



基于 QoS 的电力光纤到户网络规划方法

邵帅^{1,2}, 尚志军^{1,2}, 王忠锋^{1,2}, 辛国良³, 李悦悦⁴, 孔祥余⁵, 彭绪静⁶

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016;

2. 中国科学院机器人与智能制造创新研究院, 辽宁 沈阳 110016;

3. 国网辽宁省电力有限公司, 辽宁 沈阳 110004; 4. 国网沈阳供电公司, 辽宁 沈阳 110811;

5. 北京国电通网络技术有限公司, 北京 100070;

6. 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

摘要: 提出了一种基于 QoS 的电力光纤到户网络规划方法。首先, 结合不同建筑物的配电结构进行具有针对性的光网络单元 (optical network unit, ODN) 线路路径设计; 然后, 以通信成本为优化目标, 以接入容量、可靠性、时延等为约束条件, 建立最优化问题模型, 并采用智能算法进行求解; 最后, 核算所规划网络的光路衰减, 以满足实际应用需求。仿真结果表明, 提出的基于 QoS 的电力光纤到户网络规划方法可以在保证业务可靠性、时延要求的前提下, 节约网络建设成本。

关键词: 电力光纤到户; OPLC; 网络规划; QoS; 网络可靠性

中图分类号: G304

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019092

A QoS-based network planning method for power fiber to the home

SHAO Shuai^{1,2}, SHANG Zhijun^{1,2}, WANG Zhongfeng^{1,2}, XIN Guoliang³,

LI Yueyue⁴, KONG Xiangyu⁵, PENG Xujing⁶

1. Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

2. Institutes for Robotics and Intelligent Manufacturing, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

3. State Grid Liaoning Electric Power Supply Co., Ltd., Shenyang 110004, China

4. State Grid Shenyang Electric Power Supply Company, Shenyang 110811, China

5. Beijing Guodiantong Network Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China

6. China State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract: A QoS-based network planning method for power fiber to the home was proposed. Firstly, the distribution structure of different buildings was combined to carry out targeted ODN line path design. Secondly, in the ONU packet cluster planning stage, in order to meet the QoS requirements of multi-service differentiation, the communication cost as the optimization goal was used, and the optimization problem model was established with the constraints of ac-

收稿日期: 2018-09-20; 修回日期: 2019-04-23

通信作者: 尚志军, shangzj@sia.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2016YFB0901200)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2016YFB0901200)

cess capacity, reliability and delay. At the same time, intelligent algorithms were used to solve the optimization problem model. Finally, the optical path attenuation of the planned network was calculated to meet the actual application needs. The simulation results show that the proposed QoS-based network planning method for power fiber to the home can save network construction cost while ensuring service reliability and delay requirements.

Key words: power fiber to the home, OPLC, network planning, QoS, network reliability

1 引言

电力光纤到户 (power fiber to the home, PFTTH) 网络利用光纤复合低压电缆 (optical fiber composite low-voltage cable, OPLC), 将光纤随低压电力线敷设, 配合 EPON 等无源光网络技术, 支持电力流和信息流的同步传输。不仅能够实现电网与用户的双向互动, 还能够实现三网业务的融合, 是接入网的重要解决方案之一^[1]。但是, 由于光电交叉影响、光电多次分离等特性, 导致电力光纤到户网络规划中存在限制条件多、影响因素复杂等问题。现有 EPON 规划方法仅面向任意布局的光网络^[2-4], 没有考虑实际配电网络结构, 无法直接应用在电力光纤到户场景; 而当前针对电力光纤到户组网模式的相关工作大多是综述类讨论^[5-8], 没有涉及数学模型的精准计算规划。

电力光纤到户网络规划中的关键问题是 ODN 线路路径规划和 ONU 分组集群规划问题。首先, 在 ODN 线路路径规划方面, 由于配电网中的电力电缆、光缆线路是沿配电网一次线路建设的, 因此 ODN 线路路径直接与配电网结构有关, 其规划应当充分结合不同建筑物的电气结构特点^[9]; 其次, 在 ONU 分组集群规划方面, 电力光纤到户网络具有节点数量多、分布密集、业务交互频繁等特点, 为了保障各类业务的 QoS, 对网络可靠性和实时性等提出了更高的要求; 最后, 提高网络经济性, 降低建设和运营成本也是网络规划优化的重要目标。针对以上需求, 本文提出一种基于 QoS 的多场景电力光纤到户网络规划方法, 为多场景、多业务的电力光纤到户网络提出了一个更具配电相关性、

网络可靠性和经济性的规划策略。

2 电力光纤到户网络规划模型

电力光纤到户网络规划模型包括如下 3 步。

(1) 在 ODN 线路路径规划阶段, 结合多场景下不同建筑物的电气结构进行针对性的 ODN 线路路径设计, 以实现电力电缆、光缆线路和配电网结构规划的一致性。

(2) 在 ONU 分组集群规划阶段, 以通信成本最优为目标, 并基于业务 QoS 需求, 考虑接入容量、可靠性、时延等约束条件, 建立 ONU 集群数学模型, 并运用遗传算法求解。

(3) 采用最坏值方法对所设计的网络进行光路衰减值核算, 以符合实际应用需求。

2.1 多场景 ODN 线路路径规划

电力光纤到户网络由 OLT (光线路终端)、ONU (光网络单元) 和 ODN (光分配网络) 3 部分组成, 其中 ODN 被 OLT、光缆分配点、用户接入点和 ONU 4 个节点分成 3 个线缆段, 依次是馈线光缆、配线光缆、入户光缆, 如图 1 所示, 不同的线缆段具有对应的线缆类型及敷设方式。

