



下一代传输网

Sparks A K, Tancevski L

(阿尔卡特朗讯 美国新泽西州莫雷山 07974)

摘要: 电信传输网透明、可靠、高效地承载汇聚后的通信信息,从而全面支持通信服务提供商的各种业务并为网络层(IP、以太网、ATM、TDM等)提供服务。光学技术的发展对于实现可扩展性和高性价比的电信业务一直发挥着重要作用,同时这些技术与外部驱动力的结合将会对下一代传输网络的形成起到至关重要的作用。讨论了网络转型的驱动力,给出了未来网络架构及传输网将如何改变的愿景,并对作为网络转型核心的网络属性和相关的技术发展方向进行了论述。

关键词: 下一代传输网;网络功能虚拟化;内容分发网络;软件定义网络

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.08.001

Next Generation of Transport Networks

Sparks A K, Tancevski L

(Alcatel-Lucent, Murray Hill, New Jersey 07974, United States)

Abstract: Telecommunications transport networks carry aggregated communications information transparently, reliably and efficiently, supporting a full range of communications service provider (CSP) services and service networking layers (IP, Ethernet, ATM, TDM, etc.). While optical-specific technology advances will continue to be essential for continued scalability and cost/bit advances, it is asserted here that a combination of external drivers will have the greatest impact on shaping the form of the next generation of transport networks. The converging drivers for change were discussed, a vision of how the broader network architecture as well as transport networks change was laid out, and the changing network attributes and technology directions central to this transformation were illustrated.

Key words: next generation of transport network, network function virtualization, content delivery network, software defined networking

1 背景

长期以来,电信传输网的历史作用一直是用于透明、可靠、有效地承载汇聚后的通信信息。正因为如此,传输网能全面支持通信服务提供商(communications service provider, CSP)的各种业务并为网络层(IP、以太网、ATM、TDM等)提供服务。由于传输网的网络规划、工程部署和配置以及上层的客户服务层都需要大量的人工分析和现

场手动操作,部署在网络上的“网络容量矩阵”的配置(拓扑结构、链路容量、通道路由)一直是相对保守、静态的。因此,网络的传输层被认为是与传输层之上的用户层解耦的,而且很大程度上独立于上层应用运行。随着先进的软件虚拟化及自动化技术的出现,以前构建和操作业务与网络的方式正在发生转变,传输网络独立于网络其他部分的模式,将被一种全新的、更加相互关联的模型所取代。

在过去几十年里,光学相关技术的发展在实现新型



的、具有可扩展性的、高性价比的电信业务中发挥着重要作用,并且未来很大程度上将继续保持下去,这些技术与外部驱动力的结合将会对下一代传输网络的形成起到至关重要的作用。具体来说,以下3个因素将会推动下一代传输网络的定义。

- 无处不在的视频。视频正日益成为包括网上学习、资源共享、娱乐、市场营销以及通信等诸多应用的主要形式。
- 自动化的云网络。用于连接分布式云节点和企业数据中心的新型自动化网络互联业务带来的新需求。
- 网络虚拟化。网络的构建方式正向着网络功能和连接的虚拟化、自动化转变。

总体来说,视频、云计算以及网络功能虚拟化(network function virtualization,NFV)被普遍认为是承载信息通信技术(information communication technology,ICT)产业的主要力量,然而一些业内人士仍然不清楚这些变化将如何显著地影响位于网络协议栈底层的传统上独立的传输网络层。在推动网络从静态化到动态化的过程中,网络智能将发挥更加核心及“在线”的作用。在许多其他领域(ICT产业之外的其他领域),解决方案正在积极向软件化转变,从而使得网络、设备或服务更加简化、自动化。因此,当今任何关于下一代传输网络的研究分析都必须鉴于软件驱动虚拟化的改变,从而转变上层服务层及网络层自身很多部分。但要充分认识到这些传输网络的影响,首先需要了解服务环境的根本改变及由此对网络整体产生的改变。

本文讨论了网络转型的驱动力,给出了未来网络架构及传输网络将如何改变的愿景,并对作为网络转型核心的网络属性和相关技术发展方向进行了论述。以下将对各个关键性因素做详细的阐述,这些因素将产生一系列相互关联的变化,并最终推动下一代传输网络的发展。此外,本文还以实例说明以传输为中心并集成跨层设计的下一代传输网络的实施方案。最后列举了基于下一代传输网络的一系列自上而下的需求,并给出了逐步向这一愿景演变的应用案例。

