



基于电力光纤到户的网络切片资源管理方案

葛维春¹, 罗桓桓¹, 周桂平¹, 王英杰², 孔祥余², 关璐瑶³, 宋闯³, 张民³, 李青³

(1. 国网辽宁省电力有限公司, 辽宁 沈阳 110006;

2. 北京国电通网络技术有限公司, 北京 100070;

3. 北京邮电大学信息光子学与光通信国家重点实验室, 北京 100876)

摘要: 为解决电力光纤到户项目中网络管控不灵活、业务种类繁多且 QoS 复杂等问题, 提出了基于电力光纤到户的网络切片资源管理方案和基于网络切片感知的多业务融合动态资源分配算法。仿真结果表明, 所提方案能够有效实现不同切片的 QoS 保障, 并显著提升网络资源利用率。

关键词: 电力光纤到户; 网络切片; 动态资源分配

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018221

Resource management scheme of power fiber to the home network slicing

GE Weichun¹, LUO Huanhuan¹, ZHOU Guiping¹, WANG Yingjie²,

KONG Xiangyu², GUAN Luyao³, SONG Chuang³, ZHANG Min³, LI Qing³

1. State Grid Liaoning Electric Power Supply Co., Ltd., Shenyang 110006, China

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

3. State Key Laboratory of Information Photonics and Optical Communications,
Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract: In order to solve the problems, such as inflexible control and management, the variety of services and complex quality of services, a network slicing resource management scheme based on PFTTH network and corresponding multi-services dynamic resource allocation algorithm based on network-slicing-aware was proposed. Simulation results show that the proposed scheme and algorithm can effectively implement QoS guarantee of different network slicing, significantly increase the network resource utilization.

Key words: power fiber to the home, network slicing, dynamic resource allocation

1 引言

随着电力技术以及信息技术的高速发展, 将

现有的电力网、电信网、广电网、互联网相互联系、相互融合的“四网融合”^[1-2]技术成为了构建无所不在的通信网络的重要解决方案, 也是今后

收稿日期: 2018-04-26; 修回日期: 2018-07-20

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (No.2016YFB00901200)

Foundation Item: The National Key R&D Program of China (No.2016YFB00901200)



信息网络发展的趋势。由于 PFTTH (power fiber to the home, 电力光纤到户) 支持长距离传输、业务承载能力强^[3]、满足高级量测体系建设和智能用电互动化服务等多维信息化业务需求^[4], 可实现能源和信息的一体化配置和资源共享, 减少网络建设的成本和提高运营效率, 使得该方案成为四网融合和智能电网用户接入^[5]的一个有效解决方案。PFTTH 是指在低压通信接入网中采用 OPLC (optical fiber composite low-voltage cable, 光纤复合低压电缆), 将光纤随低压电力线敷设, 实现到表到户, 并配合 PON (passive optical network, 无源光网络) 技术, 承载用电信息采集、智能用电双向交互、宽带通信、广播电视等业务并实现“四网融合”的重要技术。PFTTH 推进了电力光纤到户工程的发展, 统筹部署电网和通信网深度融合的网络基础设施, 对完善能源互联网信息通信系统, 实现同缆传输、共建共享具有深远的意义。

然而, 目前 PFTTH 面临着多种问题: 入户的带宽需求和数量不断增加, 业务种类繁多; 网络的控制和管理不够灵活; 网络中存在潮汐效应, 造成资源的大量浪费。为了更好地解决这些问题, 需要构建一个虚拟化、开放化、智能化的电力光纤接入网络。因此提出了基于电力光纤到户的网络切片资源管理方案和基于切片感知的多业务融合动态资源分配算法, 该算法可根据不同业务的 QoS (quality of service, 服务质量) 需求, 对各个网络切片分配相应的网络资源, 有效实现不同切片的 QoS 保障, 并显著提升网络资源利用率。网络切片可将现有物理网络切分成多个彼此独立的逻辑网络, 通过对各个切片提供定制化服务, 从而实现灵活分配和动态调度可用资源, 在保证网络 QoS 的前提下最大化资源利用率和系统性能。