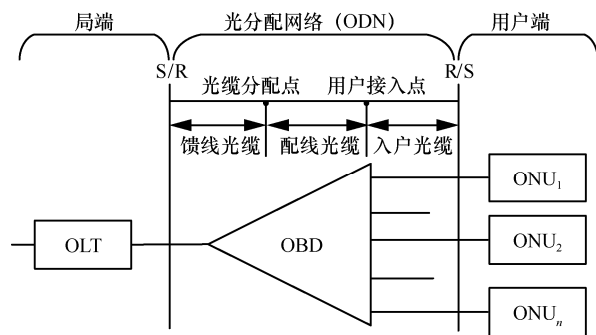


图1 ODN 结构示意图

ODN 线路路径要充分考虑目标区域的住宅



类型和网络路由特点,但不同的用户住宅建筑物的各个电气节点位置和配电设备各不相同,必定造成网络中 ODN 各线缆段路径不同,因此需要根据不同楼宇建筑配电网结构特点制定不同的建设方案。本文提出多场景 ODN 线路路径规划方法。首先,确定目标区域的住宅类型,分析对应的建筑物配电结构,包括电气节点位置、配电设备类型、电缆敷设路径;然后,依据电缆敷设路径,规划电力光纤到户中 ODN 敷设 OPLC 线缆的路径;最后,依据配电结构的电气节点位置和配电设备,确定 OPLC 光电分离、光缆接续的位置,按照用户需求安装配线架和分光器,完成光纤入户。下面分别给出塔楼、别墅、农村等场景下 ODN 线路路径规划方案。

2.1.1 塔楼 ODN 路径方案

塔楼的配电结构通常为单(双)强电井、多段供电方式,一般楼宇地下室设置 1 个(双强电井为 2 个)低压楼宇配电间,楼宇配电间通过强电竖井并采用多段 T 接供电方式为楼宇供电,其主要电气节点和设备包括:小区配电室、楼宇配电柜、楼层配电箱、家庭配电箱等。针对塔楼的电气结构特点,规划其 ODN 线路路径如图 2 所示。

塔楼电力光纤到户的 ODN 路径方案为:先从配电室 OLT 到楼宇配电间,再沿强电竖井敷设至楼层配电箱的光缆分配点,最后经过用户电表至用户家庭配电箱这一路径敷设 OPLC。塔楼建筑在配电室、楼层配电箱、用户家庭配电箱等位置进行光缆接续,按照用户需求安装配线架及分光器,完成光纤入户。

2.1.2 别墅 ODN 路径方案

别墅区通常面积较大,负荷点多且分散,其配电结构通常以小区配电室为中心,向周边用户住宅处采用放射式配电方式。其主要电气节点和设备包括小区配电室和家庭配电箱。针对别墅的电气结构特点,规划其 ODN 路径如图 3 所示。

别墅电力光纤到户的 ODN 路径方案为:由小区配电室 OLT 开始,经配线柜分线至各户家庭配电箱处,再经过用户电表至用户家庭配电箱敷设 OPLC。在配电室、用户家庭配电箱等位置进行光缆接续,按照用户安装配线架及分光器,完成光纤入户。

2.1.3 农村 ODN 路径方案

农村配电结构通常采用电缆架空方式至各村落集中居民区落地点,主要电气节点和电气设备有村落配电箱和集中居民区落地点配电箱。针对农村的电气结构特点,规划其 ODN 线路路径如图 4 所示。

农村电力光纤到户的 ODN 路径方案为:沿村落配电箱分线架空敷设 OPLC 至各村落集中居民区落地点。在村落配电箱处将 OPLC 中光纤与电缆分离,接入配线架,按用户需求配置分光器进行分光。自配线架敷设光缆至各村落或居住密集区,选择适合位置安放配线箱,光缆成端接入配线架,在配线箱处加装公共 ONU。由公共 ONU 至用户终端可按用户需求,选择不同方式接入,如光纤、五类线双绞线、无线覆盖或 PLC 宽带技术等。

2.2 基于 QoS 的 ONU 集群规划

2.2.1 问题模型

在电力光纤到户网络中,完成了 ODN 的线路路径规划后,进一步需要进行终端侧的 ONU 集群规划,即光分支器(OBD)和光网络单元(ONU)的分配连接问题。使用无向图 $G(E, L)$ 表示网络拓扑结构,其中 E 和 L 分别表示该网络的节点集和链路集,则 ONU 集群规划网络模型设定如下。

(1) ONU 集群规划的成本目标函数

假设在电力光纤到户网络中有 N 个 ONU,对应编号分别设为 $X_1, X_2, \dots, X_N$,有 M 个 OBD,对应编号分别设为 $Y_1, Y_2, \dots, Y_M$,那么电力光纤到户网络规划的目标就是将所有的 ONU 与 OBD 连接、再把 OBD 连接到 OLT 的通信最优成本,如式(1)所示:

