

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

信息光子学与光通信系列丛书

面向数据中心的 软件定义光网络技术

**Software Defined Optical Networks
Technology for Data Center**

杨 辉 张 杰 赵永利 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

十二五国家重点出版物出版规划项目

信息光子学与光通信系列丛书

面向数据中心的 软件定义光网络技术

杨 辉 张 杰 赵永利 著



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

随着云计算服务的快速发展,数据中心光互联已成为适应大规模数据中心组网需求的关键技术之一,是支撑新一代互联网应用的基础设施。针对日益提升的用户数量与高等级用户服务质量需求,数据中心光互联面临着组网与控制的巨大挑战。本书以面向数据中心的软件定义光网络为研究核心,针对垂直“多层-承载”与水平“异构-跨层”的组网方式,围绕数据中心用户接入,基于光电混合组网、WDM光网络和弹性光网络的数据中心间光互联以及数据中心内部光互联若干应用场景展开研究工作,在架构模型、实现机理和控制策略三个方面深入分析,并分别进行了性能验证。相关研究工作对数据中心光互联的广泛应用及软件定义组网与控制的实用化具有重要参考意义。

图书在版编目(CIP)数据

面向数据中心的软件定义光网络技术 / 杨辉, 张杰, 赵永利著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-5635-4628-2

I. ①面… II. ①杨… ②张… ③赵… III. ①光纤通信—通信网—研究 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 317012 号

书 名: 面向数据中心的软件定义光网络技术

著作责任者: 杨 辉 张 杰 赵永利 著

责任编辑: 张珊珊

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

开 本: 720 mm×1 000 mm 1/16

印 张: 12

字 数: 228 千字

版 次: 2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4628-2

定 价: 29.80 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

随着云计算服务的快速发展,数据中心作为提供信息存储和信息处理能力的重要载体,是支撑新一代互联网应用的基础设施。激增的用户数和业务量以及纷繁变化的业务模式导致了数据中心规模不断增大,数据中心间信息流不断增长,海量信息进行高效高性能通信处理的需求愈发突出。传统以电交换为核心技术的数据中心网络遇到了带宽容量、能量消耗及传输距离等技术瓶颈。光互联凭借着其超大容量、高带宽和高能效等优势,成为适应大规模数据中心组网需求的关键技术之一。

数据中心光互联中存在着资源异质性与技术异构性的特征。针对日益提升的用户数量与高等级用户服务质量需求,数据中心光互联面临着组网与控制的巨大挑战。具体来说,数据中心光互联主要有两大组网方式:一种是从资源形态角度,将接入网、核心网与数据中心等异构资源沿水平方向“异构-跨层”组网;另一种则从流量工程出发,将不同交换粒度网络沿垂直方向“多层-承载”互联。进而在组网架构中形成三种应用场景,分别为面向用户接入的用户到数据中心互联、数据中心间光互联以及数据中心内部光互联场景。围绕不同场景,出现了面向数据中心用户接入的远程控制、数据中心间光互联中多层级资源优化以及数据中心内部光互联的时间感知资源调度等组网与控制关键问题。

针对上述问题与挑战,本书以面向数据中心的软件定义光网络为研究核心,针对垂直“多层-承载”与水平“异构-跨层”的组网方式,围绕数据中心用户接入,基于光电混合组网、WDM光网络和弹性光网络的数据中心间光互联以及数据中心内部光互联若干应用场景展开研究工作,在架构模型、实现机理和控制策略三个方面深入分析,并在数据中心光互联实验与仿真平台上分别进行了性能验证。相关研究工作对数据中

心光互联的广泛应用及软件定义组网与控制的实用化具有重要参考意义。

本书凝聚了笔者所在单位多年来的科研经验和实践总结,得到了国家“863”计划《新型超大容量全光交换网络架构及关键技术研究》、国家“973”计划《Pbits 级可控管光网络基础研究》等科研项目的支持,同时也包含了陈伯文、马辰、朱睿杰、白巍、姚秋燕、朱晓旭、谭渊龙等在攻读学位期间的部分研究成果,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,本书中难免有错误或者不周之处,敬请广大读者批评指正。

