

·测试、试验与仿真·

## 基于层叠遗传算法的配电网多层级无源光网络优化

赵国庆<sup>1</sup>, 裴丽<sup>1</sup>, 刘国军<sup>2</sup>, 汪洋<sup>2</sup>, 王智慧<sup>2</sup>

(1.北京交通大学 光波技术研究所, 北京 100044; 2.中国电力科学研究院, 北京 100876)

**摘要:**对于配用电光通信网中无源光网络多层级、多节点网络规划问题,首次提出采用基本遗传算法实现多层级的循环继承的层叠遗传算法。其采用外层分光网络继承内层网络基因用于本层网络的适应度函数选择,该算法解决了多层级无源光(PON)网络各层级分光优化的问题,并且通过仿真证明了其可行性,实现了四层级网络星形结构拓扑优化。优化后的网络获得了最优的星形网络拓扑和通信建设成本的降低。

**关键词:**光纤通信技术;配用电通信;层叠式遗传算法;无源光网络;多级分光优化

中图分类号:TN915.02 文献标识码:A 文章编号:1673-1255(2015)-01-0080-05

## Distribution Network in Multi-layer Level Passive Optical Network Optimization Based on Stacked Genetic Algorithm

ZHAO Guo-qing<sup>1</sup>, PEI-li<sup>1</sup>, LIU Guo-jun<sup>2</sup>, WANG Yang<sup>2</sup>, WANG Zhi-hui<sup>2</sup>

(1. Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. China Electric Power Science Research Institute, Beijing 100876, China)

**Abstract:** According to the planning problem of multi-layer level and multi node passive optical network (PON) in distribution power supply optical communication network, multi-layer level cycle inheritance stacked genetic algorithm based on basic genetic algorithm is proposed for the first time. The outer layer distribution optical network is used to inherit inner layer network gene to choose adaptation function in the layer network. The layer level optical distribution optimization problem of multi-layer level PON is resolved by the algorithm. Simulation results show that the algorithm is feasible and the topology optimization of four-layer level network with star structure is realized. The optimized network obtains the best star structure network topology and the communication construction cost is reduced.

**Key words:** optical fiber communication technology; distribution power supply communication; stacked genetic algorithm; passive optical network (PON); multi-level light splitting optimization

随着承载配电网 PON 技术的不断发展,目前覆盖半径已经可达 20~60 km,非常适合大规模配用电通信络架构<sup>[1]</sup>。无源光网络(passive optical network)的技术特点更适合一次线路且满足未来的配用电通信业务,是配用电通信中主要的通信技术之一,也是实现承载配电网业务的通信系统的最佳技术<sup>[2]</sup>。当前

在配用电通信中,多节点、多层级的无源光网络应用越来越广泛,多层级无源光网络在配用电通信中的应用如图 1<sup>[7]</sup>所示。

目前相关科研人员也针对 PON 网络规划开展了多层次的研究,Poon 等人<sup>[3]</sup>对 PON 规划问题作了全面介绍,包括挑战的描述、设计因素、规划过程、设

收稿日期:2014-12-18

基金项目:国家自然科学基金项目(61275076)支持

作者简介:赵国庆(1989-),男,山东莒南人,硕士研究生,主要研究方向为微波光子学、光通信骨干光传输网络优化。

计目标等。Villalba<sup>[4]</sup>等人利用传统遗传算法优化了PON网络规划问题。陈等人<sup>[5]</sup>利用混合增添遗传算法实现了一级的无源光网络优化。Kokangul等<sup>[6]</sup>使用通用算法解决了一个有两级分光器的数学模型。但是大部分研究成果是面向民用通信领域,未充分考虑配用电通信节点分布广、网络规模大、业务高可靠、架构强灵活等网络业务特点,不能直接用于解决智能配电网通信系统中存在的问题。

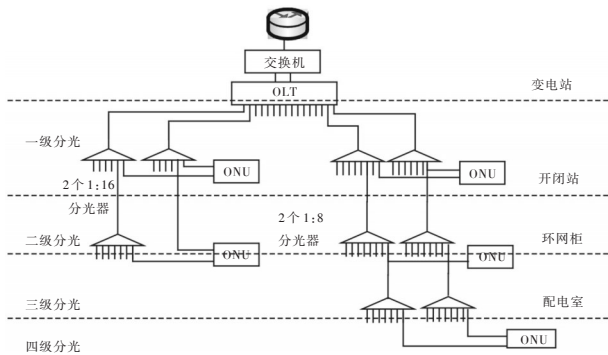


图1 配用电通信中多层次无源光网络拓扑示意图

将对当前配电网通信多节点,多层分光器级联的条件下,采用层叠式遗传算法对多分光器级联的无源光网络拓扑优化算法进行设计,主要解决的问题包括分光器选择和星形网络的构建两个方面,从而获得最优的网络拓扑和最小的通信网建设成本。

