;包括虚拟线路、变压器等效线路、联络线在内,共有 40 条线路(虚拟线路数为 2,变压器线路数为 2,联络线数为 1)。假设联络线上装有联络开关,其他线路(除虚拟线路和变压器等效线路之外)上装有分段开关,则总共有 37 个开关。

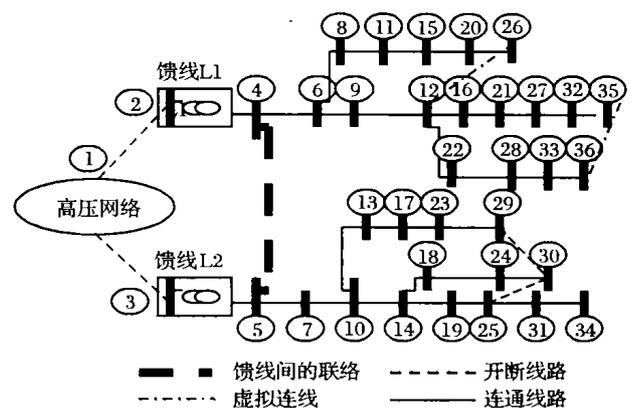


图 1 一个典型的配电网网络图

联络线和装有分段开关的线段,可以通过控制联络开关或分段开关,决定是否投入或切断。变压器线路也可以投入或退出运行,如不投入运行,则变压器所带的馈线负荷通过联络线路由另一台变压器供电。图 1 是联络线 4-5 和线路 12-26, 35-36, 29-30, 25-30 开断,其他线路合上的运行方案等效图。

收稿日期:2004-08-18;修订日期:2005-01-02 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60374054)

作者简介:臧文科(1978-),男,山东海阳人,硕士研究生,主要研究方向:进化计算、软件工程;刘希玉(1964-),男,山东莱芜人,教授,博士生导师,男,博士,主要研究方向:人工神经网络、进化计算;胡明峰(1978-),男,山东日照人,硕士研究生,主要研究方向:协同设计。

2 最小网损配网重构数学模型

如上节所述,配电网重构是在满足安全可靠供电前提下,通过改变网络中的开关状态,即选择不同的供电路径,达到最大负荷和最小负荷时综合网损之和最小。

对于网络接线图1,可以得到如下的数学模型^[2]:

$$\text{Min}(J) = \sum_{i=1}^L X_i \sum_{k=1}^2 (n \frac{P(k)_i^2 + Q(k)_i^2}{U(k)_i^2}) \quad (1)$$

其中: L 为装有联络开关或分段开关的线路集合(包括变压器线路); k 为取值1表示是在最大负荷运行条件下,取值2表示是在最小负荷条件下; $P(k)_i, Q(k)_i, U(k)_i$ 分别是线路 j 端的有功功率、无功功率和电压; r_l 为线路电阻; X_i 为控制变量(取值0或1)。

约束条件如下:

1) 等式约束,潮流方程:

$$f(P, Q, U) = 0$$

P, Q 是节点注入功率, U 是节点电压。

2) 不等式约束,包括电压约束、线路过载约束和变压器过载约束。在最大负荷和最小负荷条件下都满足以下约束:

$$U_{\min} \leq U(k)_i \leq U_{\max}, U(k)_i \text{ 为节点 } i \text{ 电压} \quad (2)$$

$$P_l(k) \leq P_{l\max}, P_l(k) \text{ 为线路 } l \text{ 潮流} \quad (3)$$

$$P_i(k) \leq P_{i\max}, P_i(k) \text{ 为变压器功率} \quad (4)$$

3) 辐射型网络约束。

3 自适应并行进化策略

进化策略在搜索和机器学习领域已得到了广泛的应用。理论和实践证明,进化策略具有很强的鲁棒性,而且所需的领域知识少,应用范围广泛,但它具有一个根本的缺点——过早收敛。由于进化策略中选择及交叉等算子的作用,使得一些优秀的基因片段过早丢失,从而限制了搜索范围,使得搜索只能在局部范围内找到最优值,而不能得到满意的全局最优值。

实际研究表明,过早收敛并不仅仅由基本算子造成,控制参数选择不当同样也会造成过早收敛。ES控制参数主要包括种群规模、变异概率 p_m 等。控制参数对系统性能有重要影响。种群规模过小将影响搜索范围,从而得不到最优解,规模过大则使搜索效率降低;变异概率 p_m 越大,则算法的探测能力越强,越容易探测到新的超平面,而个体平均拟合度波动较大;相反, p_m 越小,则算法的开发能力越强,使得较优个体不易被破坏,个体的平均拟合度平稳。