2 基于 PFTTH 的网络切片资源管理方案

现有光接入存在网络技术紧耦合、业务流程

固化和运营支持系统 (OSS) 封闭的问题, 导致在接入网中引入新技术、新部署模式和新业务创新的周期长, 在成本较高的同时也无法满足业务经营快速灵活发展的需求^[6], 为了更好地满足未来智能电网业务和 IT 业务的融合需求以及对网络开放性的需求, 实现新业务的快速部署和用户体验的提升, 解决传统光接入网机制不灵活等问题, 电力光纤接入网控制能力开放是未来发展的必然趋势, 而网络切片作为有效手段, 能够将一张物理网络划分出多个逻辑网络以满足不同的垂直业务和不同的 QoS 需求。

因此, 结合软件定义网络 (software defined networking, SDN) 和网络功能虚拟化 (network function virtualization, NFV) 技术的等技术思想, 提出了基于网络切片的电力光纤到户网络资源管理方案。其中, NFV 技术能够实现 PFTTH 网络各设备节点中软硬件解耦, 利用统一的硬件平台业务功能软件化实现资源和功能的逻辑抽象和网络功能的虚拟化, 不仅能够解决 PFTTH 网络海量差异化电力终端兼容性差、升级困难的问题, 而且减少了设备的维护费用, 增强了设备功能的灵活性。SDN 技术可通过将宽带接入设备的控制平面和数据平面分离, 使得控制平面和数据平面可以独立发展, 从而实现网络资源的集中管控^[7]。

通过 NFV 和 SDN 的结合, 可以在同一网络基础设施上构造多个基于资源和功能虚拟化的逻辑网络, 即将一个网络虚拟化为多个逻辑网络形成多个网络切片, 不同类型的业务可以独享一个网络切片, 按需配置其资源, 从而满足不同业务的网络需求, 为不同的应用场景提供相互隔离的网络环境, 使得不同应用场景可以按照各自的需求定制网络功能和特性, 为用户提供动相匹配的 QoS 保证和安全隔离保障。