作 者
于北京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数据中心光互联发展现状与趋势	1
1.1.1 数据中心互联需求	2
1.1.2 数据中心光互联发展趋势	2
1.1.3 数据中心光互联面临的挑战	5
1.2 数据中心光互联中组网与控制关键问题	6
1.2.1 面向数据中心用户接入的远程控制问题	7
1.2.2 面向数据中心间光互联的多层级资源优化问题	7
1.2.3 面向数据中心内光互联时间感知资源调度问题	8
1.3 国内外研究进展	9
1.3.1 国外相关研究介绍	9
1.3.2 国际标准化进展	14
1.3.3 国内研究现状	16
1.4 本书的组成和主要工作	17
1.4.1 本书组成	17
1.4.2 主要工作	19
参考文献	22
第 2 章 数据中心应用驱动的软件定义光接入网控制研究	34
2.1 软件定义光接入网远程统一控制机制	34
2.1.1 软件定义光接入网功能架构	35
2.1.2 软件定义光接入网功能模块与协作关系	36
2.1.3 协议扩展与实现	38
2.2 软件定义光接入网中服务感知的流量调度策略研究	38
2.2.1 网络模型	39

2.2.2 策略描述	39
2.3 软件定义光接入网统一控制流程研究	40
2.4 软件定义光接入网系统及其性能验证	41
2.4.1 基于软件定义光接入网架构的实验与仿真系统	41
2.4.2 实验与仿真系统性能验证	42
2.5 本章小结	45
参考文献	45
第3章 支持数据中心间光电组网的多层资源集成机理研究	49
3.1 数据中心光电混合组网中多层资源集成架构	49
3.1.1 多层资源集成功能架构	50
3.1.2 多层资源集成功能模块与协作关系	51
3.2 多层资源集成架构下的流估计策略研究	52
3.2.1 网络模型	53
3.2.2 策略描述	53
3.3 多层资源集成架构实现协议与交互流程	54
3.3.1 多层资源集成架构中的协议扩展	54
3.3.2 实现多层资源集成的交互流程	55
3.4 多层资源集成实验与仿真系统及其性能验证	56
3.4.1 基于多层资源集成架构的实验与仿真系统	56
3.4.2 实验与仿真系统性能验证	57
3.5 本章小结	61
参考文献	62
第4章 基于 WDM 的数据中心间互联资源跨层优化技术研究	66
4.1 数据中心光互联资源跨层优化体系架构研究	66
4.1.1 面向跨层优化的光网络统一控制功能架构	67
4.1.2 服务控制器与应用控制器的协作流程	68
4.2 针对资源跨层优化的全局负载均衡机制研究	69
4.2.1 静态全局负载均衡策略	69
4.2.2 动态全局负载均衡策略	70
4.2.3 全局负载均衡策略仿真分析	73
4.3 资源跨层优化实验与仿真系统及其性能验证	77

4.3.1 基于跨层优化统一控制架构的实验与仿真系统	77
4.3.2 实验与仿真系统性能验证	78
4.4 数据中心光互联中资源跨层恢复机制研究	80
4.4.1 资源跨层恢复体系架构研究	81
4.4.2 数据中心服务部署与资源维护策略研究	83
4.4.3 典型故障场景下跨层恢复流程研究	87
4.4.4 跨层恢复实验与仿真系统及其性能验证	88
4.5 本章小结	93
参考文献	93

第 5 章 基于弹性光网络的数据中心软件定义组网方法研究 97

5.1 基于弹性光网络的增强型数据中心软件定义组网架构研究	97
5.1.1 基于弹性光网络的增强型软件定义组网功能架构	98
5.1.2 增强型软件定义组网功能模块与协作流程	99
5.1.3 基于增强型软件定义组网架构的传送感知跨层优化机制	101
5.2 增强型数据中心软件定义组网实现协议与机制研究	103
5.2.1 基于弹性光网络的增强型软件定义组网协议扩展	103
5.2.2 基于弹性光网络的增强型软件定义组网功能实现流程	103
5.3 增强型数据中心软件定义组网实验与仿真系统及其性能验证	105
5.3.1 基于弹性光网络的增强型软件定义组网实验与仿真系统	105
5.3.2 实验与仿真系统性能验证	106
5.4 弹性光网络中多流频谱级联机制研究	108
5.4.1 多流频谱级联使能的收发和控制实现模型	111
5.4.2 多流频谱级联模型中的动态 RSA 问题研究	113
5.4.3 多流频谱级联的仿真结果与分析研究	121
5.5 本章小结	126
参考文献	126

