

基于软件定义的“IP+光”协同控制研究

曹毅宁¹, 王俊华¹, 罗青松²

(1. 中国电子设备系统工程公司, 北京 100039;

2. 中国电子科技集团公司 第三十四研究所, 广西 桂林 541004)

摘要:为适应 5G、云计算等业务宽带化持续发展, IP 网络和光网络软件化、融合化成为发展趋势。针对 IP 网络和光网络缺乏动态交互机制的问题, 首先分析了软件定义 IP 网络和软件定义光网络技术特征, 探讨了将软件定义网络架构引入多层协同控制的必要性。然后设计了一种基于软件定义的“IP+光”层次协同控制模型, 并比较分析了层次控制模型和现有对等控制模型的优缺点。最后分析了新的层次协同控制模型能够为大规模异构网络提供有效的层间交互, 从而提高网络效率, 降低网络运维成本。

关键词:软件定义光网络; 软件定义 IP 网络; 网络控制; 协同控制

中图分类号: TN365 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)04-0021-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.04.006

Study of "IP+optical" integration control based on software defined

CAO Yining¹, WANG Junhua¹, LUO Qingsong²

(1. Institute of China Electronic Equipment System Engineering Company, Beijing 100039, China; 2. The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: With the rapid growth of the broadband applications, such as 5G, cloud computing, software-defined-based and integration of IP network and optical network become an inevitable trend. To overcome the IP network and optical network without dynamic interaction, this paper first analyzes the architecture of software defined IP network and software defined optical network, and discusses the necessity of using software defined architecture in multilayer integration control. Then, a software-defined-based "IP+optical" hierarchical control model is proposed, and the advantages and disadvantages between the hierarchical control model and existing control model are analysis. The proposed model provides efficient interlayer interactions in large-scale heterogeneous networks, result in improving network efficiency and reducing the cost of network operation and maintenance.

Key words: SDON; software defined IP network; network control; integration control

0 引言

近几年, 5G、大视频、云计算和物联网等各种宽带业务迅速兴起, 以及用户数量和带宽需求的爆炸式增长, 给 IP 网络和光网络带来了巨大挑战。在网络规模方面, 激增的网络节点数量和复杂的网络结构使运营商面临前所未有的运维压力。在带宽效率方面, 传统粗放式管控方式不能适应高突发的业务流量特征, 导

致负载不均衡, 有效承载能力有限, 仅靠扩容已无法满足新涌现的业务需求。随着软件定义网络/网络功能虚拟化(SDN/NFV)技术的引入, 网络架构发生了革命性的变化, 软件定义 IP 网、软件定义光网络技术也成为热点技术^[1,2]。2014 年全球光通信大会(OFC)将 SDN 列为第一热点, 高校、科研院所纷纷开展基础技术研究。ONF、IETF、ITU-T、ETSI、OIF 和 CCSA 等国际标准化组织也纷纷成立工作组, 开展相关标准制定工作。

长期以来, IP 网络和光网络一直是独立规划、建设、运维和发展的两类信息基础设施。光网络作为底

收稿日期: 2017-10-09。

作者简介: 曹毅宁(1982-), 女, 博士, 工程师, 主要从事光网络与计算机网络方面研究。

层管道支撑 IP 网业务传输, 两个网络都具备完整的网络功能, 并且能形成相对封闭的管控体系, 使得层间交互信息较少。而多层网络之间信息不共享、控制不协同会导致网络资源利用率低下, 业务路径无法达到最优; 网络故障发生时造成业务中断时间长等问题^[3]。随着软件定义 IP 网、软件定义光网络技术的发展, 研究者们提出了针对 IP 网或光网络的资源优化算法, 有效提升了单层网络承载能力^[4], 为此层间协同问题上升为限制网络能力的瓶颈问题。为突破瓶颈问题, 文献[5]提出了统一控制平面的思想, 采用统一的 Open-flow 控制器对分组交换设备和线路交换设备进行集中控制; 文献[6]进一步提出了超级控制器的实现方案, 但统一控制平面的信令代价随网络规模和负载的增加而增大^[5], 只适用于规模较小的网络。因此, 本文在 SDN 新架构下, 研究适合大规模异构网络的“IP+光”协同控制技术。

