



软件定义光网络(SDON)发展前瞻^{*}

纪越峰, 张 杰, 赵永利

(北京邮电大学 北京 100876)

摘 要:为了适应宽带业务与应用的持续发展,光网络需要变得更加灵活可控。软件定义光网络(SDON)聚焦于将软件定义技术融入光网络的综合解决方案,其关键技术涉及软件定义光传输、交换和联网等。通过分析 SDON 的技术特征,探讨了 SDON 引入光网络的必要性和可行性,设计了 SDON 的典型应用案例,并可以预见 SDON 在支撑新一代光网络向智能高效、灵活调度、虚拟重构等方向的发展进程中将发挥重要作用。

关键词:软件定义光网络;数据中心;虚拟化;统一控制

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.08.003

Development Prospects of Software Defined Optical Networks

Ji Yuefeng, Zhang Jie, Zhao Yongli

(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: In order to meet the requirement of continued growth in broadband services and applications, optical networks need to be more and more flexible and controllable. Software defined optical network(SDON) focuses on an integrated optical networking solution based on software defined technology, and the key technologies are related to software-defined optical transmission, switching and networking, etc. Based on the analysis of technological characteristics of SDON, the necessity and feasibility of introducing SDON were discussed, and several application scenarios of SDON were proposed. All these show that SDON will play an important role in the development process of next-generation intelligent optical networks forwards to high efficiency, flexible scheduling, and virtual reconstruction.

Key words: software defined optical network, data center, virtualization, unified control

1 引言

作为国家的重要信息基础设施,光网络在高速、宽带、长距离超大容量传送方面的优势得到了充分体现。然而,伴随着业务流量的爆炸式增长,单纯扩容的方式将使光网络难以承受能耗和成本的挑战,期望光网络能够长出个“大脑”(如图 1 所示),从而可以构建一个新型的智能光网络,完成光网络由固定刚性功能向灵活弹性能力的演进,通过对底层传送能力的智能管控,实现对新业务的高效快

捷支撑。

2 光网络智能化之路

围绕光网络的智能化先后形成了三大技术路线,即自动交换光网络(ASON)、基于路径计算单元(PCE)的光网络、软件定义光网络(software defined optical network, SDON),实现了由“分布式”控制平面向“集中式”控制平面的发展。

(1) 自动交换光网络

ASON 首次提出在光传送网中引入控制平面(以

^{*} 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No.2012AA011300)

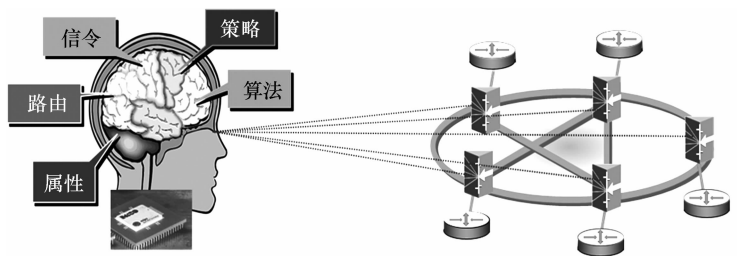


图 1 智能光网络的控管概念

GMPLS 为基础),将拓扑发现、路径计算、资源分配、连接控制等功能从管理平面剥离出来,形成分布式控制平面,利用分布式的智能实现连接的动态建立、删除以及快速故障恢复,从而实现网络资源的按需分配。随着网络规模的扩大,ASON 在大规模网络的路径计算、异构网络的互联互通等方面存在明显不足,并且 GMPLS 协议过于复杂,在实际应用中的局限性较大。

(2) 基于路径计算单元的光网络

IETF 标准化组织于 2006 年提出了 PCE 技术。基于 PCE 的网络结构和选路技术,将复杂约束条件下的路径计算和流量工程功能从传统控制平面独立出来。作为网络中专门负责路径计算的功能实体,PCE 基于已知的网络拓扑结构和约束条件,根据路径计算客户(PCC)的请求计算出最佳路径。采用相对独立的 PCE 专门负责路径计算,有利于增强网络规模及路由机制的可扩展性,同时减轻大量计算需求对网络设备的冲击。但 PCE 功能比较单一,需要与其他技术协同应用。