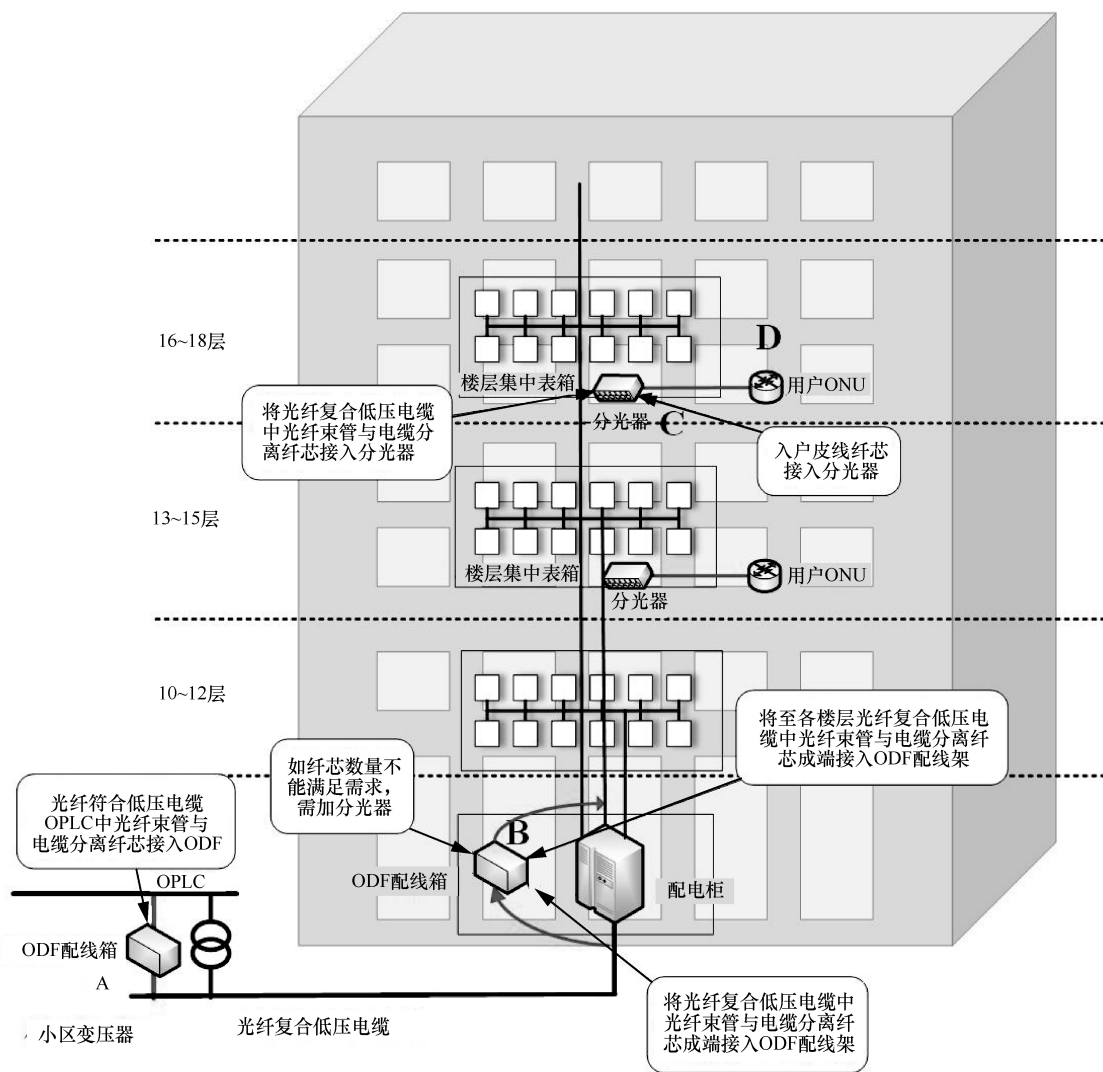


图2 塔楼 ODN 路径方案示意图

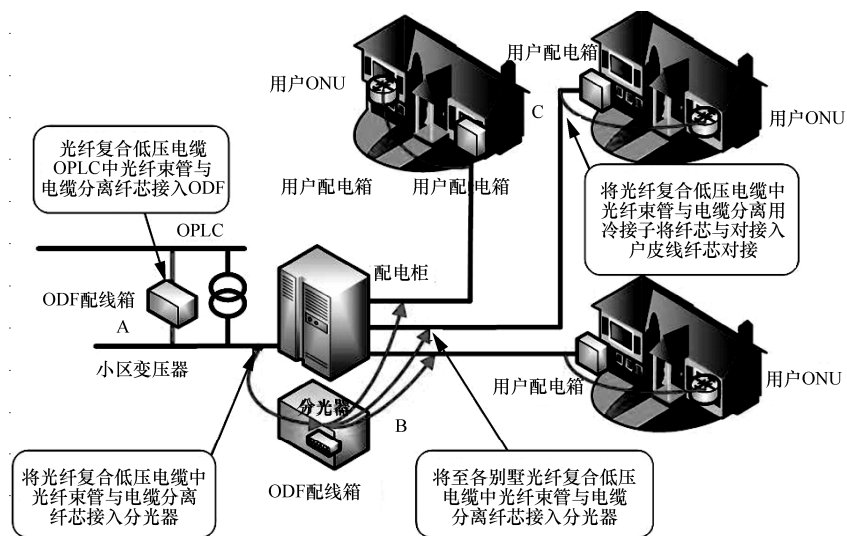


图3 别墅 ODN 路径方案示意图

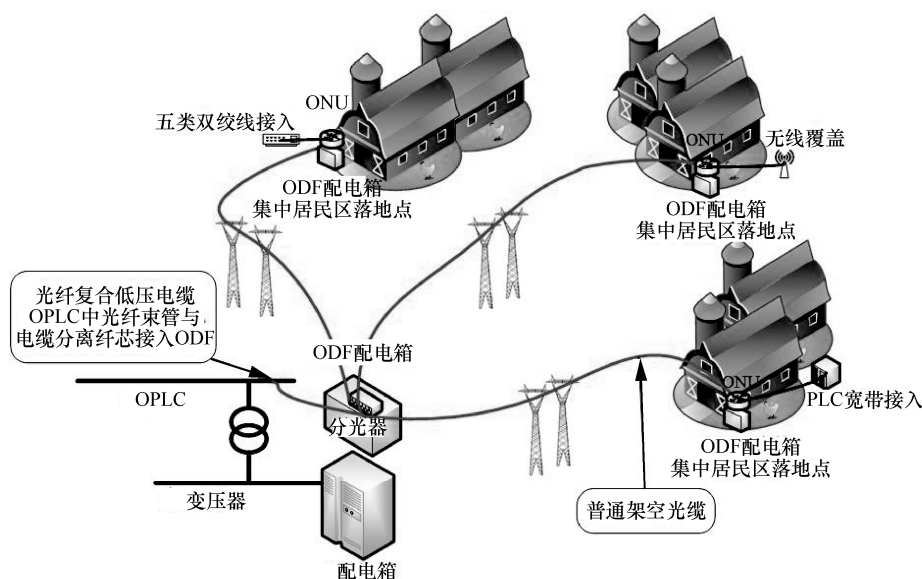


图4 农村 ODN 路径方案示意图

$$C(t, n) = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (l_{ij} \cdot p + L_j \cdot P) \cdot X_{ij} \quad (1)$$