第 6 章 数据中心内部时间感知的软件定义调度机制研究 131

6.1 数据中心内部基于时间感知的软件定义体系架构研究	131
6.1.1 基于时间感知的软件定义组网功能架构	133
6.1.2 基于时间感知的软件定义组网功能模块与协作关系	133
6.1.3 协议扩展与实现	135

6.2 数据中心内部时间感知的服务调度机制研究	136
6.2.1 时间感知问题概述	136
6.2.2 网络模型	137
6.2.3 时间感知的服务调度策略描述	138
6.3 基于时间感知的数据中心内部光互联实现流程研究	139
6.4 时间感知的软件定义组网实验与仿真系统及其性能验证	140
6.4.1 基于时间感知的软件定义组网实验与仿真系统	140
6.4.2 实验与仿真系统性能验证	141
6.5 本章小结	143
参考文献	144
第7章 数据中心跨层虚拟化生存性映射技术	148
7.1 光层虚拟化需求	148
7.1.1 网络虚拟化技术	148
7.1.2 光网络虚拟化	149
7.2 光层虚拟化实现机理	150
7.2.1 OXC 和 ROADM 虚拟化	150
7.2.2 子波长交换虚拟化	151
7.2.3 网络资源抽象	154
7.2.4 光谱资源的虚拟化	155
7.3 考虑生存性的光网络虚拟化映射算法	156
7.3.1 多层虚拟映射算法	156
7.3.2 面向能效优化的虚拟光网络生存性技术	158
7.3.3 能效优化的虚拟光网络生存性模型	161
7.3.4 能效优化的虚拟光网络生存性映射方法	164
7.4 本章小结	168
参考文献	169
第8章 总结与展望	173
8.1 本书工作总结	173
8.2 未来相关工作展望	175
缩略语	177

第1章 绪 论

近年来云计算获得了前所未有的发展,数据中心作为云计算服务的实体得到了越来越多的关注。光网络凭借着其超大容量、高能效和灵活性等优势,成为适应大规模数据中心组网的关键技术,数据中心光互联也成了未来光网络的重要应用场景。由于资源和技术的异质性,数据中心光互联遇到了组网扩展和控制复杂的挑战。本章综述了数据中心光互联发展现状与趋势,重点分析了数据中心光互联在组网与控制方面存在的面向用户接入远程控制、数据中心间光互联多层级资源优化以及内部光互联的时间感知资源调度问题,并以上述问题作为出发点,阐述了面向数据中心光互联的软件定义组网和集成控制的研究意义,介绍了本书的组织结构和完成的主要工作及创新性研究成果。

1.1 数据中心光互联发展现状与趋势

数据中心是当前以云计算服务为代表的互联网技术中不可或缺的信息重要载体,提供信息存储和信息处理,是互联网服务的核心基础设施。激增的用户数和业务量以及纷繁变化的业务模式使得数据中心需要应对的并发负载与日俱增,导致数据中心的规模不断增大,能耗也呈超线性增长。数据中心间的数据备份、信息同步及控制协同需求推动了数据中心间通信组网的必要性进程。同时,随着数据中心规模不断增长,海量信息进行高效高性能通信处理的需求愈发突出,传统以电交换为核心技术的数据中心网络遇到了带宽容量、能量消耗及传输距离等技术瓶颈。光互联凭借着其超大容量、高带宽、高能效和灵活性等优势,成为适应大规模数据中心组网的关键技术。在光网络技术发展以及数据中心业务的驱动下,数据中心光互联在数据中心网络发展变革中经历了面向光电混合组网、波分复用(WDM)光网络和弹性光网络的数据中心光互联三大阶段。由于资源和技术的异构性特征,数据中心光互联面临着组网与控制的巨大挑战。而这些挑战必然驱动未来的数据中心光互联向着开放组网与智能控制的方向发展。