## 1 层叠遗传算法

遗传算法<sup>[8]</sup>是美国J Holland教授提出的一类随机搜索算法,它模拟生物界中的自然选择和遗传机制,通过群体搜索策略和个体间信息的交换,在解空间中进行最优解的搜索,因为遗传算法不依赖于梯度信息,隐含有并行算法机制,且兼顾搜索效率和搜索结果,所以特别适合解决传统算法难以解决的问题。它可以根据使用环境的不同产生不同的结果,具有很好的动态性和自适应性,从而能够满足不断变化的网络优化需求。遗传算法在函数及组合优化、生产调度、自动化控制、人工智能、图像处理、机器学习等方面有广泛的应用<sup>[9-10]</sup>。

层叠式遗传算法是在结合基本遗传算法理论基础,使本层级网络继承上一层级网络的基因优化结果,用于本层级网络适应度函数的确定。层叠式遗传算法参数和变量数目繁多,解空间数据量巨大,属于NP-hard问题。本算法将网络规划建立成

数学模型,可以降低计算复杂度,提高可拓展性。层叠遗传算法的算法流程如图2所示。

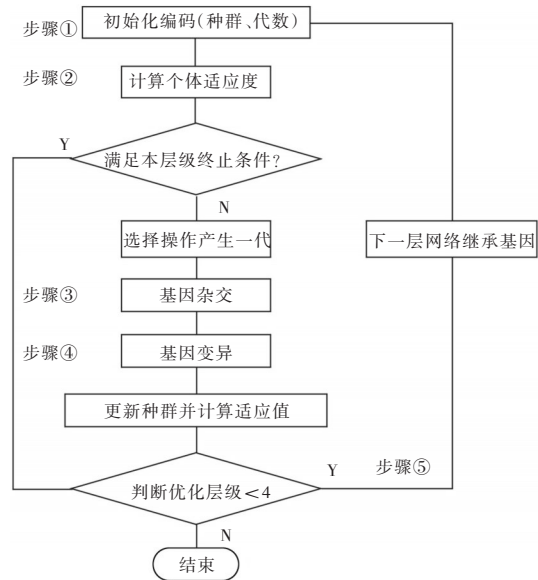


图2 层叠式遗传算法流程图

## 2 数学模型建立

设在需要优化的无源光网络由四级分光网络组成。网络中有一个中心OLT(光线路终端)以及 $M$ 个一级网络OBD(光分光器)、 $N$ 个二级网络OBD2、 $P$ 个三级网络OBD3和 $Q$ 个ONU(光网络单元)。利用遗传算法的群体进化来为下一级网络自动智能选取所连接的OBD $x$ ,最终连接到中心OLT实现网络的连通并使得最终获得的总的通信费用最小。ONU和OBD $x$ 到上一级网络的连接方式都是星型拓扑结构。并且要求每一个下一级网络OBD1只能连接一个上一级网络OBD。每个上一级网络OBD最多连接 $k$ 个下一级网络OBD1。

在这里定义可能的取值为0或1的子集 $X_{ij}$ ,当OBD2通过OBD连接到中心OLT时 $X_{ij}=1$ ,当未连接时 $X_{ij}=0$ 。设OBD $i$ 到OBD $j$ 的距离为 $d_{ij}$ 。OBD到OLT的距离为 $L_j$ 。在 $X_{ij}, L_j, d_{ij}$ 的定义中, $i$ 的取值从1到 $N$ , $j$ 的取值从1到 $M$ ,单位公里长的光缆建设费为 $C_0$ 。通过这种建模方式,将整个无源光通信网络的最小通信费用转化为优化网络,合理分配OBD来获得最小的通信建设成本。用 $Z_2(t, n)$ 表示第二层级网络的建设成本如式(1)<sup>[11]</sup>

$$Z_2(t, n) = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (C_0 d_{ij} + C_0 L_j) \times X_{ij} \quad (1)$$