如图 1 所示, 由于电力光纤接入网用户接入业务具有数据量大、类型多、突发性强等特点,

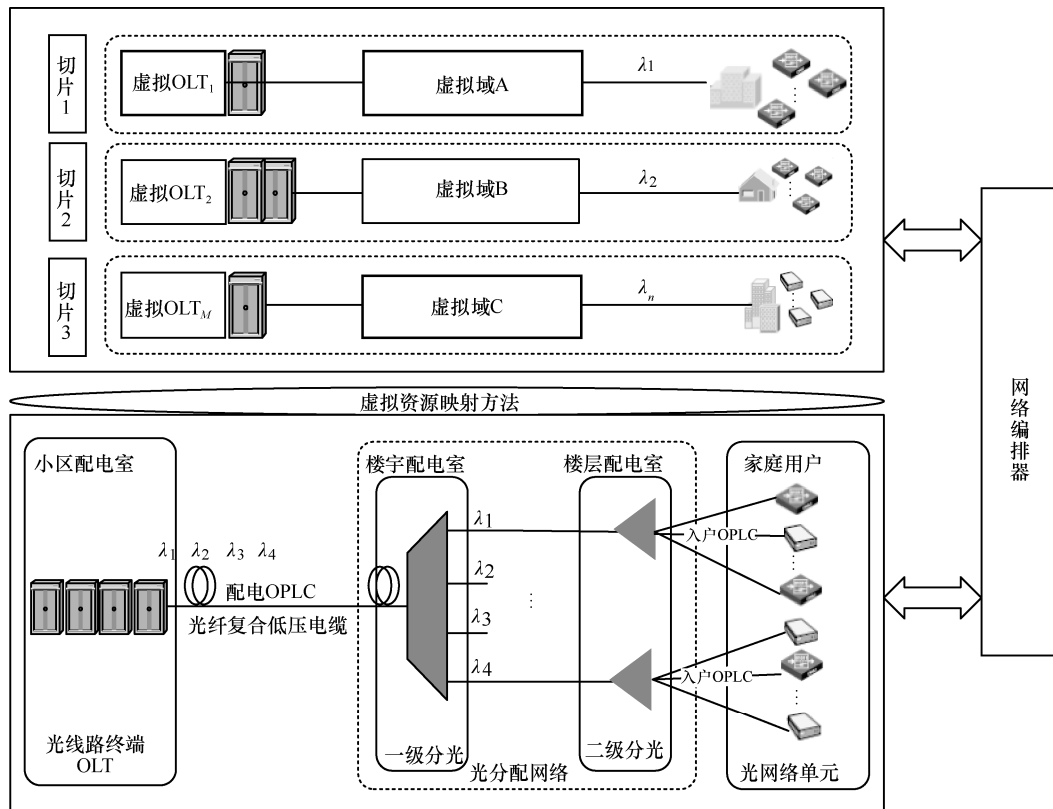


图1 新型 PFTTH 网络架构

因此在 PFTTH 网络中放弃成本高、无法实现用户间的带宽共享的 WDM-PON 技术,而采用基于 TWDM-PON 的网络架构。为了减少电力光纤接入网架构中实体 OLT 的数量、提高资源利用率、降低能耗,以便管理和控制,利用网络功能虚拟化技术,将一套 OLT 设备虚拟化为多个虚拟 OLT 是一大必然趋势。网络编排器通过搜集当前网络状态信息,同时根据用户需求,综合考虑 QoS 保证等因素,对网络资源进行管理和编排,运用 VxLAN 技术将承载同一业务类型的 ONU 分成一个网络切片,其中电力类型业务划分为单独的网络切片,每一个切片独立分配传输资源(如波长),实现多业务隔离,保障业务安全,每个虚拟 OLT 根据某类业务需求特征分配专有的虚拟资源和硬件资源,从而形成端到端的网络切片,即同一切片承载相同的业务类型,不同类型的业务可以按照各自的资源请求定制网络功能和特性,从而为用户提供

动相匹配的 QoS 保证和安全隔离。

3 信令机制和动态资源分配算法

3.1 信令机制

在每个调度周期,控制器中资源信息采集模块和流量信息采集模块搜集 ONU 的业务请求和流量信息,其中 SDN 控制器中的每个模块功能如图 2 所示,再由 QoS 封装模块根据这些信息完成 QoS 封装,并将这些信息传至聚类处理模块,控制器中聚类处理模块根据每个 ONU 请求的业务类型和负载均衡等因素以及相关策略对 ONU 进行智能化的动态分组,每种类型的业务根据流量请求大小被分为一组或几组,每组通过 VxLAN 进行标记并配置不同的波长,每组内的 ONU 通过时分复用方式共享一个波长,从而在 ONU 端形成动态的切片。控制器资源虚拟化模块先计算出当前虚拟化 OLT 可用的计算资源和存储资源,再根

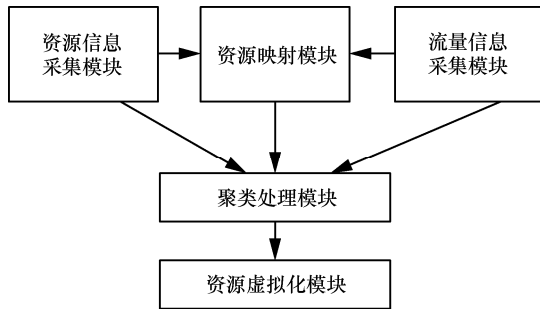


图2 SDN控制器模块的功能

据 ONU 业务类型、所在波长以及请求的带宽大小并结合 QoS 策略, 为不同类别的业务配置相应的计算资源和存储资源, 从而形成面对不同业务类型的虚拟 OLT 切片, 每个虚拟 OLT 切片在对应的波长资源下为其 ONU 用户配置上、下行带宽和时隙。可通过控制器将每个 ONU 下一时刻所在波长、所占时隙以及所使用的虚拟化 OLT 单元等分配信息发送至对应的 ONU。最终给各个业务分配相应的波长时隙资源, 将业务由 ONU 发送至 OLT, OLT 再向 SDN 发送切片确认反馈信息, 其信令调度机制如图 3 所示。