2 视频的不断进步及其影响

毫无疑问,随着网络容量的增长,未来将有一些新的应用作为需求驱动的主导。然而在可预见的未来,视频内容的增长仍将是业务流量增长的主要因素。贝尔实验室保守估计美国的城域信息量将在未来5年内(2012–2017年)增长560%(如图1所示),其中视频信息量的增长将起到

主要推动作用,达到720%。这些视频信息量的增长包括技术专业和商业领域及用户生成的视频内容增长(用户通过固定及移动设备无处不在地随时访问这些视频内容)以及下一代用户对学习风格、娱乐偏好及整体娱乐信息消费习惯的转变。

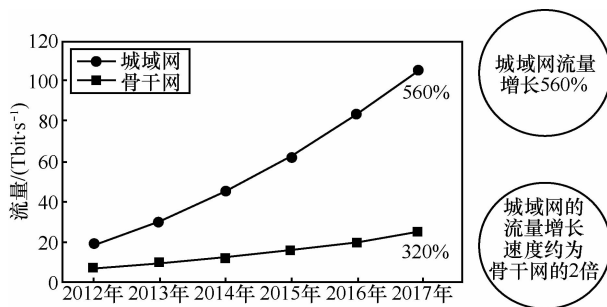


图1 流量增长预测(来源:贝尔实验室城域网流量增长研究)

然而随着消费者的观念发生显著变化,越来越多的消费者不愿意支付所有的视频内容,从而很大程度上孕育出一些新型商业模式。这些模式通过互联网广告形式给消费者提供海量免费视频内容(零成本),从而最大程度地吸引观众“眼球”。这种大容量的视频需求加上适度的收益意味着疯狂增长的视频业务将给网络成本(特别是传输网)带来巨大的压力。另一方面,这也将更有效地推动视频内容分发以及分布式内容分发网络(content delivery network,CDN)的部署。

现今CDN通常实施跨地理区域部署,比如在一个大城市中心或区域中心,这样可以同时减少CDN到终端用户和到互联网的传输时延。如图2所示,分布式CDN节点(例如使其分布在城市边缘)更进一步地减轻了那些CSP网络冗余流中被反复使用的比较热门的内容的负载,从而进一步降低时延。分布式站点仍需具备IP网关(宽带网络网关或移动网关)和相关功能模块的能力以将本地用户链接到CDN。为了降低这些分布式节点建设、运营和需求规模的成本,许多或者绝大多数分布式功能模块将被虚拟化并由通用处理器(general purpose processor,GPP)统一操作运行。灵活的自动化软件定义网络(software defined networking,SDN)控制将成为以相同速度互联这些虚拟化自动功能模块的必要选择,并能灵活地适应由于城域网流量越来越分散而造成的不断增长的动态变数。如图2所示,归根到底,视频业务及利润的快速增长带动了网络正在向分布式虚拟化架构逐渐转型。