本文在研究中压配电网重构时,综合考虑了上述两类方法的优缺点,提出了多种群并行进化和自适应参数调整相结合的思想,取得较好的效果。

3.1 自适应参数调整

可以从种群的平均拟合度与最优个体的拟合度的关系上近似看出平均拟合度的稳定性。令 f_{\max} 代表某一代种群中最佳个体的拟合度,令 F 代表此代种群的平均拟合度,则 $\Delta = f_{\max} - F$ 。若 Δ 越小,表示种群个体之间的拟合度差别较小,说明此种群达到局部最优的可能性越大,过早收敛的可能性也越大;相反, Δ 越大,表示个体特性分散,拟合度差别较大,因此可以近似地用平均拟合度与最优拟合度之间的差异来反映种群的收敛性程度。这样 p_m 参数也就由 $f_{\max} - F$ 来决定。为了尽量克服过早收敛,当 $f_{\max} - F$ 较小时,调整 p_m ,使其增大;而当 $f_{\max} - F$ 较大时,调整 p_m 值,使其减小,这样实际上 p_m 值应与 $f_{\max} - F$ 成反比,表示如下:

$$p_m = k_1 / (f_{\max} - F) \quad (5)$$

通过上述推导,使得 p_m 在进化中根据种群的实际情况,随时调整其值大小。当种群趋于收敛时,提高 p_m ,增加变异的频率,破坏当前的稳定性,使进化策略具有更强的探测(exploration)能力,从而探测出新的超平面,克服过早收敛;当种群个体发散时,则降低交叉和变异频率,增加开发(exploitation)能力,以使个体趋于收敛。同时,在进化策略中不但要防止个体过早收敛,同时也要保护优良个体,因此在同一代中,对不同的个体,其 p_m 也相应不同。对拟合度高的个体应加以保护,其 p_m 应减小;而对拟合度低的个体,其 p_m 也相应增加,这样在克服过早收敛和避免优秀个体破坏之间选择了折中的方案。因此 p_m 不仅与 $f_{\max} - F$ 有关,而且也应与 $f_{\max} - f$ 和 $f_{\max} - f'$ 有关系,其中 f 为变异个体的拟合度, f' 为两个交叉个体中拟合度大的一个,因此有如下关系:

$$p_m = \begin{cases} k_1 (f_{\max} - f) / (f_{\max} - F), & f \geq F \\ k_2, & f < F \end{cases} \quad (6)$$

式中 $k_1, k_2 \leq 1.0$,并为常数,这些常数的选取对ES的性能有很大影响。由于 $f < F$,即个体拟合度小于平均拟合度,说明个体特性差,因此就增大 p_m ,以使差的个体破坏的可能性增大。

3.2 多种群并行进化模型

在生物学上,多种群组成的群落比单种群群落能更有效地利用环境资源、更持久地维持较高的生产力、更具有稳定性。本文提出多种群并行进化与自适应调整相结合的思想,将原种群按其特性划分为几个子种群。

如表1所示,种群I的特点是其变异概率和交叉概率均比较大,其初始化个体中1的数目多于0的数目,种群规模为 N_1, N_1 在20到40之间。由于此种群的 p_m 相应较大,故此种群称为“探测”子种群。高的 p_m 使ES更易探测到新的超平面,从而增大探测最优个体的可能性,此种群的进化作用在于不断提供新的超平面,克服过早收敛。

种群III的特点是其变异概率比较小,因此称其为“开发”子种群。由于 p_m 相对比较小,因此使ES更易保持个体的稳定性,更易在局部范围内(某一超平面内)寻找到优秀个体,并将优秀个体保存下来,其作用在于尽可能保护优秀个体,其初始化个体中1的数目少于0的数目,规模大小为 N_3 。

种群II则称为探测开发子种群,因为其变异概率 p_m 位于上述两种群之间,其0,1分布相等,种群规模为 N_2 。

种群IV则称为保留子种群,它开始并没有个体,它是由前三类种群进化过程中选取的优秀个体组成的,其作用在于保存前三类种群进化的优秀个体,使之不被破坏,又使个体分布多样性,同时其自身也在进化,其 p_m 均比较小,目的在于保持个体的稳定性和多样性。