(3) 软件定义光网络

软件定义光网络指光网络的结构和功能可根据用户或运营商需求,利用软件编程的方式进行动态定制,从而实现快速响应请求、高效利用资源、灵活提供服务的目的。SDON 可以为各种光层资源提供统一的调度和控制能力,根据用户或运营商需求,利用软件编程方式进行动态定制,重点解决功能扩展的难点,满足多样化、复杂化的需求,其核心在于光网络元素的可编程特性,包括业务逻辑可编程、控管策略可编程和传输器件可编程,并支持弹性资源切片虚拟,因此更加适合多层域多约束的光网络控制,可有效提高运维效率并降低成本。

3 SDON 的引入

随着云计算、数据中心的广泛应用,各种宽带新业务不断涌现,由此产生的庞大数字洪流给作为信息基础设施

的光网络带来巨大挑战。容量、成本、能耗、安全已经成为未来光网络的制约瓶颈,单纯提升单纤容量难以突破香农极限,而简单地扩大规模则会带来成本和能耗的急剧攀升。因而,光网络的发展急需寻找新的突破点。软件定义全光灵活组网能够从根本上解决上述问题,通过在光层引入基于软件定义的智能网络,能够使光网络变得更加灵活,从而进一步释放光网络的带宽潜能,促进网络与业务的深度融合。

以连接过程为核心的闭合控制到以组网过程为核心的开放控制,从由控制功能与传送功能的紧耦合到控制功能与运营功能的紧耦合,这种模式转变是 SDON 的核心思想,代表了光网络技术与应用新的发展方向^[1-4]。而智能光网络从 ASON 到 SDON 的演进,也完成了从标签到控制器、从分布到集中、从整体化到虚拟化的 3 项改变,从而实现了扩展性、灵活性、开放性的显著提升。尤其是在灵活性方面,SDON 比 ASON 更加适合多层域多约束的光网络控制;在开放性方面,SDON 的北向接口开放,允许各类业务编程应用,并且能够控制软件的在线升级,提高运维效率并降低成本。