1 软件定义 IP 网的控制架构

SDN 技术最早在计算机网络领域被提出, 软件定义 IP 网络技术成熟度相对较高。在学术界, 美国 GENI、Internet2、欧洲 OFELIA、日本 JGN2plus 和中国的清华大学、中科院计算所、北京邮电大学等单位先后开展了 SDN 研究和部署。在产业界, 国外思科、Juniper、IBM 和 NEC 等厂商先后发布了 SDN 交换机, 同时开发了 SDN 控制器; 国内华为、中兴和盛科等厂商也在 SDN 产品方面投入研发。在标准化方面, ONF、IETF、ITU-T 和 ETSI 等标准化组织都成立了专门工作组, 制定 SDN 架构和应用标准。目前, SDN 在运营商网络、数据中心首先实现商用化。

SDN 的核心思想是将传统网络设备紧耦合的网络架构解耦成应用、控制和转发三层分离的架构, 并通过标准化实现网络的集中管控和网络应用的可编程。软件定义 IP 网的典型架构为“三层两接口”架构, 如图 1 所示。

“三层”是指应用层、控制层和转发层。最上层为

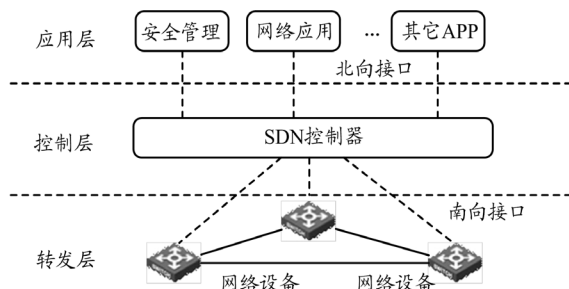


图 1 软件定义 IP 网架构

应用层, 包括各种不同的业务和应用; 中间的控制层主要负责处理数据平面资源编排、维护拓扑信息和维护状态信息等; 最下层的转发层负责数据处理、转发和状态收集。

“两接口”是指控制层与转发层之间的南向接口、应用层与控制层之间的北向接口。其中, 南向接口负责屏蔽网络转发层设备在类型、协议等方面的异构性, 使转发层设备能接受控制层的统一指令。北向接口负责为上层应用提供统一的管理视图和编程接口, 使用户可以通过软件定制网络控制和服务。

2 软件定义光网络的发展与控制架构

软件定义光网络技术尚处于初级阶段。在学术界, 2011 年由日本 KDDI 研究院首次提出了集中式光网络控制平面方案。在产业界, 从 2013 年起国内外主流设备厂家就陆续推出产品样机, 开展演示验证。在标准化方面, ONF、IETF、OIF 和 CCSA 等标准化组织于 2013 年开始制定相关标准。

2.1 发展历程

为了更好地适配急剧扩张的网络规模和传输容量, 光网络体系结构从点到点传输系统向智能化网络方向发展, 控制平面经历了从无到有的质变。随后, SDN 技术又改变了网络的控制模式, 使网络控制由分布式控制转向集中式控制。具体而言, 光网络发展经历了自动交换光网络(ASON)、基于 PCE 的光网络和软件定义光网络三个典型阶段。

第一阶段是自动交换光网络阶段。ITU-T 在 2001 年首次提出在光传送网中引入控制平面, 将拓扑发现、路径计算、资源分配和连接控制等功能从管理平面剥离出来, 形成新的控制平面。从控制方式看, 自动交换光网络属于基于信令的分布式控制模式, 将一部分原来网管平面人工配置的工作变为在控制平面自动完成, 从而提高了资源调度灵活性和故障恢复速度。从设备形态上看, 控制平面和转发平面部署在同一个设备中, 两个平面间采用内部接口互通, 控制软件模块仍是封闭系统。从控制效率看, 大量路由和信令对网络资源存在共享冲突, 专门为高速转发设计的光传送设备也难以有效支持复杂的多约束和优先策略路由优化。

第二阶段是基于路径计算单元(PCE)的光网络阶段。IETF 标准化组织在 2006 年提出了 PCE 技术, 将复杂约束条件下的路径计算和流量工程从控制平面中独立出来, 用专用计算设备进行计算和优化。从控

制方式看,基于PCE的光网络属于集中式路由和分布式信令相结合的控制模式,通过专门负责路径计算的功能实体,提高了路径优化性能,增强了网络可扩展性。从设备形态上看,网络新增了PCE设备,与传输设备通过外部接口通信,负责简单计算和信令的控制单元仍和转发平面集成在同一个设备中。从控制效率看,PCE设备掌握全局信息且能快速执行较为复杂的优化算法,在提高资源分配效率方面有所提升。