1.1.1 数据中心互联需求

据 IBM 报道,现今世界上 90% 的数据仅仅是由近两年产生^[1]。International Data Corporation(IDC)预计,数据容量每 18 个月将翻番,至 2020 年,世界上所产生和复制的数字信息将增长至近 40 ZB(Zettabytes),约为 2010 年数字信息总和的 50 多倍。届时,地球上人均拥有 5 247 GB 的信息量,并且 40% 的数据信息需要得到某种方式的保护。值得注意的是,这些迅猛增长的海量信息,大多数是由商业数据中心及提供云计算或外部存储的供应商产生,并且超过 90% 的数据是非结构化的数据^[2]。由此看来,以数据中心为典型应用的时代已经到来。

数据中心作为当前云计算服务的重要载体,结合先进的网络技术和存储技术,承载了网络中大部分的业务服务和数据存储量,为客户服务体系的良性运行提供服务和操作平台^[3-5]。根据“赛迪顾问”统计,中国数据中心市场规模在 2013 年超过 977 亿元,近五年的年复合增长率达到 24.5%。随着数据容量的爆炸式增长和业务用户的激增,数据中心服务器数量与数据中心规模急剧增加,数据中心服务器之间、不同数据中心之间的数据备份、信息同步及控制协同等需求愈发迫切,亟待通过通信网络技术解决这些难题,完成数据中心的互联需求。数据中心互联是数据中心的网络基础设施,通过高速的链路和交换机连接着大量的服务器。数据中心互联利用各类数据在服务器间的组织交互,向用户提供各种敏捷和高效的信息服务^[6-8]。一个典型的数据中心包括数万台服务器,它们形成一个或多个集群,每个集群包含多组机架,每组机架配置数十台服务器,通过机架开关相连^[9]。这些数据中心集群通过集群开关进行组网并连接到数据中心路由器,完成终端用户到数据中心之间的业务流交换^[10]。

1.1.2 数据中心光互联发展趋势

传统的数据中心之间,数据中心内部服务器之间,以及服务器内部芯片之间采用铜质电缆连接完成信息通信交互。然而,在电缆连接中数据的传输能耗极为严重,并且由于铜线所能承载的带宽相对较低,大量的空间都被电缆占据,散热问题十分突出。此外,随着数据中心的物理规模不断扩大,计算能力不断增强,系统中数据的通信交互量将呈指数式增长,作为支撑的电交换网络在交换容量和互联时延等关键需求上面面临着更加严峻的挑战。最终,由于电子互联在数据速率、物理距离、能量消耗、可靠性等方面不能很好地扩展,大规模系统对于更宽总线与更多设备的需求,会将电子互联的容量推至极限。光互联凭借着其超大容量、高带宽、高能效和灵活性等优势,成为适应大规模数据中心组网的关键技术。