其中, l_{ij} 为 ONU_i 到 OBD_j 的距离, p 为 ONU 连接 OBD 的线缆价格, L_j 为 OBD_j 到 OLT 之间的距离, P 为 OBD 连接 OLT 的线缆价格。 X_{ij} 表示 ONU_i 是否已通过 OBD_j 连到 OLT (其值为 1 表示已连接, 0 表示未连接), $C(t, n)$ 表示各个 ONU 通过 OBD 连接至 OLT 的通信费用路径和, ONU 集群模型如图 5 所示。

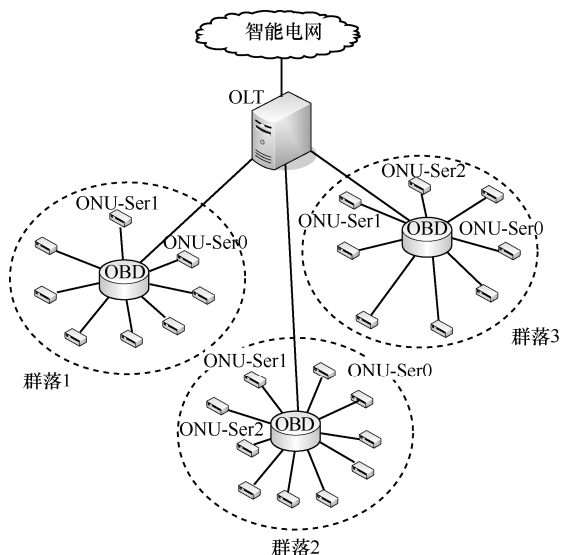


图5 基于 QoS 的 ONU 集群规划模型

(2) 接入容量限制

OBD 连接 OLT 和 OBD 连接 ONU 的所有连接均是点状和星状结构, 因此接入容量满足下面两个条件: 每一个 OBD 所连的 ONU 数量有限, 不超过设定的阈值 K_0 ; 每个 ONU 均只连接一个 OBD , 如式 (2)、式 (3) 所示。

$$K = \sum_{i=1}^M X_{ij} \leq K_0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^M X_{ij} = 1 \quad (3)$$

其中, X_{ij} 表示 ONU_i 是否已通过 OBD_j 连接到 OLT (其值为 1 表示已连接, 0 表示未连接), M 为 OBD 的个数。

(3) 多业务分级加权可靠性约束

考虑电力光纤到户网络用户的业务需求不同, 且每种业务所要求的服务质量有所差异, 所以为了保证业务的 QoS, 对多业务进行等级划分。设定 Ser1 为高优先级业务, 例如远程控制和保护类业务, 其时延敏感, 可靠性要求高; Ser2 为中优先级业务, 例如流媒体视频业务、广播多播业务, 其时延要求比较高, 可靠性要求不高; Ser3 为低优先级业务, 如智能抄表业务等, 该类业务

对时延不敏感。

在实际网络中,高优先级业务的 ONU 终端规划在一个群落中的比例越高,越能提高整个网络的服务质量和可靠性。由于本文的 ONU 集群规划中,每个群落中心为一个分光器 OBD,先计算一个群落的多等级业务可靠性,即每种业务所占比例的加权和如式(4)所示,其约束条件如式(5)所示。

$$r = \sum_{k=1}^X (s_k \cdot \frac{n_{jk}}{n_j}) \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} s_k > s_{k+1}, k \in \{1, 2, \dots, X\} \\ s_1 = 1 \end{cases} \quad (5)$$

其中, n_{jk} 表示以 OBD_j 为中心的群落里业务等级为 Ser_k 的 ONU 数量, n_j 表示以 OBD_j 为中心的群落里所有业务的 ONU 数量。X 表示业务等级的分级数量,本文设定为 3 个等级, s_k 表示业务等级为 Ser_k 的加权,等级越高的业务加权值越大。式(5)定义了群落中的业务等级越高且占比越大,则群落可靠性越高,且当一个群落中的全部业务均为最高等级 s_1 时,则单个群落的可靠性为 1。

因此,电力光纤到户网络中多等级业务的整体网络可靠性 R 可以定义为所有以 OBD 为中心群落的可靠性均值,如式(6)所示。

$$R = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^M r = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^M \sum_{k=1}^X (s_k \cdot \frac{n_{jk}}{n_j}) > R_0 \quad (6)$$

其中, M 为总的 OBD 个数,电力光纤到户网络可靠性 R 应当大于设定的阈值 R_0 。

(4) 网络平均时延

同时,考虑网络的时延,业务流从 OLT 局端到 ONU 终端的总时延,主要考虑链路中的传输时延以及 ONU 在汇聚节点 OBD 的业务处理时延。

首先,定义 ONU_i 的网络时延为 d_i ,表示 ONU_i 等待前面队伍传输处理完成时间和自身传输处理时间和,如式(7)所示:

$$d_i = \sum_{w=0}^W (t_i^w + d_i^w) \quad (7)$$

其中, W 为 ONU_i 排队时前面等待处理的队列长度, t_i^w 为 ONU_i 前面第 w 个 ONU 的传输时间, d_i^w 为 ONU_i 前面第 w 个 ONU 的处理时间,当 w=0 时, t_i^w 、 d_i^w 分别表示 ONU_i 自身的传输时间和业务处理时间。