种群I, II, III的 p_m 均不是定常值,而是随着个体和种群的不同在不断变化。通过控制 k_1, k_2 的大小,即可控制 p_m 的变化范围,同时每个种群也在不断克服收敛与发散的矛盾。第四类种群是吸收了前三类种群的优秀个体,使其不易被破坏,其 p_m 选择为定常值,且比较小。

表1 种群参数特征

情况	变异	种群规模
种群 I	$0.05 \leq k_1 \leq 0.5, k_2 = 0.05$	N_1
种群 II	$0 \leq k_1 \leq 0.005, k_2 = 0.005$	N_2
种群 III	$0 \leq k_1 \leq 0.001, k_2 = 0.003$	N_3
种群 IV	$p_m = 0.002$	N_4

前三类种群按照各自的进化策略并行进化,同时为了保持个体分布的多样性(见图2),这三类种群之间也要进行个体移植,这样可以吸取其他种群的优点,克服个体趋向;同时还要定期从前三类种群中选择最优秀的个体,划入第四类种群中,这样可以保护优秀个体免遭破坏,同时又吸取了前三类种群的优点,保持了个体的多样性。第四类种群的个体平均拟合度最高且最稳定,此类种群在进化中,也将内部的某些个体移植到前三类种群中进行进化,进化到一定程度,再将前三类种群重新初始化,而保留第四类种群。这样做的目的在于有更多的机会开发出新的超平面,使寻找到最优个体的机会增加。

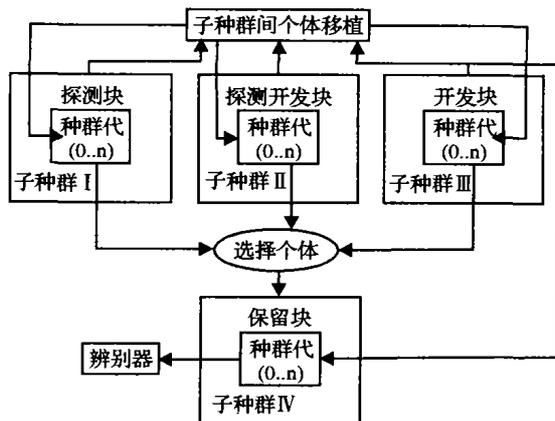


图2 多种群并行进化结构模型

4 自适应并行进化策略的配网重构

进化计算在输电网络的规划和运行上已得到成功实施,而在配电网的应用上还需要进行优化处理才能发挥作用。本文正是根据配电网开环运行(辐射型)这一要求,为加快进化速度,将多种群并行进化策略应用到配电网重构上^[3]。

4.1 初始种群产生

根据上述思想,采用多种群连接节点逐步扩展法,不仅满足随机性要求,而且大大提高了进化速度。具体算法如下:

- 1) 初始化连接节点集合,待选线集体、个体。连接节点集合初始包括根节点,待选线集合包括有且仅有一端节点落在连接节点集合中的线路,个体中所有线路赋0。
- 2) 检查连接节点集合中是否包含所有的节点,如果是则成功产生一可行个体而结束,否则转下步。
- 3) 在待选线集合中随机选择一条线路,记为: $l: N_i - N_j$, 同时把个体相应线路位置赋1。然后修改连接节点集合:如果节点 N_i 不在连接节点集合中,则节点 N_i 加入连接节点集合,否则节点 N_j 加入连接节点集合。
- 4) 重新生成待选线集体,然后转2)步。

4.2 变异操作

进化策略进化中最重要的操作是变异操作。常规变异操作是随机选择串位进行变异。对配电网重构来说,常规变异产生的个体都是不可行的,采用自适应变异操作后算法如下:

- 1) 如果串位由1变0,则把个体分为孤立的两部分 R_1 和 R_2 。形成 R_1 和 R_2 的互连线路集合,在集合中随机选择一条加入个体中(即把该线路对应的串位由0变1)。
- 2) 如果串位由0变1,在个体中形成一条环路,在环路上的其他线路中随机选一条,把该线路对应的串位由1变0。

当用多种群进化策略进行最小网损配网重构时,需要对配网重构数学模型中的不等式约束条件进行处理:通过作为

惩罚函数加入目标函数^[4]。

节点电压不等式约束:

根据以往的经验,在得到的最佳运行方案中,电压经常接近边界,这使得最佳方案不符合实用。因此本文对偏离中心点电压也设计了惩罚函数:

$$h_1(U_i) = \begin{cases} K_{h1}(U_i - U_{imin})^2, & U_i < U_{imin} \\ K_{h1}(U_i - U_{imax})^2, & U_i > U_{imax} \\ K_{h1}(U_i - \frac{U_{imin} + U_{imax}}{2})^2, & U_{imin} \leq U_i \leq U_{imax} \end{cases} \quad (7)$$