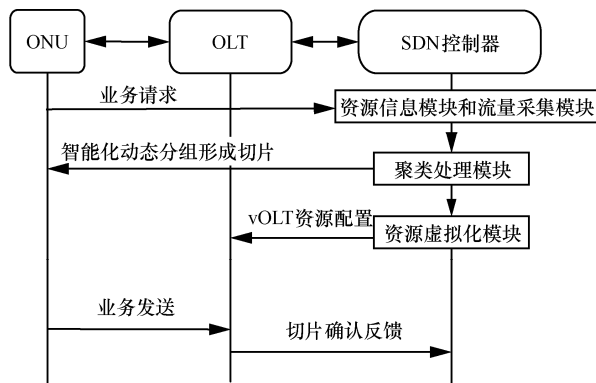


图3 PFTTH网络信令调度机制

3.2 动态资源分配算法

为了满足基于网络切片的电力光纤到户网络传输架构的需求, 本文提出了一种考虑负载均衡因素的基于装箱问题的启发式算法, 即基于切片感知的多业务融合动态资源分配算法。

假设虚拟化的 OLT 端由多个服务器组成, 每个服务器包含多个 CPU 核心, 并且在每个 CPU

核心中可以执行多个 vOLT。考虑非常理想的情况下, 即 ONU 的最大负载为 1 以及 vOLT 阈值(V^{th}) 为 0.9 (考虑归一化的情况), 如果只为了尽可能地找到适合 vOLT 阈值(V^{th}) 的 ONU 形成一个群落, 那么这种算法就不能实现多个虚拟 OLT 之间的负载均衡, 所以业务的基于负载均衡的动态资源分配算法需要考虑通过确定使用的 vOLT 数量和它们的新阈值负载, 以实现所有 vOLT 之间的负载均衡, 使用的 vOLT 数量和它们的新阈值负载分别如式 (1)、式 (2) 所示:

$$N_v = \frac{\sum_{n=1}^N \text{Load}_{\text{ONU}}^n}{V^{\text{th}}} \quad (1)$$

$$V_n^{\text{th}} = \frac{\sum_{n=1}^N \text{Load}_{\text{ONU}}^n}{V^{\text{th}} N_v} \times 100\% \quad (2)$$

其中, N_v 是 vOLT 开启的个数 (其值是真实结果值的向上取整值), V^{th} 是预先对 vOLT 设定的固定负载阈值, $\text{Load}_{\text{ONU}}^n$ 是指第 n 个 ONU 的负载, V_n^{th} 是考虑负载均衡因素后的新负载阈值。

通过上述同样的方法确定所使用的服务器、CPU 核心的数量及其新阈值负载的值。

基于切片感知的多业务融合动态资源分配算法首先需要列出未分配给 vOLT 的 N 个 ONU 的负载值, 在列表 A 中按降序排序, 通过式 (1)、式 (2) 分别确定 vOLT 数量和新阈值负载, 设 $n=1$ 且 $Z=Z^*=\emptyset$, 其中 n 是处理集合 A 中的负载值的索引, Z 是当前分配给 vOLT 的负载的集合, Z^* 是 ONU 的最佳分配方式且等于 V_n^{th} , 每次分配都是在搜索过程中确定的, 该搜索过程可测试 A 中所有可能的适合 vOLT 容量的 ONU 子集, 将最接近 Z^* 的一组 ONU 分配到一个 vOLT 后, 分配给它的这组 ONU 都将从集合 A 中移除, 并保留排序顺序, 重复上述步骤, 直到 A 变空, 程序结束, 其流程如图 4 所示。