纵观历史,当大量信息流量被电话或宽带专线业务占

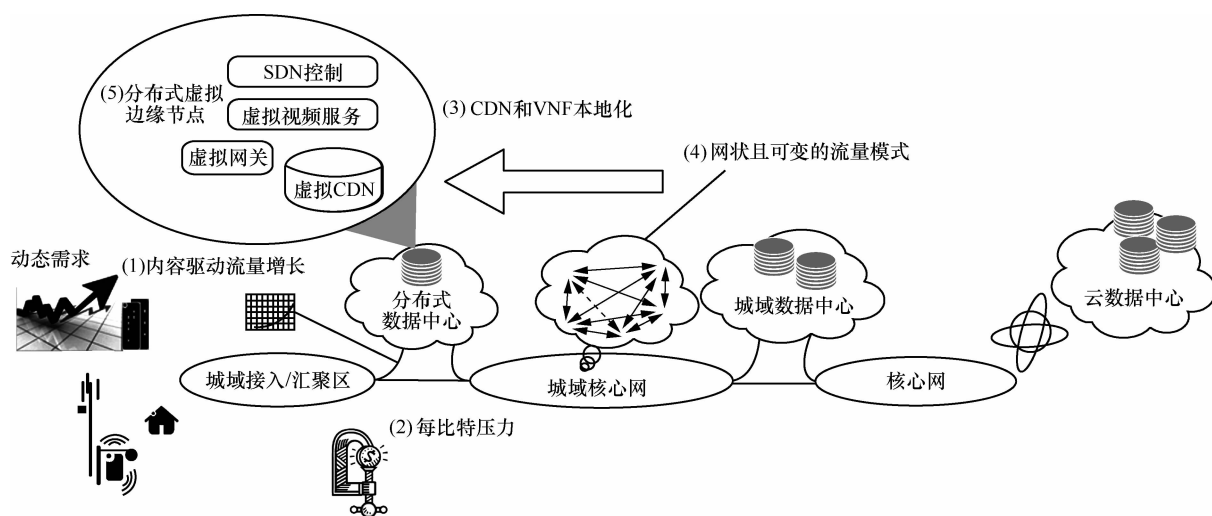


图2 分布式虚拟边缘节点的驱动力

用,城域网和核心网的流量模式都是高度网络状的。随着互联网业务的集中式数据中心逐渐成为主导,城域网的流量将变得高度集中。而今,随着虚拟数据中心架构中的小型分布式模块(例如缓存内容、IP网关、其他虚拟网络功能模块以及及时延敏感业务应用)被部署在网络边缘,北向(网络侧)流量模式将再一次被网络化并更加动态化。因此,网络化核心和集中化边缘的分界线将转移到这些新型虚拟化边缘节点,在传输网主导中形成一条新的最优网络化和最优集中化的分界线。虽然分布式CDN能减少爆炸式增长的视频流量对虚拟化边缘节点的影响,却不能降低接入或融合网络中暴露下行大数据量内容的风险。

通过上述介绍的因视频需求带动主要网络拓扑结构的改变、流量模式的改变以及需求的变更,可明显看出传输网络中对灵活适应性、高端可扩展性以及成本优化的需求越来越显著加强。此外,云服务和网络虚拟化变革趋势对电信运营商的客户乃至运营商自身网络都将产生更为广泛的影响并更大程度地增加对网络的压力。

3 SDN——云速网络

随着“云模型”以及更多云服务类型(如许多大众消费者和企业所使用的“软件即服务”、“设施即服务”、“平台即服务”)的出现,越来越多的应用正从专用网络上的私人数据中心移植到通用的虚拟的多租户的云端。将企业私有DC资产与虚拟私有云的弹性能力相结合的混合云也是一种非常有前途的模式。为了实现这些分布式云模型的价值,这些

分布式企业和云DC节点的互联响应必须和云节点自身响应在同一个时间范围内——这就是所谓的云速度。

然而现今网络包含手动配置步骤以及基于每一层每一个区域的片断化操作“烟囱”,这样的网络并不能完美匹配IT基础架构的速度和灵活性。同时阻碍了云服务的发展,因为它限制了云服务虚拟化实例放置、互联、移动的灵活性和效率。因此,在“云世界”里为了实现一个网络的价值,最重要的发展就是允许云端应用程序如同在计算机或存储资源上一样流畅地使用云网络。

这种新式的网络运营模式随着SDN的出现变得可能。如图3所示,SDN控制框架通过从触发云网络开始或通过标准化应用编程接口(API),让网络拓扑结构和状态的探索、网络之间的协调以及网络连通性策略驱动的配置变得更加自动化和虚拟化。这些云节点之间的网络连接可能是直接的大容量、低时延的L1/L0传输服务,或是更常见的L2/L3虚拟专用网(VPN)。然而对于任何一种网络连接,若要提供高级别动态弹性容量就必须要求网络拥有迅速自动调整传输层网络容量矩阵的能力。此外将网络弹性可用容量动态地运用于路由以从中获取最大利益。

对于云转换来说,SDN发展最初关注的焦点,已经在网络L3/L2实现,主要是在IP、以太网以及数据中心内。然而,现在有一个被广泛接受的现实,即为了充分使能云改变,光传输层必须被纳入框架内。除了提供基本的网络层,传输层在以下几个方面也是有用的:

- 数据中心互联,它可以提供具有多协议客户支持的波长服务;