在光传输技术发展以及数据中心服务带宽的驱动下,数据中心光互联在数据中心网络发展变革中经历了以下若干重要阶段。具体发展趋势如图 1-1 所示。

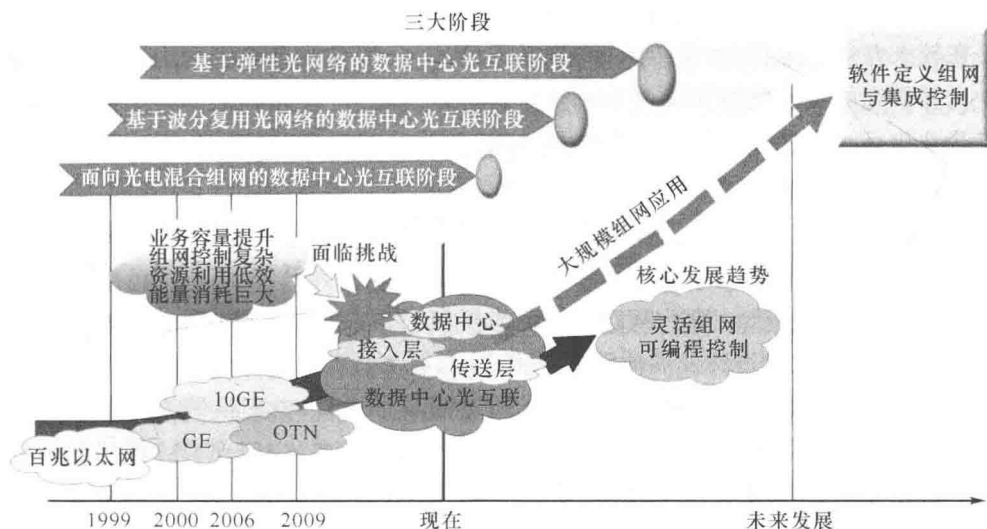


图 1-1 数据中心光互联演进图

1. 面向光电混合组网的数据中心光互联阶段

传统的数据中心电互联由于交换容量和能耗等问题,逐步向面向光互联组网的数据中心应用场景过渡。一方面,在数据中心业务增长初期,数据中心服务器数量与通信传输带宽的增加趋势初露端倪,对保守的服务提供商和网络运营商来讲,针对当时的需求没有必要将运行维护中已经成熟的电交换网络一次性全部替换为光网络。另一方面,由于成本和技术的制约,在设备更新换代和技术发展过程中,一部分电交换设备和电缆被更换,这也会不可避免的出现电交换网络与光网络在数据中心互联场景下共存的情形。这就形成了面向光电混合组网的数据中心光互联阶段。

在此阶段中,电交换网络与光网络组网模型分为两种,一种是对等模型(Peer-to-Peer),另一种是重叠模型(Overlay)。在对等模型中电交换网络与光网络以相同的网络地位相互连接,构成光电混合组网。一般来说,电交换网络处于网络边缘侧,将数据中心服务器中突发的小带宽粒度业务汇聚到处在核心侧的光网络中,完成大粒度高带宽的业务光传送。而在重叠模型中电交换网络与光网络以重叠的模式互联,在逻辑连接中电交换网络处于逻辑上层,光网络则处于逻辑下层^[1]。数据在重叠模型下的光电混合网络传送过程中,根据不同数据中心业务属性利用网络间各自优势选择传输媒介,实现资源最优化利用并提高网络性能。小粒度的数据包可以利用分组交换的优势在电交换网络中传送;当大带宽数据中心业务到来时,通过光旁路方式将

业务疏导到光网络中,利用光网络大容量低时延等优势实现大带宽业务提供。

2. 基于波分复用(WDM)光网络的数据中心光互联阶段

由于光子作用机理自身的特征,导致全光网和以电交换为主的传统网络架构存在较大差别。早在 20 世纪末,波分复用(WDM)技术的迅速崛起引发了人们对全光网研究的极大关注^[12]。WDM 技术通过频分复用,将光域上多种不同波长的光载波信号在发送端经复用器汇合在一起,并耦合到光线路的同一根光纤中完成传输。在接收端,经分用器使各种波长的光载波分离,然后作进一步处理,由光接收机恢复原始信号。WDM 将光纤的可用带宽通道化,提出了端到端的透明波长通道概念,每条波长通路通过频域实现分割并占用一段光纤带宽,提供了光纤带宽资源使用的高效方法。基于 WDM 的全光网解决方案已成为主流,被采纳至光传送体系中,成为光传送网发展的重要技术之一。

随着数据中心业务增加及数据中心间通信需求增长,电交换网络与传统光网络的通信带宽和传输时延已经不能满足日益增长的需求,应用 WDM 网络作为数据中心光互联的实现技术已迫在眉睫。这就形成了基于 WDM 光网络的数据中心光互联阶段。WDM 通过技术优势和特点,更好地适配数据中心应用需求。(1)传输容量大,可节省宝贵的光纤资源。对于 WDM 系统而言,整体复用系统可以将若干个承载数据中心应用的信号用一对光纤完成传输。(2)对各种服务信号“透明”,能够传送不同类型的信号,并可以对其实现合成和分解。(3)网络扩容时不需要铺设额外光纤,也不需要利用高速网络部件,只需更换终端机和添加额外的光波长即可以引入任何新的业务或扩大容量。(4)建立动态可重构的光网络,在网络节点中,利用可重构光分插复用器(ROADM),在线完成波长级业务动态调度,组建具有高度可靠性、灵活性和生存性的全光网络。