因此,可以定义电力光纤到户网络平均时延如式(8)所示:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{w=0}^W (t_i^w + d_i^w) < D_0 \quad (8)$$

其中, N 表示 ONU 的个数,网络平均时延计算的是所有 ONU 的平均时延,应当小于设定的阈值 D_0 。

综上所述,构建 ONU 集群模型以通信费用最小成本为目标函数,限制条件为接入容量、网络可靠性和网络时延限制,因此得到完整数学模型如式(9)所示:

$$\begin{cases} C(t, n) = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (l_{ij} \cdot p + L_j \cdot P) \cdot X_{ij} \\ K = \sum_{i=1}^M X_{ij} \leq K_0, \sum_{j=1}^M X_{ij} = 1 \\ R = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^M \sum_{k=1}^X (s_k \cdot \frac{n_{jk}}{n_j}) > R_0 \\ D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{w=0}^W (t_i^w + d_i^w) < D_0 \end{cases} \quad (9)$$

在目标函数中, $C(t, n)$ 表示将所有的 ONU 群落化连接至 OBD,再连接到 OLT 的线缆部署成本,其在满足约束条件前提下越小越好。在约束条件中,接入容量 K 表示每一个群落里 OBD 所连的 ONU 数量,应该不超过一定的限制, X_{ij} 表示 ONU_i ($i=1, 2, 3, \dots, N$) 是否连接 OBD_j ($j=1, 2, 3, \dots, M$),每个 ONU 均只连接一个 OBD;网络可靠性 R 表示所有 OBD 群落里多等级业务 ONU 群落化可靠性的均值,应当大于设定的阈值;平均时延 D 表示所有 ONU 终端的业务流到达 OLT 的时延平均值,应当低于设定的时延阈值。 K_0 、 R_0 、 D_0 分别是单个 OBD 可连接的



ONU 数量阈值、网络平均可靠性阈值、网络总时延阈值。在规划时,可以根据不同的 QoS 需求分别进行相应的调整,最后采用遗传算法求该模型最优解。

2.2.2 智能算法求解

采用预设的遗传算法,根据约束条件参数对预设的 ONU 集群规划成本目标函数进行求解的描述如下。

(1) 染色体编码

本遗传算法的染色体表示每个分光器 OBD 与光网络单元 ONU 的连接方式。染色体编码部分为长度为 N 的整数编码,依次表示 ONU 终端接入的 OBD 编号,即确定分组方式,同时确定 ONU 汇聚节点 OBD 建设位置和数量。考虑到光纤长度限制,每个终端仅选择距离其最近的 3 个 OBD 节点连接。

(2) 适应度函数

适应度函数由成本、接入容量、网络可靠性、时延共同决定,其表达式为:

$$f(S_v) = \begin{cases} A - C(S_v), N' \geq N, \bar{t} < t_0, R > R_0 \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

其中, $f(S_v)$ 表示染色体的适应度函数值; A 是一个大数,其保证染色体的经济成本值始终为正, $C(S_v)$ 是一个染色体 S_v 对应的成本目标函数值;由式 (10) 可以看出,只有同时满足接入容量限制、网络可靠性和网络时延的条件时,染色体适应度才有值,否则为 0。

根据选择算子进行染色体选择操作,选择染色体时,采用正比染色体亲和度的方法,即:

$$Q(S_v) = \frac{f(S_v)}{\sum_{v=1}^{N_s} f(S_v)} \quad (11)$$

其中, $Q(S_v)$ 是染色体 S_v 的选择概率, $f(S_v)$ 是染色体的适应度函数值。

(3) 交叉操作

种群通过交叉操作获得新的染色体,从而推

动整个种群向前进化。交叉操作首先从种群中随机选取两个染色体,然后随机选择交叉位置进行交叉。

(4) 变异操作

种群通过变异操作获得新的个体,从而推动整个种群向前进化。变异算子首先从种群中选取变异个体,按照变异概率进行基因的变异。

2.3 所规划网络的光路衰减核算

在实际应用中,应采用最坏值法,对所规划的 PFTTH 网络中最远用户终端进行光通道衰减核算,使其符合系统设备 OLT 和 ONU 的 PON 口的光功率预算要求。光路衰减 P 计算式如式 (12) 所示,在 EPON 组网模式下,光通道链路衰减 P 宜为 13~25 dB^[10]。

$$P = L \times a + n_1 \times b + n_2 \times c + n_3 \times d + e + f \quad (12)$$

其中, L 为光纤总长 (km), a 为光纤每千米衰减 (dB), n_1 为熔接点数目, b 为熔接点损耗 (dB), n_2 为机械接续点数目, c 为机械接续点损耗 (dB), n_3 为连接器数目, d 为连接器损耗 (dB), e 为光分路器损耗 (dB), f 为工程余量 (dB)。

综上所述,基于 QoS 的多场景电力光纤到户网络规划完整流程如图 6 所示。对于给定的待规划建筑物的电气结构后,主要进行如下规划步骤。首先,基于建筑物的配电结构,对应本文塔楼、别墅、农村等路径方案,规划其 ODN 各段线路路径;然后,进一步完成 ONU 的分组集群数学规划,包括设定 OLT 经 OBD 到 ONU 的光网络线路成本为目标函数,设定 ONU 集群接入容量约束、多业务分级可靠性约束、网络平均时延约束等限制条件,得到完整规划模型,采用遗传算法求最优解;最后,将所规划的网络进行光通道衰减核算,若符合光衰要求则输出电力光纤到户网络规划结果,若不符合光衰要求,则重新设定约束参数进行最优解求解,直到得到符合要求的网络规划结果。