无源光络的优化必须满足以下条件:每一个下一级网络 OBD1 只能连接一个上一级网络 OBD。

$$\sum_{j=1}^M X_{ij} = 1 \quad i=1, 2, \dots, N \quad (2)$$

每个上一级网络 OBD 最多连接  $k$  个下一级网络 OBD1。

$$0 \leq \sum_{i=1}^N X_{ij} \leq k \quad j=1, 2, \dots, M \quad (3)$$

### 3 层叠遗传算法的多层级优化设计

在多层级网络优化中,层叠式遗传算法的设计主要有编码设计及初始化、适应度函数选择、基因交叉、基因变异、下一级网络基因继承五部分组成。设在所要优化的四层级分光无源网络中有一个中心 OLT(光线路终端)以及  $M$  个一级网络 OBD(光分光器)、 $N$  个二级网络 OBD2、 $P$  个三级网络 OBD3 和  $Q$  个 ONU(光网络单元)。群体  $G(t)$  的第  $t$  代的群体规模为  $S$ 。

#### 3.1 编码设计及初始化群体

在网络优化编码模式中,常见的有边集数组形式和自然编码形式<sup>[12]</sup>,边集数组形式就是用节点间连接边的邻接矩阵来定义。采用自然编码形式,设有 12 个一级网络 OBD(光分光器),20 个二级网络 OBD2,10 个三级网络 OBD3,10 个 ONU(光网络单元), $k=4$ 。由于第一层级分光网络是直接与唯一的中心 OLT 连接,故从第二层分光网络开始优化编码。则第二层级分光网络的初始编码可以表示为:

$$\text{GENE}_2(t, n) = \{2, 3, 5, 1, 6, 8, 9, 1, 4, 12, 11, 1, 10, 7, 8, 2, 4, 5, 3, 4\}$$

编码表示第二层级分光器 OBD2 的第  $n$  个个体  $n=1, 2, 3, 4, \dots, 20$  分别连接到第一层级分光器 OBD 的编号为 2, 3, 5, 1, 6, 8, 9, 1, 4, 12, 11, 1, 10, 7, 8, 2, 4, 5, 3, 4 上面去。这种方案更直观,更适合结合分光器 OBD 在地理位置上的坐标来优化网络。通过这种编码,可以满足第一个约束条件:每一个下一级网络 OBD1 只能连接一个上一级网络 OBD。对于第二个约束条件,还需要建立各级 OBD 的最大连接数控制表  $\text{OBDLimit}(t, n) = \{3, 2, 2, 3, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1\}$  共 10 个元素代表 10 个 OBD 每个的当前连接数量。其他各层级网络的初始编码为:

$$\text{第三层级: } \text{GENE}_3(t, n) = \{11, 1, 10, 7, 8, 2, 4, 5,$$

3, 4\}

第四层级:  $\text{GENE}_4(t, n) = \{6, 8, 9, 1, 4, 2, 5, 1, 3, 7\}$

#### 3.2 适应度函数选择

适应度函数是基于遗传算法的优胜劣汰机制而设计的模拟自然界的自然选择的条件<sup>[5]</sup>。用适应度函数来描述每个个体对环境的适应能力。所以在网络的优化过程中,适应度函数也就是目标函数。适应度大的个体优先选择,适应度小的个体被选中的概率也将会相应的减小。

适应度函数的选择是与当前网络连接状态下总的通信建设费用密切相关的。故第二层级网络的适应度函数可以由式(4)<sup>[10]</sup>表示如下

$$F_2(t, n) = \frac{1}{z(t, n)} \quad (4)$$

#### 3.3 基因交叉

基因交叉操作是指按一定的交叉概率  $P_c$  从父代群体中随机选择两个个体,通过改变两个个体的结构,来生成新的个体<sup>[9]</sup>。交叉操作采用的是单体交叉,选定一对染色体作为 Parent A 和 Parent B,然后随机设置一个交叉点,将 Parent A 和 Parent B 在该交叉点之后的基因全部互换。

交叉前的基因序列:  $\text{GENE}_4(t, n) = \{6, 8, 9, 1, 4, 2, 5, 1, 3, 7\}$  A

$$\text{GENE}_4(t, n) = \{4, 5, 1, 1, 4, 3, 5, 2, 3, 4\}$$
 B

交叉后的基因序列:  $\text{GENE}_4(t, n) = \{6, 8, 9, 1, 4, 3, 5, 2, 3, 4\}$  A'

$$\text{GENE}_4(t, n) = \{4, 5, 1, 1, 4, 2, 5, 1, 3, 7\}$$
 B'

在基因交叉的过程中需要参照  $\text{OBDLimit}$  的值来选择交叉后的基因,是否加入到新一代的群体中。如果  $\max\{\text{OBDLimit}\} > 4$ ,则 Parent A 和 Parent B 将进行重新交叉,直到满足条件。