4 SDON 的使能技术

SDON 的使能技术与特征主要表现为以下 3 方面,具体如图 2 所示。

(1) 软件驱动的光路传输调节

通过光收发机波长、输入输出功率、调制格式、信号速率以及光放大器的增益范围等物理参数的在线调节,光路径的物理属性可实时监测、动态可调,从而实现光层智能。

(2) 软件编程的光路灵活交换

灵活栅格技术的出现打破了传统波长通道固定栅格的限制,可以实现“四无”(无色、无向、无栅格、无阻塞)光交换。多维度的交换状态使软件编程控制的手段更为必

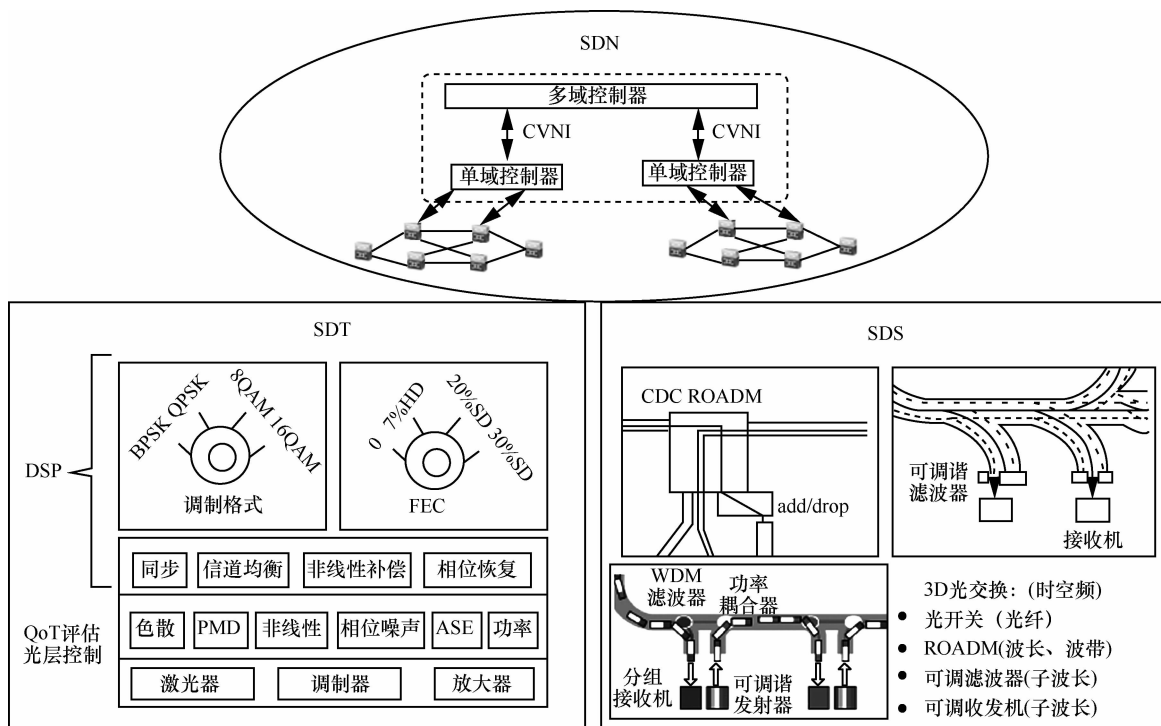


图2 软件定义光网络使能技术与特征

要,通过与间隔无关的可编程 ROADM 技术,可以完成更精细粒度的光层交换和带宽调整。

(3) 软件定义的光层智能联网

用户需求的多样化和宽带化要求网络具备资源快速提供和状态高度重构的能力。以基于网络虚拟化技术和网络元素可编程化的软件定义光层组网模型为依托,可以实现业务服务高质量与异构网络资源的统一调度,促进多粒度业务网与大规模传送网的融合发展。

5 SDON 需解决的关键问题

将软件编程的思想引入光网络业务平面、控制平面和传送平面,使光网络体系架构不仅具备用户业务感知的能力,还具备传输质量感知的能力。基于软件编程控制的思想,可以实现光网络元素(包括业务处理、控管机制、传输设备方面)的软件可编程控制,从而全面提升光网络的灵活扩展能力,解决传统多层异构网络面临的多个关键问题。

(1) 业务需求的复杂性与适配的高效性问题

数据业务的多样性与突发性反映了业务需求的复杂性,对光网络的承载能力提出了严峻挑战。而承载网的大容量传送管道与小规模交换枢纽的现状造成了底层传送能力的制约瓶颈,急需完善网络对业务的高效适配能力。这就形成了数据业务需求复杂与传送网络适配不足的矛

盾,由此衍生了业务需求的复杂性与适配的高效性的科学问题。通过 SDON 中网络元素的动态调谐特性,对上层业务进行智能解析,并通过可软件定义的“中间件”为上层用户提供开放的数据和控制接口,以解决上述问题。

(2) 异构网络资源互连互通与安全控制问题

大规模异构网络应用涉及应用层、网络层、传输层资源的有效互通与联合调度,通过构建跨层的控制架构与协议,实现异构网络的信息互通与资源抽象,最终实现多层异构网络资源的最优化利用,其中互连互通是实现上述目标的前提条件。而信息在多种类型网络之间的流动势必会引发安全威胁,这就形成了异构网络信息高效互通与安全控制体制之间的矛盾,由此衍生了异构网络的互连互通与安全控制的科学问题。采用能够贯穿多层的统一控制流协议,加入安全控制机制和策略,以解决上述问题。

(3) 传输设备的硬件特性与可编程控制问题

在业务自适应接入与处理机制、控制策略灵活可配的驱动下,底层的光传输设备也需要打破传统的固定配置限制,发展为具备灵活可调的能力。然而传输设备的功能基本由硬件电路完成,这就形成了传输设备的硬件限制与功能灵活可调需求之间的矛盾,由此衍生了传输设备的硬件特性与可编程控制的科学问题。从软件编程控制的角度出发,通过将部分传输功能从硬件剥离出来,转由软件编程