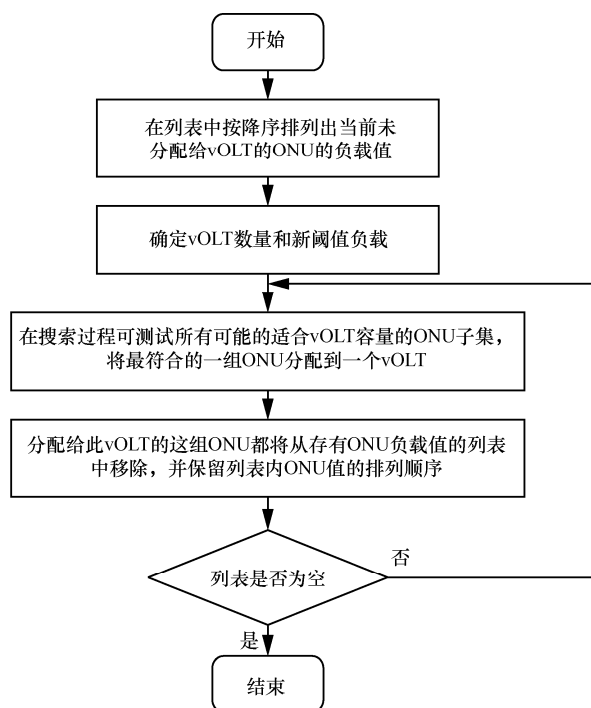


图4 基于切片感知的多业务融合动态资源分配算法流程

4 仿真结果及分析

PFTTH 网络是面对大量用户、网络多层分级以及多种类型业务的网络, 将对基于电力光纤到户应用场景提出相应的网络切片策略, 将网络根据不同类型业务的需求形成3种独立的网络切片, 其中电力类型业务划分为单独的网络切片, 可与传统互联网类型业务实现隔离, 从而保障各类型业务安全并提供动相匹配的 QoS 保证, 尽可能在有限的接入资源条件下最大化提升用户网络体验, 具体分类如下所示。

(1) 网络切片 1

该网络切片主要针对互联网业务中要求超低时延和高可靠性的业务类型, 如无人驾驶、车联网、自动工厂等领域。

(2) 网络切片 2

该网络切片主要针对互联网业务中对网络带宽和速率要求较高的业务类型, 例如增强现实/虚拟现实、共享文件资源、共享视频、语音等应用。

(3) 网络切片 3

该网络切片主要针对电力类业务, 例如智能电表通信业务以及用户端用电监测业务。其中, 智能电表通信业务主要是指智能电表将采集的用户用电量信息、各家电功率、用电状态等信息进行上传^[8]; 用户端用电监测业务是指在小区配电间、楼内配电间、充电桩等安装的监视传感器所提供的的数据^[9]。

为了说明其中的切片配置机制, 对其进行仿真, 仿真参数见表 1。

表 1 仿真参数

仿真参数	数值
单波长总带宽/(Gbit·s ⁻¹)	100
业务请求带宽/(Mbit·s ⁻¹)	0~300
单业务可分配的最大带宽/(Mbit·s ⁻¹)	250
光纤长度/km	10
光纤的传播时延/(μs·km ⁻¹)	5

在本文的系统架构下, 面对不同类型的业务, vOLT 可以按需分配所需的计算处理资源: 硬件资源和虚拟资源, 组合成对应的虚拟 OLT 切片。通过仿真创建了 3 种网络切片, 将对时延敏感的业务分配给网络切片 1, 将需要高宽带能力的业务分配给网络切片 2, 将具有较低的周期性的传输速率、需要极高可靠性的业务分配给网络切片 3。因为网络切片 2 的业务对应的网络带宽和速率要求较高, 因此分配满足网络切片 2 需求的带宽资源, 使网络切片 2 获得了最高的吞吐量。每个切片得到的总吞吐量如图 5(a) 所示。与网络切片 2 和网络切片 3 相比, 网络切片 1 的业务通过 QoS 配置, 可优先分配计算处理资源以及带宽、时隙等网络资源, 使其具有优先处理的能力, 对业务提供超低时延和高可靠性地保证, 从而具有最低的端到端时延。即使当业务负荷为 80%, 发生网络拥塞时, 因为网络切片 1 的业务通过 QoS