第三个阶段是软件定义光网络阶段。软件定义网络技术是2011年首次在计算机网络领域提出的,逐步扩展到光网络中。软件定义光网络将路径计算、资源分配和连接控制等功能从光传输设备中独立出来,放在独立的控制器中运行。从控制方式看,软件定义光网络属于集中式控制模式,网络控制由逻辑上集中的控制器实现全局控制,满足了网络功能开放需求;从设备形态上看,控制平面和转发平面可以分别部署在不同的设备中,控制器与传输设备之间通过标准协议互通,不再是紧耦合的内部接口。从控制效率看,当用户或运营商提出新的需求,升级控制器软件或配置策略即实现网络结构和功能的动态定制与扩展,可有效提高运维效率并降低成本。

从演进过程可以看出,从自动交换光网络到软件定义光网络,光网络的控制模式逐步转变,网络功能逐步开放,其智能化过程是渐进式的。自动交换光网络和基于PCE的光网络在信令和路径计算等方面具备了大量技术积累,为此将上层软件定义逻辑集中的控制架构与原有光网络中下层成熟的信令、资源动态发现等控制机制相结合,可以更好、更快地实现网络控制架构升级和功能开放。

2.2 软件定义光网络的基本架构

软件定义光网络架构借鉴了SDN的分层架构,分为应用层、控制层和转发层三层,如图1所示。但由于软件定义光网络在承载对象、资源分配方式和信令协议基础等方面的特殊性,需要对软件定义网络架构和功能进行扩展和细化。应用层的典型应用主要包括按需带宽业务(BOD)、光虚拟专用网络业务(OVPN)和数据中心光互连等业务,通过调用控制层的北向接口对光网络资源进行按需调用。控制层实现路径计算、资源分配、连接控制、网络资源抽象和虚拟化、流量工程等功能,通过南向接口将控制指令下发给转发层设备。转发层实现业务传输和交换功能,根据控制层指令实现光路建立、拆除等操作。

3 引入 SDN 技术的必要性

在“IP+光”协同控制中引入SDN技术,主要解决两方面问题。一是解决单层能力开放问题。软件定义光传送网和软件定义IP网络可利用集中控制和开放接口优势,对上获取业务需求,对下优化资源配置,实现资源利用率、用户感知服务质量和新业务上线速度等网络能力的提升。二是解决多层协同问题。利用集中控制掌握全局信息的优势,为实现多层资源优化、多层生存性优化提供快速高效的新方法。其中,网络功能开放是实现多层协同控制的重要基础。

4 基于软件定义的多层协同控制

光网络和IP网络基于软件定义技术实现能力开放后,各自具有一套完整的控制平面和独立的控制器。实现多层协同控制的关键是实现光控制器和IP控制器之间的交互,具体可分为两种协同控制模型,即对等控制模型和层次控制模型。

4.1 对等控制模型

扁平化控制模型的基本思想是,基于统一网络控制协议,屏蔽IP网络和光网络设备差异,设备间直接交互网络拓扑、资源状态等信息,由集中协同控制器实现IP网络路径计算、光网络路径计算和层间流量调度、路径计算和保护恢复协同等功能。对等控制模型如图2所示。虽然在物理部署上可能保留专门负责IP网络控制和光网络控制的设备实体,但在逻辑上这些实体属于集中控制器的功能模块。

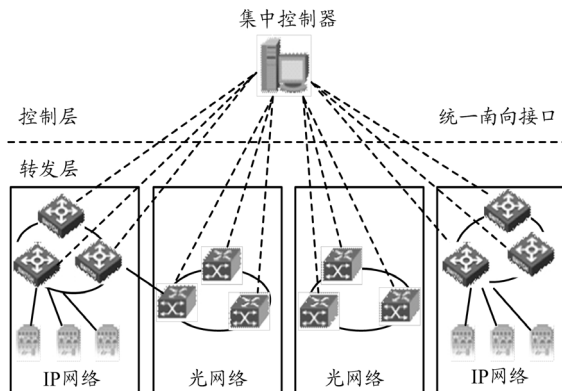


图2 对等控制模型

4.2 层次控制模型

层次化控制模型的基本思想是,引入高层协同控制器,运行在IP网络控制器与光网络控制器之上。IP网络控制器、光网络控制器作为底层控制器,负责各自网络层内的路径计算。高层协同控制器负责层间流