3. 基于弹性光网络(Elastic Optical Network)的数据中心光互联阶段

基于 WDM 的全光网络能面向数据中心业务建立端到端的全光连接,其波长通道成为信号传送与带宽调度的基本单位。然而,WDM 光网络的问题根源在于,为了简化组网的实现难度,在资源分配与带宽管理方面采用“一刀切”的模式,即通道间隔、调制格式和信号速率等参数均是固定不变的,这导致了 WDM 光网络灵活性较低、带宽浪费严重,难以满足未来高速率、大容量及可扩展的数据中心网络传输需求^[13]。具体表现为:(1)在通道建立时,不能根据实际数据中心业务容量的需要灵活弹性的分配可用带宽资源,导致频谱利用率低下;(2)当通道容量要求为多个波长带宽时,WDM 光网络由于相邻波长之间的保护频谱间隔,使得此类超波长数据中心业务无法在网络中适配承载;(3)通道建立后,无法动态调整通道间隔、信号速率与调制格式,难以适应数据中心业务和网络性能变化。

为了更好地利用频谱资源及有效的承载超波长数据中心通信带宽需求,弹性光网络(Elastic Optical Network, EON)作为新一代全光网技术的代表应运而生。在弹性光网络中,进一步细化并分割网络频谱资源。现有的 WDM 网络架构中符合 ITU-T 标准的固定波长栅格被进一步细化为更窄小的频谱单元,这些窄小的频谱单元被称为频谱隙^[14,15]。与分组网络相比,弹性光网络是从频域上划分最小粒度单元,并可根据数据中心业务需求分配一定数量的邻接连续频谱单元,从而完成根据用户需要及实际业务量大小,动态有效地配置相应的频谱资源并分配适当的调制格式,完成数据中心服务提供^[16-18]。由于数据中心业务呈现出大带宽特性,尤其是以超波长业务为代表,弹性光网络技术应用在数据中心光互联中成为必然趋势。这就形成了基于弹性光网络的数据中心光互联阶段。在此阶段中,包括超波长与子波长在内的数据中心动态业务都可以利用弹性光网络中窄小频谱单元实现按需分配,节省波长间的保护频谱间隔,并通过弹性光网络完成信号传输参数的动态调节,提高光网络频谱利用率。

虽然上述三个数据中心光互联阶段在技术上呈演进趋势,但是针对不同数据中心规模,面向不同数据中心用户需求,在数据中心实际的应用中三种光互联场景都具有现实意义。因此,以上三种数据中心光互联场景亟待研究。

1.1.3 数据中心光互联面临的挑战

随着云计算和以高清视频传输为代表的高带宽数据中心应用的发展,用户对服务提出了更高级别的端到端服务质量(QoS)和体验质量需求。这不仅仅对数据中心光互联的网络信息承载能力提出了更高要求,对服务质量相关的应用参数如计算和存储资源使用等也同样关注。如何充分利用数据中心光互联中的光网络资源与数据中心应用资源,提高信息传输与交换能力,数据处理与存储能力,成为未来数据中心光互联发展的关键问题。实现通信容量、计算处理、资源利用、能耗节省、应用灵活和成本效益等数据中心光互联性能的全面提升成了未来数据中心光互联发展的主要趋势。

然而,在传统的数据中心光互联网络架构中,数据中心与负责相互连接的光网络由不同运营者采用不同技术实施分别管理,例如服务提供商基于 OpenStack 框架管理数据中心中的大量计算和存储资源^[19],而网络运营商采用基于通用多协议标志交换协议(GMPLS)的控制平面控制光网络中端到端连接路径的建立与拆除^[20]。此外,光网络依据不同运营商或同一运营商网络的不同地理位置,或者是不同的交换技术,分割的不同网络域之间一般实行分布式控制与管理,甚至不同厂商的设备都拥有各自的私有控制协议与管理接口。因此,数据中心光互联网络中存在着大量的资源异质性与技术异构性特征。针对日益提升的用户数量与高等级

用户服务质量需求,数据中心光互联面临着规模扩展困难、资源利用低效、维护控制复杂、调度协同烦琐和服务响应缓慢等问题,进而制约了数据中心光互联发展,使得数据中心光互联技术面临巨大挑战。

总结起来,数据中心光互联所面临挑战的核心是组网与控制问题。在当前数据中心光互联网络架构中,缺乏一种统一有效的组网与控制方式,通过对异质资源的统一集成控制,完成数据中心与光网络的高效率异构组网,进而实施对数据中心应用资源与光网络资源的高效管理与利用,以降低服务响应时间与运营维护成本。