配置, 所以其端到端时延仍然很低, 如图 5(b) 所示, 并且抖动较小且平滑, 可获得更高的可靠性, 如图 5(c) 所示; 而另外两个网络切片时延、抖动均明显增加。

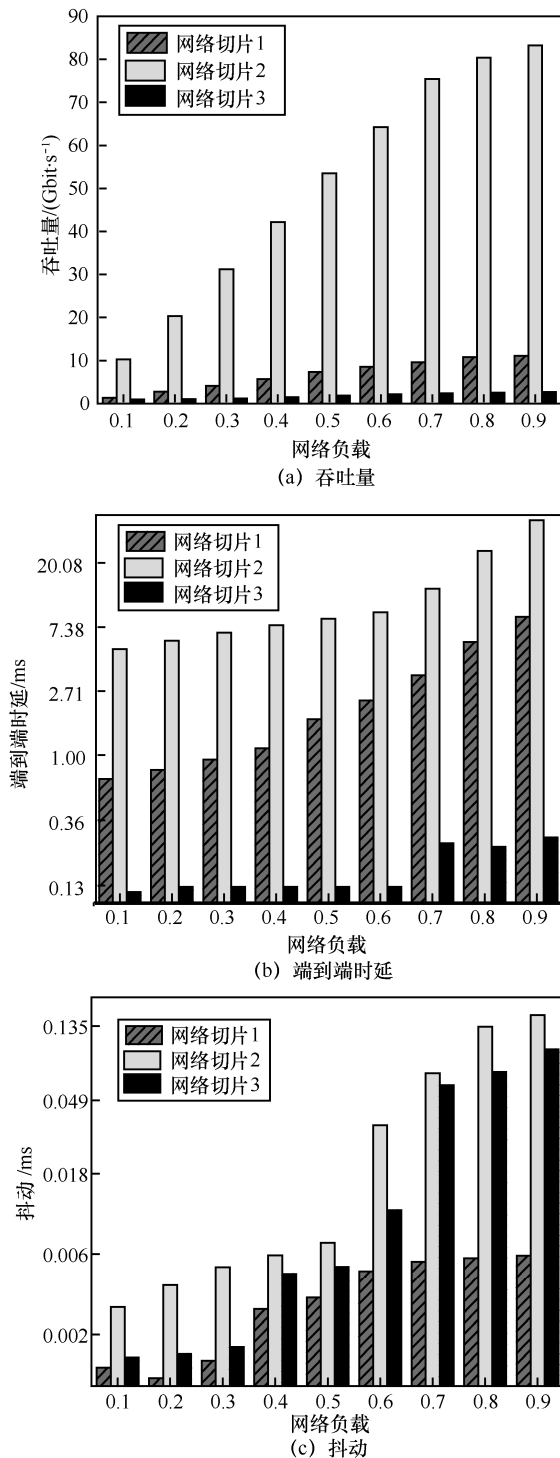


图 5 3 种切片不同网络负载下的性能对比

5 结束语

本文提出的新型的基于电力光纤到户的网络切片资源管理方案和基于切片感知的多业务融合动态资源分配算法, 可将网络按照用户请求的业务类型, 针对各个业务类型的特点形成相应的网络切片, 对应的网络切片按需分配相应的虚拟 OLT 的计算资源和存储资源。从仿真结果可看出, 一个网络切片只处理一个类型的业务, 可以大大提高网络的处理能力, 有效保证超低时延和高可靠性业务的端到端时延和可靠性, 网络带宽和速率要求较高的业务获得了较高的吞吐量, 提高了用户体验质量。电力光纤到户技术能够统一承载能源流、信息流, 在满足智能电网客户端信息交互的同时, 又可为通信和广电运营商提供可选的公共接入服务, 符合未来电力通信的发展要求。