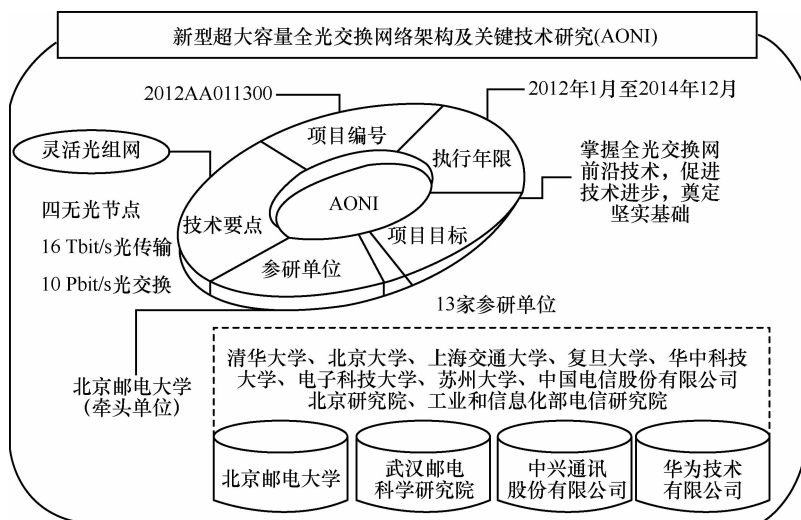


图3 AONI项目组织与技术要点

完成,从而实现传输设备功能的灵活调谐。

6 SDON 研究与应用案例

(1)面向分组与电路融合的软件定义网络

利用 OpenFlow 协议可以实现分组交换与电路交换的统一控制。通过对异构网络流抽象的虚拟化手段,可以实现分组与光网络可重构化的集成控制管理目标,将时隙信息写入 OpenFlow 流表中,实现通过控制器向电路交换机下达流表来触发交换机进行交换动作,并完成相关实验验证。此外,利用电路交换中流的特性可以提供不同等级的分组数据流。

(2)基于 OpenFlow 的数据中心光互联

开放性软件定义组网与集成控制的需求越来越迫切,软件定义网络通过南向接口 OpenFlow 协议可以实现异构网络的统一控制,在此基础上,通过北向接口可以实现应用资源与网络资源的联合优化。因而,通过软件定义方式可以实现数据中心之间的动态带宽调整和灵活调度。在软件定义的数据中心光联网结构中,运营商将统一管理数据中心内部资源,再根据业务需求和资源状态,对数据中心资源与网络带宽资源进行统一分配,实现实时调度和可编程化控制。

(3)国家“863”计划 AONI 项目

为深入开展 SDON 等方面的研究工作,国家“863”计划/“十二五”国家宽带网重点专项适时启动了“新型超大容量全光交换网络架构及关键技术研究”项目(简称 AONI 项目,如图3所示),重点围绕灵活光组网等4项关键技术

内容开展深入研究,目前已在 SDON 的体系结构、弹性切片、光即服务、多域控制、资源虚拟和实验平台与功能验证等方面取得了重要进展。

7 SDON 的发展愿景

光层智能是未来光网络发展的必然趋势,从 ASON 到 PCE,再到 SDON,光网络智能技术在不断向前发展,光网络也正逐渐从单纯粗放性扩容向精细化智能处理的方向演进。在这一演进过程中,将控制面与传送面分离、硬件通用化、协议标准化、网络行为软件可控、网络应用灵活快捷,代表了未来光网络的发展方向,前景广阔。然而在“构建开放光网环境”理念的驱动下,要实现 SDON 的全部理念,任重道远,不能一蹴而就,除关键技术以外,各厂商设备的壁垒、运营商的管理模式、与现网的关系、大规模集中控管带来的风险等都是具有挑战性的问题。SDON 中的局部技术可能会率先应用,但其全面发展步伐最终由市场应用决定,尤其取决于在“光层”上的业务应用突破。