#### 3.4 基因变异

基因变异的思想源于群体在演化过程中发生的概率为  $P_v$  的基因突变。基因突变的概率比较小,但是这种突变可能会带来非常优秀的群体进化特征,有利于在适应度的选择中提高群体的繁殖概率<sup>[9]</sup>。并且如果当算法陷入局部搜索时,可以通过变异,使个体跳出局部空间,来获得全局的最优化结

果。这里以概率  $P_v$  随机从 Parent A 中取一位基因进行变异操作。在基因变异的过程中也需要参照 OBD Limit 的值来选择变异后的基因,是否加入到新一代的群体中。如果  $\max \{OBD\ Limit\} > 4$ , 则 Parent A 重新变异,直到满足  $\max \{OBD\ Limit\} < 4$  条件。

变异前的基因序列:  $GENE4(t, n) = \{6, 8, 9, 1, 4, 2, 5, 1, 3, 7\} A$

变异后的基因序列:  $GENE4(t, n) = \{4, 8, 9, 1, 4, 2, 5, 1, 3, 7\} A'$

### 3.5 下一级网络基因继承

上一级网络在通过第一代的基因编码,初始化基因序列,遗传过程基因交叉和变异后获得第二代群体数量:

第一代:  $G(t) = S$

第二代:  $G(t+1) = S \times (1 - P_e - P_v) + S \times P_v + S \times P_e$

第三代:  $G(t+2) = G(t+1) \times (1 - P_e - P_v) + G(t+1) \times P_v + G(t+1) \times P_e$  (5)

在经过几百代的进化后,上一级网络获得最优化的网络优化结果,从而下一级网络将继承进化后的基因序列,用于本层网络的适应度函数的选择。所以上一级网络优化的结果将会对下一级网络的群体的优化结果产生很大影响。由第二层网络的基因序列可以得到第三层和第四层的目标函数分别用  $Z_3(t, n)$  和  $Z_4(t, n)$  表示如下

$$Z_3(t, n) = \min \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^M (C_0 d_{ip} \times X_{ip}) + Z_2(t, n) \quad (6)$$

$$Z_4(t, n) = \min \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P (C_0 d_{pq} \times X_{pq}) + Z_2(t, n) + Z_3(t, n) \quad (7)$$

式中,  $X_{ip} = 1$  代表第二层中的第  $i$  点和第三层的第  $p$  点连接;  $d_{ip}$  代表第  $i$  点和第  $p$  点之间的距离;  $X_{ip} = 0$  代表未连接;  $X_{qp} = 1$  代表第三层中的第  $p$  点和第四层的第  $q$  点连接;  $d_{pq}$  代表第  $p$  点和第  $q$  点之间的距离;  $X_{pq} = 0$  代表未连接。

第三层网络和第四层网络的适应度函数  $F_3(t, n)$  和  $F_4(t, n)$  表示如下

$$F_3(t, n) = \frac{1}{Z_3(t, n)} \quad (8)$$

$$F_4(t, n) = \frac{1}{Z_4(t, n)} \quad (9)$$

## 4 仿真优化实例

用 Visual Studio2008 进行层叠式遗传算法的仿真。第一层设置了 12 个 OBD1(分光器),第二层 20 个 OBD2,第三层 10 个 OBD3,第四层 10 个 ONU。每个点的坐标代表 OBDX 和 ONU 在实际工程中的地理位置。利用层叠式遗传算法进行网络中 OBD 的自动选择,其中遗传代数 1 000 代,交叉概率 0.6,变异概率 0.05,每个 OBD 的最大连接数  $k=4$ ,群体的规模大小为 50。经过算法运行 1 000 代以后获得如图 4 所示的仿真实例图。其中带序号的点为每一级 OBD 和 ONU 的编号,五角星代表中心节点 OLT,连线代表无源光网络中的通信光纤。

图 3 是规划前的层叠式算法优化多节点、多层级网络仿真实例图。经过规划后的层叠式算法优化多点、多层级网络仿真实例图如图 4 所示。经过层级优化后的无源光网络在保证每个 OBD 不过载的情况下,获得了很好的星形结构网络,并且在算法遗传 1 000 代后获得了最小的光网络通信建设总费用。