线路过载不等式约束:

$$h_2(P_l) = \begin{cases} k_{h2}(P_l - P_{lmax})^2, & P_l > P_{lmax} \\ 0, & P_l \leq P_{lmax} \end{cases} \quad (8)$$

变压器过载不等式约束:

$$h_3(P_t) = \begin{cases} k_{h3}(P_t - P_{tmax})^2, & P_t > P_{tmax} \\ 0, & P_t \leq P_{tmax} \end{cases} \quad (9)$$

$k_{h1}, k_{h2}, k_{h3}, k_{h4}$ 为惩罚因子。其中 k_{h1}, k_{h3}, k_{h4} 作为对偏离运行极限的惩罚,一般取值很大; k_{h2} 主要是使运行电压接近额定电压,取值较小。 $k_{h2} \ll k_{h1}$, 具体取值要根据实际情况,太大会导致找不到可行解^[5]。

5 算例分析

对上述算法应用计算机语言进行实现,并设计下面的算例进行测试。网络重构前的运行方案中:线路12-26,35-36,29-30,25-30断开,其他线路连通。方案重构前计算网损为0.1685 MW。

测试中设计多种群并行进化策略的种群数为10,每个种群的样本数为10;每个种群的进化参数(变异概率、适配值计算方法和进化策略种类等)取值不同。

利用多种群并行进化策略找到的最佳方案的综合网损为0.1104 MW,比重构前降低0.0581 MW,网损降低三分之一多。重构后的配电网运行方案如图3,线路4-5,12-26,27-32,23-29,24-30断开,其他线路连通^[6]。

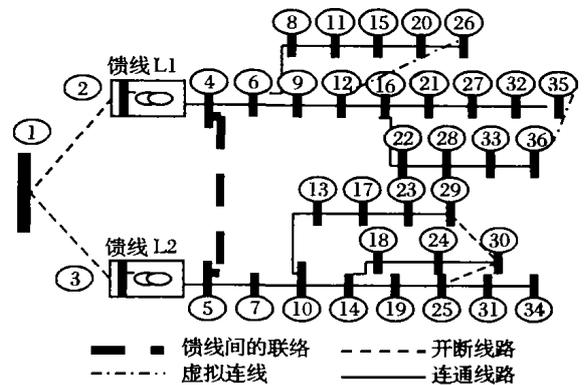


图3 网络重构后得到的配电网运行方案

6 结语

本文从进化策略出发,提出了多种群并行进化及自适应参数调整相结合的思想对中压配电网进行优化重构。算例表明,此种网络重构能极大地降低网损。对于一个实际的、复杂的中压配电网,降低网损的空间更大。由于运行方案优化只需要配置一台计算机,不必添加其他设备,成本很小而能大大降低线损和提高供电可靠性,具有很强的实用价值。

(下转第726页)

但如果我们想打印一个具有图像元素的区域就不容易实现了。在这里介绍采用屏幕截取技术来实现打印内容的获取。主要思想就是将需要打印的区域先保存为一整幅位图,然后对这个位图进行打印。

在实现中将上述功能包装在一个新的位图类中,该类从 CBitmap 类派生。向该类中添加两个成员函数: Capture() 函数用于拷贝屏幕特定区域的内容到一幅位图图像; Print() 函数将位图图像打印到打印机设备(这个打印机设备已经由通用打印类初始化完毕)。此外,为了实现将位图图像打印到打印机,我们还需要一个函数 CreateDIB(), 该函数用于将一个设备相关位图转变为一个设备无关位图,这样位图的颜色在打印机上可以映射成灰度级。

位图类建立好以后,就可以在需要调用打印任务的地方通过建立位图类对象选择需要打印的任意区域进行打印。

再添加一个打印函数,用来将获取的打印内容传入打印组件中进行打印处理:

```
void Print(CDC * pDC, CPrintInfo * pInfo, void * pVoid)
{
    (( CCurrentWnd * ) pVoid) -> OnPrint(pDC, pInfo);
    // CCurrentWnd 为调用打印窗口类
}

```

3.2 打印调用

在调用打印的窗体添加如下代码:

```
...
:: CoInitialize( NULL );
IPrint * MyPrint = NULL;
if( FAILED ( :: CoCreateInstance( CLSID_CPrint, NULL,
    CLSCTX_INPROC_SERVER, IID_IPrint, ( void * * ) &MyPrint)
))
...//如果成功则获取 COM 对象的类厂,创建 COM 对象
return; //否则返回
MyPrint -> CreateFrame( &Printf ); //传入打印函数指针
MyPrint -> Release();
:: CoUninitialize();
...