1.2 数据中心光互联中组网与控制关键问题

数据中心光互联的组网方式主要包含沿两个方向的扩展。一种是从资源形态的角度,将接入网、核心网与数据中心等资源沿东西水平方向进行互联,形成异构资源的组网与互联互通,即所谓的“heterogeneous-cross-stratum”(异构-跨层);另一种则从流量工程出发,将具有小交换粒度的相关实体抽象为高层网络(如 IP 分组网络),而将大交换粒度的实体抽象成较低层网络(如 WDM 网络和弹性光网络),形成南北垂直方向的互联和组网,即所谓的“multi-layer-carried”(多层-承载)。进而在数据中心光互联组网架构中形成三种应用场景,分别为面向用户接入的用户到数据中心互联、数据中心间光互联以及数据中心内部光互联场景。围绕上述不同应用场景,面临着以下需要解决的关键问题。图 1-2 给出了数据中心光互联组网方式、应用场景以及相关问题的逻辑关系。

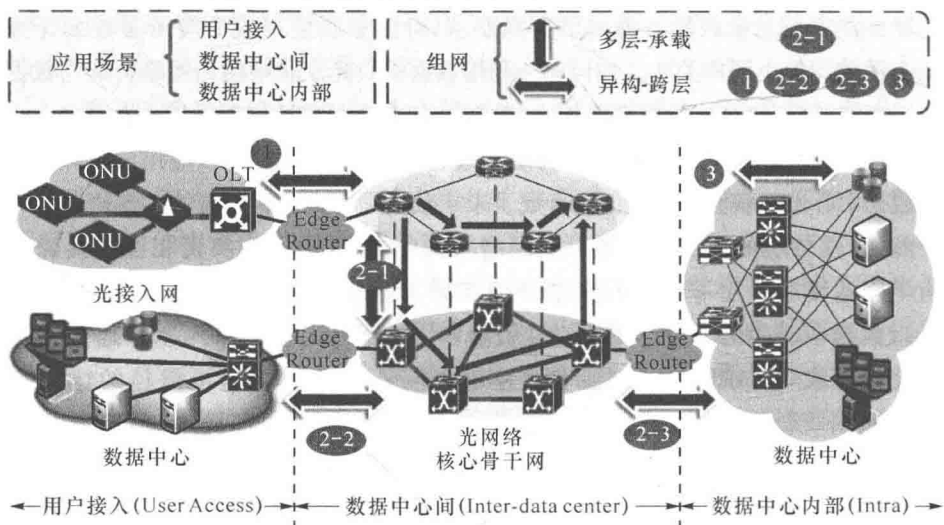


图 1-2 数据中心光互联组网方式、应用场景与相关问题关系图

1.2.1 面向数据中心用户接入的远程控制问题

在数据中心光互联网络架构中,用户处于网络接入侧,数据中心的部署以及网络运营者则处在网络架构中的不同位置。这导致了用户与数据中心之间网络结构不同,以及用户与运营者之间距离较远的实际情况。当前的网络架构中,针对网络结构不同的解决方案是分别用不同的管理控制机制维护接入网与数据中心网络,这样可以得到局部优化的网络解决方案,但是很难以全局视角做到端到端的 QoS 保证。针对距离较远的解决方案为运营者定期到用户所在的接入网络域,根据域内的用户分布情况和应用服务情况,用网管系统配置相应的接入网络资源和管理策略,当用户数量分布变化或者数据中心应用需求改变时,运营者需要再次赴现场配置,这就导致了运营维护成本(OPEX)的大大增加。虽然各家接入设备厂商在努力研制智能化网管系统,但是相对静态的配置方式也很难适应日益动态化的数据中心应用需求。因此,如何有效地保障用户端到端服务质量,实现网络中用户接入的更加灵活以及网络资源对应用需求的高效适配,完成对接入网的远程统一控制和资源协同调度将成为面向数据中心用户接入的关键问题,如图 1-2 中问题 1 所示。