参考文献

- 1 Channegowda M, Nejabati R, Simeonidou D. Software-defined optical networks technology and infrastructure: enabling software-defined optical network operations. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 2013, 5(10): A274~A282
- 2 Software-defined networking for transport networks. <http://www.advaoptical.com>, 2014

(下转第41页)

软件实现为主的新技术应用到资源池风险较大,大部分客户都会比较谨慎,需要逐步扩大应用范围,这有可能是一个较长的周期。

4 结束语

云数据中心是一种多租户共享计算、存储和网络资源的数据中心架构。多租户的模式为云数据中心的网络架构带来诸多挑战,如无租户数量限制的网络隔离、快速的网络管理和配置、灵活的东西向路由和安全隔离方案以及全面的防火墙和负载均衡等 L4~L7 的网络服务,能够为每个租户提供按需弹性的网络资源。SDN 的提出和发展为云数据中心网络的部署提供了一种新的解决方案,本文首先简单介绍 SDN 的几种技术流派和各自的优缺点,基于成熟度和部署难易考虑,提出基于 overlay SDN 的云数据中心网络解决方案是当前的现实选择,对 overlay SDN 方案进行了详细的分析,同时也指出 overlay SDN 存在的主要问题。当然,云数据中心的网络将随着 SDN 的进一步发展和成熟,逐步演进到更为简单和标准的架构和部署模式,基于 OpenFlow 的 SDN 将可能成为未来云数据中心网络的主要部署模式。

参考文献

- 1 Thomas D N. 软件定义网络——SDN 和 OpenFlow 解析. 北京:人民邮电出版社, 2014

- 2 雷葆华. SDN 核心技术剖析和实战指南. 北京: 电子工业出版社, 2013
- 3 VMware_NSX 网络虚拟化设计指南. <http://www.vmware.com/cn>, 2013
- 4 <https://www.opennetworking.org/>

[作者简介]



饶少阳,男,博士,中国电信股份有限公司北京研究院高级工程师,主要研究方向为云计算与大数据。

陈运清,男,中国电信股份有限公司北京研究院教授级高级工程师、副院长,主要研究方向为高智能网络和下一代互联网。

冯明,男,中国电信集团公司技术部高级业务督导、教授级高级工程师,中国通信学会信息通信网络技术委员会委员,中国计算机学会网络部数据通信委员会委员,中国电信集团公司科学技术委员会数据网技术部成员,享受国务院政府特殊津贴,主要研究方向为云计算、物联网、大数据等。

(收稿日期:2014-06-30)

(上接第 22 页)

- 3 Ji P N. Software defined optical network. Proceedings of ICOCN, Chonburi, Thailand, 2012
- 4 张杰, 赵永利. 软件定义光网络技术与应用. 中兴通讯技术, 2013(3)

[作者简介]



纪越峰,男,博士,北京邮电大学信息光子学与光通信研究院教授、执行院长,国家重点实验室常务副主任,国家杰出青年基金获得者,国家级教学名师,国家重点基础研究发展计划(“973”)IROF项目首席科学家,国家高技术研究发展计划(“863”计划)AONI项目首席专家,主要研究方向为宽带网络与光波技术。先后获得国家科学技术进步奖、国家技术发明奖、国家级教学成果奖等多个奖项。



张杰,男,博士,北京邮电大学信息光子学与光通信研究院教授、副院长,主要研究方向为光网络体系结构、控制管理和协议标准。已主持基金项目 6 项,获得 2 项国家技术发明奖;已出版著作 8 部,发表论文 300 余篇,其中被 SCI/EI 检索 200 余篇。



赵永利,男,博士,北京邮电大学信息光子学与光通信研究院讲师,主要研究方向为智能宽带网和网络资源虚拟化等。已主持和参加基金项目 5 项,获得中国通信学会科学技术进步奖一等奖和教育部科学技术进步奖二等奖各 1 次;已出版学术专著 2 部,发表 SCI/EI 检索论文 150 余篇。

(收稿日期:2014-06-28)