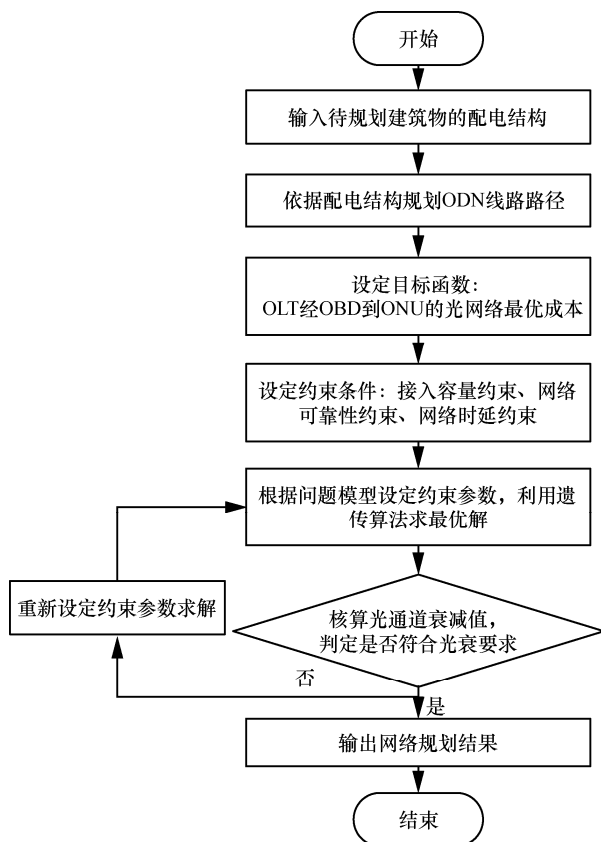


图6 基于 QoS 的多场景电力光纤到户网络规划流程

3 仿真和结果

3.1 以典型塔楼住宅为实例的 ODN 路径规划 以最经典的塔楼住宅为实例规划电力光纤到户

网络，如图7所示，PFTTH网络中OLT局端一般设置在小区10 kV配电室或110 kV变电站，光缆分配点通常设置在楼宇配电室，用户接入点通常设置在楼层配电室，ONU终端一般设置在家庭配电箱^[5]。ODN的线路路径及线缆类型为：由小区10 kV配电间沿电缆沟、槽敷设至楼宇配电间的馈线光缆敷设三相光纤复合低压电缆；由楼宇配电间沿楼宇强电井垂直布放OPLC至各用户接入点的配线光缆敷设三相光纤复合低压电缆；主要用于三网融合业务，迁入用户家里的入户光缆选用2芯皮线光缆。

完成如上的网络线缆规划后，再根据实际用户数及本发明提出的基于QoS的ONU集群规划数学模型进行具体配置设计。

3.2 基于 QoS 的 ONU 集群规划仿真

本文第2节的步骤1提出的多场景ODN线路路径规划和步骤3对已规划网络的光路衰减核算主要用于实际场景下的应用指导。因此对步骤2的ONU集群规划数学模型进行仿真验证。

首先，探讨网络可靠性、时延两个约束参数与建设成本目标函数的关系，模拟场景为60个ONU，每个ONU随机对应本文3种等级业务中的一种，单个OBD接入容量 $K_0=10$ ，得到仿真结果如图8、图9所示。