1.2.2 面向数据中心间光互联的多层级资源优化问题

在不同数据中心之间,以数据备份、虚拟机迁移为代表的数据中心通信业务需求量越来越大,直接导致了面向数据中心间的光互联应用场景出现。不同数据中心一般位于不同地理位置上,因此数据中心间互联涉及跨省甚至跨洲跨国家的通信交互,连接的距离相对较长。此外,经过数据中心内部网络流量的汇聚,数据中心间出口的数据流量呈现出高带宽的特征。所以数据中心间光互联一般由骨干核心网络或者城域网络承载。如前文所述,在不同数据中心间光互联的应用场景中,电交换网络、WDM 光网络以及弹性光网络多种传输设备不同网络技术交织,形成垂直“多层-承载”组网方式(如图 1-2 中问题 2-1 所示);同时基于 WDM 网络及弹性光网络的网络资源与数据中心应用资源异构资源混叠,形成了水平“异构-跨层”组网方式(如图 1-2 中问题 2-2 和问题 2-3 所示)。这些都导致了多层级资源互联与控制协作困难等问题。此外,数据中心所承载的业务流量不仅基数大,而且具有突发性及不可预测性,当网络或者数据中心出现灾难性故障后,导致故障发生情况下业务恢复困难的问题;弹性光网络中由于业务突发性导致频谱资源碎片的问题,也都对多层级资源优化带来冲击。因此,如何对 IP 网络、WDM 光网络、弹性光网络和数据中心等水平与垂直组网导致的多层级资源进行集成控制优化,针对不同数据中心业务需求,实现多层级资源调度协同、分配管理及联合优化将成为面向数

据中心间光互联的关键问题。

1.2.3 面向数据中心内光互联时间感知资源调度问题

数据中心内部光互联一般处于同一地理位置内,由几十至数万不等的服务器组网而成,这就形成了数据中心内部光互联距离较短,交换机的端口维度大等特征,同时网络使用高基数光交换机连接大量机架或底层交换单元。因此,数据中心内部光互联网络与数据中心间互联场景具有不同特点。此外,不同于用户接入和数据中心间互联场景,数据中心内部的数据交互更加繁重,控制协同更为频繁,形成了数据中心内部业务数据具有高突发性和时间敏感性的特征。另一方面,基于云服务包括搜索在内的很多数据中心应用,强调完成多个并发请求的吞吐量,而不是单个请求的最短完成时间,在满足服务等级协议(SLA)的前提下,单个请求的完成时间未必越短越好(即“弱延迟”要求),还要考虑与其他请求的资源共享效率。而传统的光互联网络一般很难区分业务等级与时间敏感度,所以在适配上述两种业务时往往带宽利用率不高,频谱使用效率低下。因此,如何应对数据中心内具有不同时间敏感度的业务信息流,并针对通信业务高突发性和时间敏感特征,实现时间感知的服务快速响应和资源跨层调度将成为面向数据中心内部光互联的关键问题,如图 1-2 中问题 3 所示。

为了解决以上数据中心光互联中组网与控制所面临的问题与挑战,软件定义网络(Software Defined Networking, SDN)应运而生。当前,作为一种有前景的集中式控制架构,软件定义网络受到设备商、运营商和服务提供商的关注与追捧。通过支持数据中心与网络功能的可编程化,软件定义网络可以为操作者提供最大化的灵活性。通过对异构资源的虚拟化处理,软件定义网络将异构资源抽象为统一接口,帮助完成统一的集成化控制,实现多层资源的联合优化。软件定义网络具有开放式可扩展的组网架构、简洁轻量的协议、统一的资源抽象接口和快速服务响应等方面的优势,能够有效地解决数据中心光互联组网与控制的问题。因此,面向数据中心的软件定义光网络是未来网络发展的必然趋势,技术应用的必经之路。

面向数据中心光互联的软件定义组网实现了一种新型网络组织架构,将网络中交换设备的控制功能与传输转发功能相分离,将底层网络抽象成统一的可定制化资源呈现给依托网络的数据中心上层应用服务。类似于计算机操作系统,面向数据中心光互联的软件定义组网将网络架构打造成网络操作系统,搭建基于网络资源与数据中心应用资源的资源控制平面,使得运营者对网络的组网扩展、控制调整、资源调度和策略升级等操作变得像智能手机中安装或删除应用软件一样便捷。数据中心光互联网络通过软件定义组网方式,完成从传统的封闭式网络变革为具