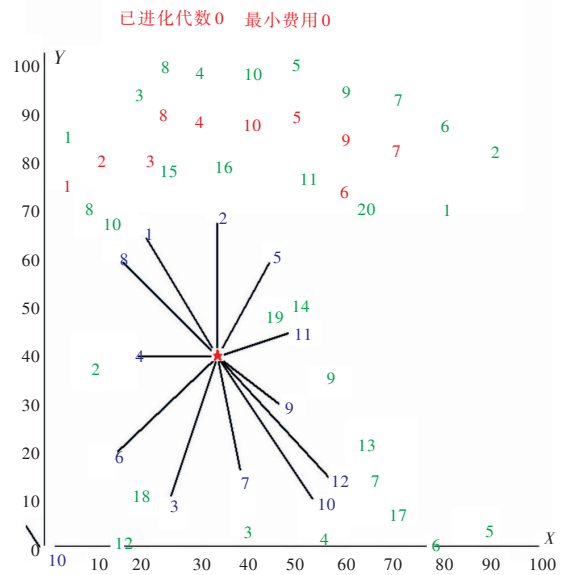


图3 规划前的层叠式算法优化多节点、多层级网络仿真实例图

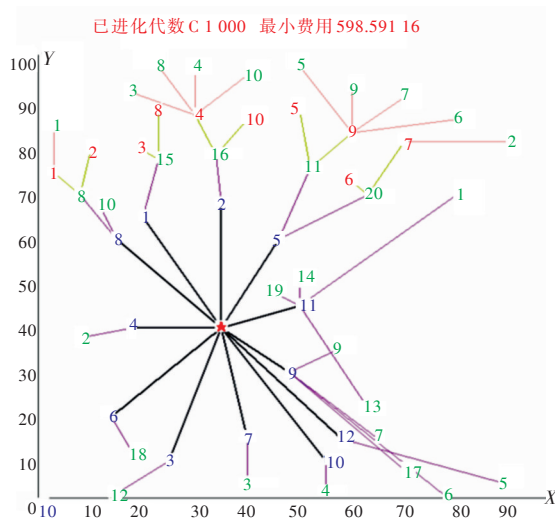


图4 规划后的层叠式算法优化多节点、多层次网络仿真实例图

## 5 结论

结合当前配电网多层次、多节点的现状的基础上,研究传统遗传算法在无源光网络优化中的应用,首次提出在基本遗传算法基础上增加多层次的循环继承的层叠遗传算法。这种层叠式遗传算法能在保证多层次分光星形网络拓扑的基础上自动选择分光器,获得比较好的网络优化拓扑,并且使得整个网络的通信建设费用最小,解决了之前研究传统遗传算法只用于单层网络优化的问题,对配电网和公用光通信网的多层次的网络优化有重要意义。

## 参考文献

[1] Roy R, Kramer G, Hajduczenia M. Performance of 10G-EPON

[J]. IEEE Communications Magazine, 49(11):78-85.

- [2] 郑汝波. 光纤通信技术在电力系统中的应用[J]. 科技创新与应用, 2013, 2(2):46-47
- [3] Poon K F, Mortimore D B, Mellis J. Designing optimal FTTH and PON networks using new automatic methods. In Proceeding of 2nd Institution of Engineering and Technology International Conference on Access Technologies, 2006:49-52.
- [4] Villalba T V, Rossi S M, Mokalzel M P, et al. Design of passive optical networks using genetic algorithm[J]. In Proceeding of SBMO / IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), 2009: 682-686.
- [5] 陈亚华, 刘锦高. 基于混合增添遗传算法的无源光网优化规划[J]. 通信学报, 2002, 23(6):82-89.
- [6] Kokangul A, Ari A. Optimization of passive optical network planning[J]. Applied Mathematical Modeling, 35 (7): 3345-3354.
- [7] 曾瑞江, 张晓平, 柳慧超, 等. 无源光网络和工业以太网交换机技术在配电网分布式控制中的应用研究[J]. 广东电力, 2012(5).
- [8] 李敏强, 寇纪淞. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [9] 陈国良. 遗传算法及应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- [10] 边霞, 米良. 遗传算法理论及其应用研究进展[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(7):2425-2429.
- [11] 沐士光. 遗传算法在网络优化问题中的研究与应用[J]. 计算机仿真, 2010, 27(5):128-131.
- [12] 葛继科, 邱玉辉, 吴春明. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(10):2912-2914.

## 本刊声明

《光电技术应用》期刊投稿电子信箱已变更为 nloe@vip.163.com, 原投稿电子信箱 neiet@jzptt.ln.cn 已停止使用, 请作者按新的电子信箱投稿。凡向期刊投稿的作者, 请按照刊登论文的格式要求写稿, 本刊拒绝一稿多投, 敬请作者自觉遵守。