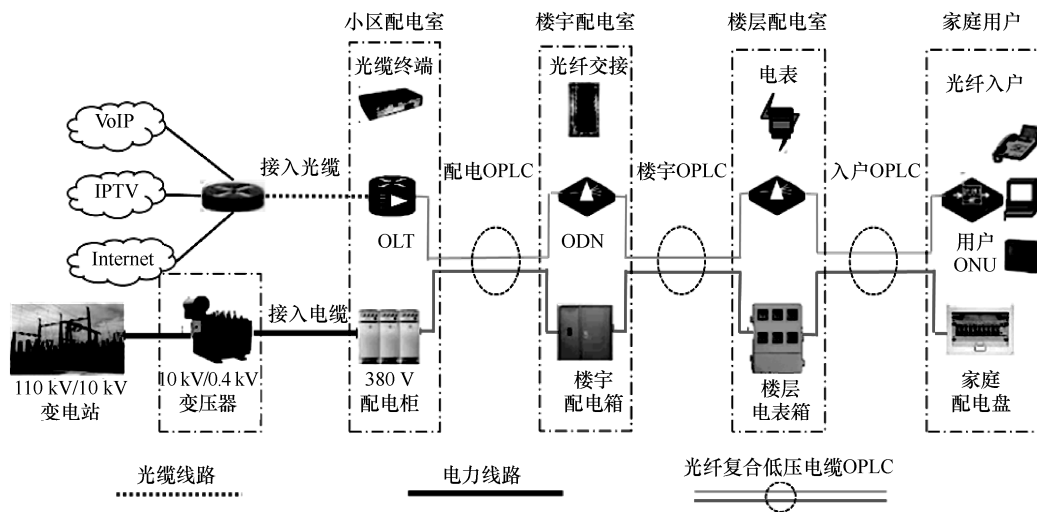


图7 典型塔楼电力光纤到户路径规划实例

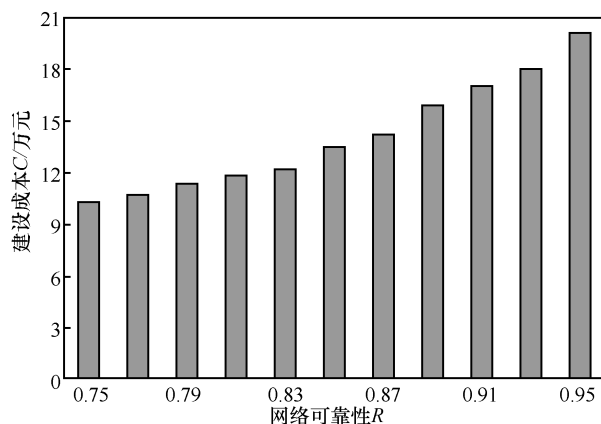


图8 网络可靠性与建设成本的关系

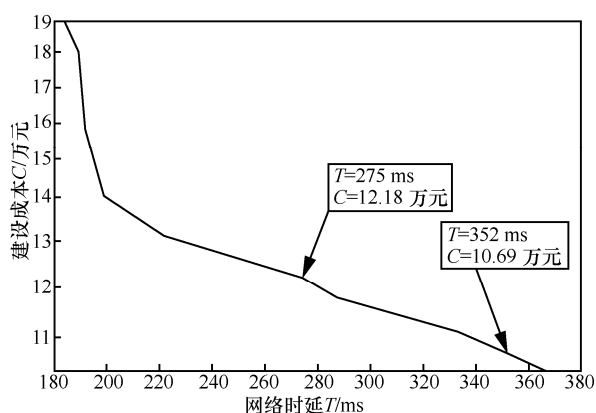


图9 网络时延与建设成本的关系

只考虑网络可靠性对建设成本的作用, 设定接入容量 $K_0=10$ 、 $D_0=300$ ms, 调整网络可靠性 R 的值, 图 8 显示网络建设成本随着网络可靠性的提高而提高。单独考虑网络时延对建设成本的约束作用, 设定接入容量 $K_0=16$, $R_0=0.8$, 仿真结果如图 9 所示, 调整网络时延阈值 T 的值, 随着网络时延的增大, 建设成本逐渐减小。由以上两

个约束条件对目标函数的单独作用效果可知, 业务 QoS 质量需求越高 (即时延小、可靠性高), 则电力光纤到户 ONU 集群规划的建设成本也就越高, 要在优化成本目标函数的前提下兼顾业务 QoS 需求, 需要合理设定 QoS 需求各参数的比重。

为了探究网络可靠性和网络时延对建设成本的具体综合作用, 提取几组典型实验结果, 见表 1。控制可靠性与时延约束比重, 实验 3 在网络可靠性达到 0.871 1 时, 还能保证业务的传输时延小于 200 ms, 并且网络成本相对实验 4、实验 5 较低, 可见本方法可以获得兼顾经济性和保障业务 QoS 的网络规划方案。

除了建设成本, 业务的 QoS 指标也是评估规划算法有效性的另一个重要指标。并且满足业务 QoS 要求, 也是设置优化规划策略的前提。因此本文在控制网络可靠性分别为 0.7、0.8、0.9 3 个定值, 同时网络负荷变化的情况下, 考察各业务类的网络平均传输时延, 得到结果如图 10 所示。从图 10 可以看出, 当可靠性一定时, 随着网络负荷 ONU 数量升高, 网络平均时延逐渐增大, 这是因为在电力光纤到户网络中采用时分复用方式进行业务传输, 业务排队数量增多导致时延增大。当网络负荷 ONU 数量一定时, 网络可靠性要求越高, 网络平均时延越大, 这是因为可靠性要求越高, 即规划时保障单个群落内相同等级业务比例越高, 群落划分时不以最短路径为主要准则, 使单个业务传输时延增大进而增大了整体网络时延。

表 1 网络可靠性和平均时延对建设成本的综合作用实验结果

编号	可靠性阈值 R_0	平均时延阈值 D_0	可靠性 R	平均时延 T /ms	成本 C /万元
实验 1	0.75	—	0.772 6	352	10.69
实验 2	0.80	300	0.810 2	287	11.76
实验 3	0.85	200	0.871 1	199	14.36
实验 4	0.88	200	0.891 5	191	15.77
实验 5	0.90	200	0.910 2	188	17.99

可见要实现网络平均时延的保障,需要控制好网络负荷大小,也需要调整好与网络可靠性要求的均衡,才能合理保障业务的服务质量。

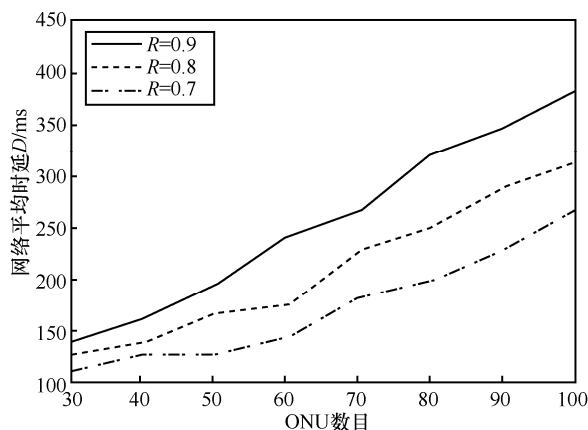


图10 网络平均时延 T 与 ONU 数目、可靠性 R 的关系

为了探讨本文基于 QoS-成本最优的 ONU 集群规划算法的有效性,与只考虑成本最优部署算法(后文称为成本最优算法)和随机部署两种算法进行对比,设定 ONU 个数依次为 60、80、100,且每个 ONU 随机对应的本文 3 种业务等级中的一种,单个 OBD 接入容量阈值 $K_0=10$ 。分别探讨两种算法的建设成本与网络平均时延随 ONU 个数变化的效果。

不同算法建设成本对比如图 11 所示,不同算法网络平均时延对比如图 12 所示。由图 11 和图 12 可见,只考虑成本最优算法虽然建设成本最低,但由于只考虑经济性,单个群落 ONU 数量较多反而