```

3.3 打印流程图

4 应用实例

按照上述方案设计的通用打印 COM 组件“证件防伪的图形码生成软件”中得到了使用,使用该组件可以方便地实现选定区域的打印与打印预览功能,该实例中的一个关键任务是:设计一个二维图形码生成软件和一个图形码任意打印驱动程序,用高分辨率专用打印设备,将计算机上任意生成的二维图形码按指定的几何形状和面积、微缩打印在规定证件的空白位置上(注:二维图形码在这里实际上是包含彩色照片和汉字信息的袖珍移动数据库)。

(上接第 722 页)

参考文献:

[1] 陈根军,王磊,唐国庆. 基于蚁群最优的配电网重构算法[J]. 电力系统及其自动化学报,2001,13(2):48-53.
 [2] 顾洁,陈章潮,张林. 基于进化策略的无功优化模型研究[J]. 电力系统及其自动化学报,2001,13(3):10-12.
 [3] 伍力,吴捷,钟丹虹. 多目标优化改进进化策略在电网规划中的应用[J]. 电力系统自动化,2000,24(12):45-48.
 [4] 刘莉,陈学允. 基于模糊进化策略的配电网重构[J]. 电力系统

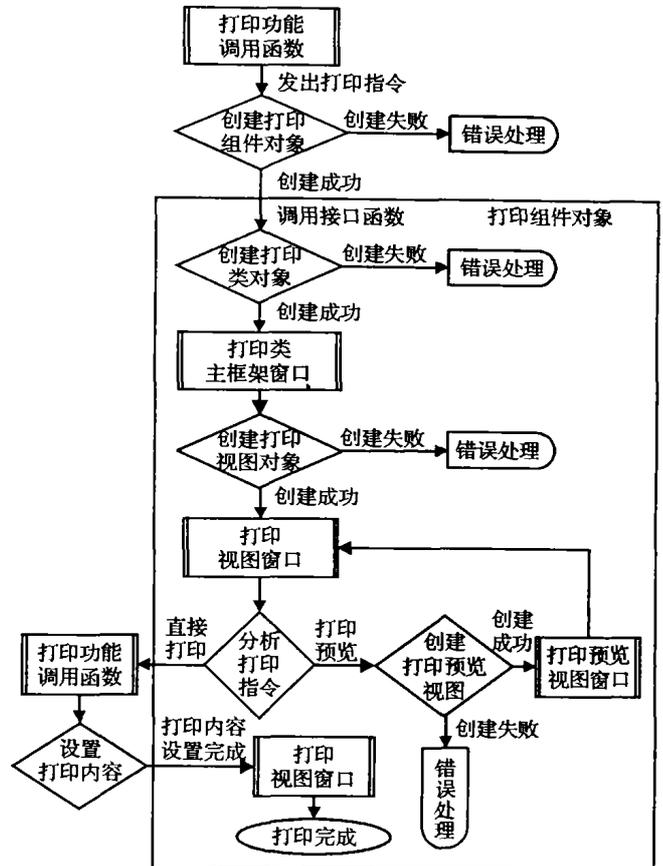


图2 打印组件打印流程图



图3 打印组件打印预览效果图

参考文献:

[1] <http://www.symbol.com/news/pressreleases/nmt.html> [EB/OL], 2003-11-19.
 [2] 李长军. 条码市场演绎“进化论”[J]. 自动识别技术与应用, 2004, (2): 22-24.
 [3] MSDN Library[Z], 2000.
 [4] 侯俊杰. 深入浅出 MFC(第2版)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
 [5] 潘爱民. COM 原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
 [6] LIPPMAN SB. Essential C++[M]. Pearson Education, 1999.
 [7] 朱磊,周彬. Windows 下的 C/C++ 高级编程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.

自动化, 2002, 9(5): 30-34.

[5] QI XF. theory Analysis of Evolution algorithms with an infinite population size in continues space Part 2: Analysis of the diversification role of crossover[J]. IEEE Transactions on Neural Network, 1994, 5(1): 120-129.
 [6] SRINIVAS M. Adaptive probability of crossover and mutation in genetic algorithms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1994, 24(4): 655-667.