参考文献:

- [1] 郝波. “四网融合”实现技术探究[J]. 科技信息, 2012(35): 536-537.
XI B. Technical research on the realization of “four networks integration”[J]. Technology Information, 2012(35): 536-537.
- [2] 刘建明, 王继业, 范鹏展, 等. 电力光纤到户在智能电网中的应用[J]. 电力系统通信, 2011, 32(227): 1-5.
LIU J M, WANG J Y, FAN P Z, et al. The application of PFTTH in the smart grid[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2011, 32(227): 1-5.
- [3] 崔秀国, 刘翔, 操时宜, 等. 光纤通信系统技术的发展、挑战与机遇[J]. 电信科学, 2016, 32(5): 34-43.
CUI X G, LIU X, CAO S Y, et al. Development, challenge and opportunity of optical fiber communication system technologies[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(5): 34-43.
- [4] 孙跃, 陈乐然, 徐小天, 等. 基于 PFTTH 的智能用电小区互动化方案[J]. 电信科学, 2017, 33(Z1): 51-56.
SUN Y, CHEN Y R, XU X T, et al. Interactive program of smart residential area based on PFTTH network [J]. Telecommunications Science, 2017, 33(Z1): 51-56.
- [5] 李杰聪. 智能电网技术发展综述[J]. 广东科技, 2009, 18(18): 249-250.
LI J C. Development of smart grid technology [J]. Guangdong Science and Technology, 2009, 18(18): 249-250.
- [6] 沈成彬, 蒋铭, 曾涛. SDN/NFV 技术的接入网应用[J]. 中兴通讯技术, 2015, 8(21): 15-19.
SHEN C B, JIANG M, ZENG T. Applications in access network of SDN/NFV technology[J]. ZTE Technology Journal,

2015, 8(21): 15-19.

- [7] CHITIMALLA D, THOTA S, SAVAS S, et al. Application aware software-defined EPON upstream resource allocation[C]//2015 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition(OFC), March 22-26, 2015, Los Angeles, CA, USA. Piscataway: IEEE Press, 2015: 1-3.
- [8] 张汉, 刘明峰. 智能电网中互动式居民智能用电系统设计[J]. 中国电力教育, 2009(S2): 313-315.
ZHANG H, LIU M F. Design of interactive resident intelligent power system in smart grid[J]. China Electric Power Education, 2009(S2): 313-315.
- [9] 黄胜. 智能配电网通信业务需求分析及技术方案[J]. 电力系统通信, 2010, 31(6): 10-12, 17.
HUANG S. Analysis on the demand for communication services in smart distribution network and communication technical scheme [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(6): 10-12, 17.

[作者简介]



葛维春 (1961-), 男, 博士, 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自动化。



罗桓桓 (1978-), 男, 博士, 国网辽宁省电力有限公司高级工程师, 主要研究方向为电力系统自动化。



周桂平 (1981-), 男, 博士, 国网辽宁省电力有限公司高级工程师, 主要研究方向为设备状态监测及故障诊断。

王英杰 (1964-), 男, 北京国电通网络技术有限公司副总经理, 主要研究方向为电力信息通信技术。

孔祥余 (1981-), 男, 北京国电通网络技术有限公司部门总经理助理、中级/信息系统项目管理师, 主要研究方向为电力信息通信技术。

关璐瑶 (1994-), 女, 北京邮电大学信息光子学与光通信国家重点实验室硕士生, 主要研究方向为宽带接入网。

宋闯 (1990-), 男, 博士, 北京邮电大学信息光子学与光通信国家重点实验室博士生, 主要研究方向为光通信与光网络、接入网、5G、软件定义网络。

张民 (1976-), 男, 博士, 北京邮电大学信息光子学与光通信国家重点实验室教授, 主要研究方向为大容量光通信系统与网络、宽带接入网。

李青 (1964-), 男, 博士, 北京邮电大学信息光子学与光通信国家重点实验室副教授, 主要研究方向为宽带接入网。