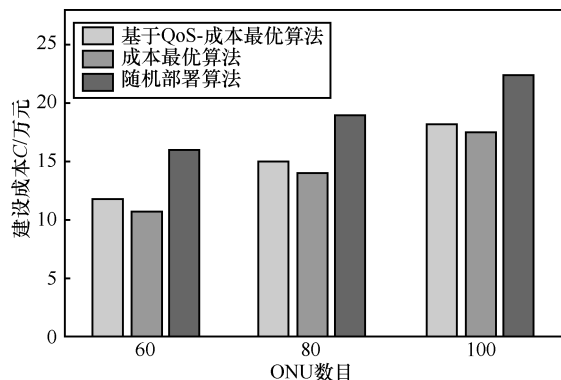


图11 不同算法建设成本对比

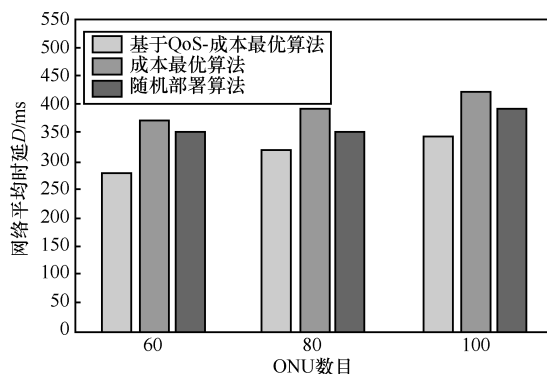


图12 不同算法网络平均时延对比

增大了业务排队处理时延,网络时延较大。而本文基于 QoS-成本最优算法在建设成本上虽然略高于成本最优算法,但在网络总时延上远优于成本最优算法,以较小的成本代价获得业务的低时延 QoS 保障。同时,本文基于 QoS-成本最优算法在成本和网络时延上都优于随机部署算法,具有较好的部署规划效果。

4 结束语

针对不同场景下的电力光纤到户网络用户需求,本文提出了一种基于 QoS 的电力光纤到户网络规划方法,首先结合多场景下不同建筑物的电气结构进行针对性的 ODN 线路路径设计,然后建立了 ONU 集群规划模型,仿真结果表明该模型可以在保证业务可靠性、网络时延的同时节约线路敷设成本,最后提出实际网络规划后的光路衰减核算方案。本方法保障了电力光纤到户电力流和信息流线路与配电网的一致性,兼顾经济性与业务 QoS 需求,具有较强的应用价值。

参考文献:

- [1] GUAN L, ZHANG M, SONG C, et al. A QoS-aware resource allocation algorithm based on dynamic virtual cluster for PFTTH network[C]//International Conference on Optical Communications and Networks, Aug 7-10, 2017, Wuzhen, China. [S.l.: s.n.], 2017: 1-3.
- [2] LIU Z J, WANG Y. A planning method of clustering ONUs based on reliability[C]//International Conference on Optical Communications and Networks, Aug 7-10, 2017, Wuzhen,



- China.[S.l.: s.n.], 2017: 1-3.
- [3] GAO M. Reliability and cost performance ratio analysis on EPON protection networking of power distribution communication network access layer[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014(4): 494-495.
- [4] SUN Y Q. Research on the technology evolution of optical access network based on EPON network architecture[J]. Digital Technology and Application, 2018(12).
- [5] 陈灿, 张素香, 陈芳, 等. 电力光纤到户组网关键技术综述[J]. 电力信息与通信技术, 2017(10): 74-78.
CHEN C, ZHANG S X, CHEN F, et al. Overview of key technologies for power fiber-to-the-home networking[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2017(10): 74-78.
- [6] 李惠军. 基于 EPON 的光纤通信接入网模式研究[J]. 电子世界, 2018(7).
LI H J. Research on optical fiber communication access network mode based on EPON[J]. Electronic World, 2018(7).
- [7] 吴国栋, 赵修旻. 基于 EPON 技术的智能小区电力光纤到户组网典型方案[J]. 华东电力, 2012(7): 1196-1199.
WU G D, ZHAO X M. Typical scheme of intelligent cell power fiber-to-the-home networking based on EPON technology[J]. East China Electric Power, 2012(7): 1196-1199.
- [8] 刘建虎. 电力光纤到户关键技术及运营模式研究[J]. 中国有线电视, 2017(1): 23-25.
LIU J H. Research on key technology and operation mode of power fiber to the home[J]. China Cable TV, 2017(1): 23-25.
- [9] LI C Q, MAO C L, YUAN Z Q. Research on the optimization configuration of electric secondary system of power distribution network[C]//China International Conference on Electricity Distribution, Sep 10-14, 2012, Shanghai, China. Piscataway: IEEE Press, 2012: 1-4.
- [10] 万鑫. 电力光纤到户关键技术及运营模式的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
WAN X. Research on key technology and operation mode of power fiber to the home[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.

[作者简介]



邵帅 (1987-), 男, 中国科学院沈阳自动化研究所、中国科学院机器人与智能制造创新研究院助理研究员, 主要研究方向为通信技术、智能电网。



尚志军 (1972-), 男, 博士, 中国科学院沈阳自动化研究所、中国科学院机器人与智能制造创新研究院副研究员、硕士生导师, 主要研究方向为工业通信、电力设备检测技术与装置等。



王忠锋 (1976-), 男, 博士, 中国科学院沈阳自动化研究所、中国科学院机器人与智能制造创新研究院研究员, 主要研究方向为工业通信、智能电网等。

辛国良 (1963-), 男, 国网辽宁省电力有限公司教授级高级工程师, 主要研究方向为电力系统及自动化。

李悦悦 (1969-), 女, 国网沈阳供电公司高级工程师, 主要研究方向为信息工程。

孔祥余 (1981-), 男, 北京国电通网络技术有限公司高级工程师, 主要研究方向为电力通信信息管理。

彭绪静 (1994-), 女, 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室硕士生, 主要研究方向为智能电力通信网网络管理。