量调度、路经计算和保护恢复协同等功能。底层控制器与高层控制器通过控制器层间控制接口进行交互。层次控制模型如图3所示。

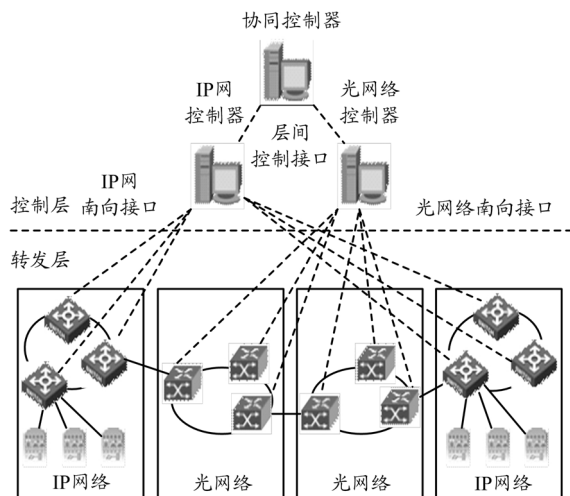


图3 层次控制模型

4.3 比较分析

表1从控制架构特征、控制平面实体类型、资源利用率、协同控制时间代价、网络可扩展性和实现难易程度等6个方面对两种控制模型进行了比较分析。

从表1可以看出,对等控制模型的优点表现在:①由集中控制器进行统一控制,端到端建路延时较低,资源调度速度快;②集中控制器直接获取转发层资源信息,用以进行路径优化计算,资源利用效率更高。不足表现在:①网络规模受限,集中控制器要同时维护IP网络状态和光网络状态信息并进行协同计算,所支持的节点数量会受到控制器处理能力的限制;②有一定实现难度,多层次多厂家设备均需要扩展现有协议,才可在数据网和光网络、核心网和接入网、无线网与有线网之间建立跨域控制。层次控制模型的优

表1 两种协同控制模型比较

性能	对等控制模型	层次控制模型
控制架构特征	单层控制	多层控制
控制平面实体类型	单一	多类
资源利用率	高	较高
端到端建路延时	较短	较长
网络可扩展性	一般	较好
实现难易程度	难	较容易

点表现在:①高层控制器屏蔽了底层控制的异构性,允许IP网络和光网络采用不同的技术独立演进,适合支持异构网络,例如IP网南向控制可选择Openflow协议,光网南向控制可选择GMPLS/PCE协议;②网络可扩展性好,控制平面的工作被分配在两层控制器完成,协同控制器负载较轻,只处理需要跨层协同的信息,易于支撑较大规模的网络,同时提高协同控制器的处理能力即可实现对更大规模网络的控制。不足表现在:①资源优化效率与层间交互信息抽象程度相关,需要在优化效率和信令代价计算能力之间找到合理平衡点;②控制层级引入新的交互延时,延长了端到端建路时间和网络故障恢复时间。因此,综合考虑,层次控制模型更适合作为大规模网络中“IP+光”的多层协同控制实现模型。

5 结束语

IP网络和光网络融合发展成为信息基础设施发展的必然趋势,IP层和光层资源的协同控制问题将成为两网融合过程中亟待解决的热点问题。本文首先分析了在层间控制中引入SDN技术的意义,然后分析了软件定义IP网和软件定义光网络的控制架构,并提出一种基于软件定义的“IP+光”层次协同控制模型,解决协同控制中网络扩展性和异构网络支持性问题,通过全局跨层优化,实现全网资源优化,提升网络业务开通能力。

参考文献:

- [1] CAO X, YOSHIKANE N, POPESCU I, et al. Software-defined optical networks and network abstraction with functional service design[J]. IEEE/Optical Journal of Optical Communications & Networking, 2017, 9 (4): C65-C75.
- [2] COX J H, CHUNG J, DONOVAN S, et al. Advancing Software-Defined Networks: A Survey[J]. IEEE Access, 2017(99): 1-1.
- [3] 曹毅宁,谢永强,许波,等. IP/WDM网络的跨层控制系统设计[J]. 计算机工程, 2014, 40(9): 87-91.
- [4] 梁思远, 杨武军. SDON中路径建立和资源分配研究 [J]. 光通信技术, 2017, 41(9): 5-8.
- [5] BAHNASY M, IDOUDI K, ELBIAZE H. OpenFlow and GMPLS Unified Control Planes: Testbed Implementation and Comparative Study [J]. IEEE/Optical Journal of Optical Communications & Networking, 2015, 7(4): 301-313.
- [6] 王晶,欧清海,廖道,等. 多层异构软件定义光网络协同互联方法[J]. 光通信技术, 2017, 41(7): 1-4.