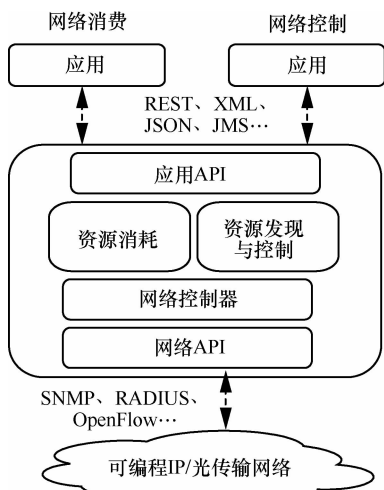


图3 SDN 控制框架

- 为以太网和其他 DC 相关客户提供高速连接；
- 为 IP 路由器之间提供光连接。

将传输层包含在云架构中并允许真正地多层全局地控制网络资源,可以大大提高运营效率并更快地呈现端到端的服务。

为了允许传输层适当地参与 SDN 框架,它需要能够提供资源和拓扑信息,并且能够满足通过标准化 API 提出的网络服务需求。SDN 框架可利用这些信息和能力来集中地执行多层/跨层网络规划、计算和优化,并且可定义策略把适当的服务映射到网络基础设施(包括 packet-optical、L1 和 L0)以满足网络应用需求。

这样,SDN 控制引入了配置模型支持弹性网络的要求,代替当前的静态网络资源消耗;通过标准化的应用可编程接口代替专有接口和手动的集成构成,从而加快自动化的效率。这些功能需要被应用和集成到所有网络层和网络服务类型,以下将专注于传输层。

为了说明这些概念,考虑一些特定的应用案例是有用的。以下描述了 SDN 应用于传输服务的应用案例,而更多地涉及跨层联网(即保护多个网络层面和服务层面)垂直整合的应用案例在第 4 节中阐述。

(1) 动态连接矩阵

动态连接矩阵将 SDN 应用于传输网络,使得用户能够动态地管理在广域网上各个业务接入点之间的连接矩阵,例如在其数据中心的 10GE 端口和虚拟专有云数据中心。网络资源可以被用来快速灵活地适应出现和消失的应用程序需求,并减轻 IT 维护活动或中断。这种需

求可以根据流量模式的统计数据自发地改变或按预先计划改变,如传输模式的昼夜场景变化、预先计划好的活动如备份或数据同步。涉及的传输服务可能是标准的带宽服务或者特定的低时延或加密服务——这对于金融机构尤其重要。

对该操作至关重要的是用户可以通过 SDN 框架获得网络的抽象视图,通过该视图用户可以操纵其支付资金所获得的网络资源分片。在 SDN 多租户管理中,客户可以进行这样的操作,而不影响分配给其他客户的资源(而这资源是位于基础设施中共享网元的)。

在如图 4 所示的示例中,企业检测到拥塞,通过自动化的 API 或 IT 操作人员半手工操作产生一个广域网容量矩阵变化的请求。判断该请求是否符合服务策略,SDN 集中式资源管理确定和验证需要执行变化的资源是否可用;然后,通过 SDN 控制器配置相关的网元分配/调整相关网络资源。以这种方式在网络资源之间保持了完整的隔离,而客户能够无时延地直接管理其虚拟传输网络的连接参数,相比而言没有通过服务提供商订购的接口的复杂性和时延(如排队、等待新服务的启动等过程)。

这个应用案例对提供按需服务给需要灵活连接横跨某些地区的其他服务提供商是很重要的。

(2) 弹性的传输容量

这是另一种类型的灵活的传输服务,使客户能够修改点对点连接的带宽,该带宽可以调整至该业务的最大容量或该服务访问点接口的最大容量。假定,在传输网内复用多个业务(这些业务是在相同的 L0/L1 基础设施之上的),所需的“净空”(有效剩余)资源可以有效地被多个业务共享以及可以被分配给特定的按需服务以适应弹性服务请求。这个应用案例支持类似云突发的场景,如在高峰时段客户需要从服务提供商的数据中心访问额外的资源,或者为工作负载迁移预留额外的资源。

如图 5 所示的示例中,在企业和云数据中心之间,容量适中的 1 Gbit/s 的传输连接在正常操作情况下是足够的,但不能完全满足快速迁移的临界云工作负载的峰值需求。企业仅需要支付他们典型使用的容量,而对于相对不经常使用的动态弹性突发容量,用户心甘情愿支付 CSP 的一个大幅溢价,而不需要很浪费地为这很小部分时间建立一个专门的一直存在的 5 Gbit/s 连接。请求机制和突发容量的保证类似于前面应用案例中概述的步骤。注意,路径的变化是要满足请求的扩展容量需求。

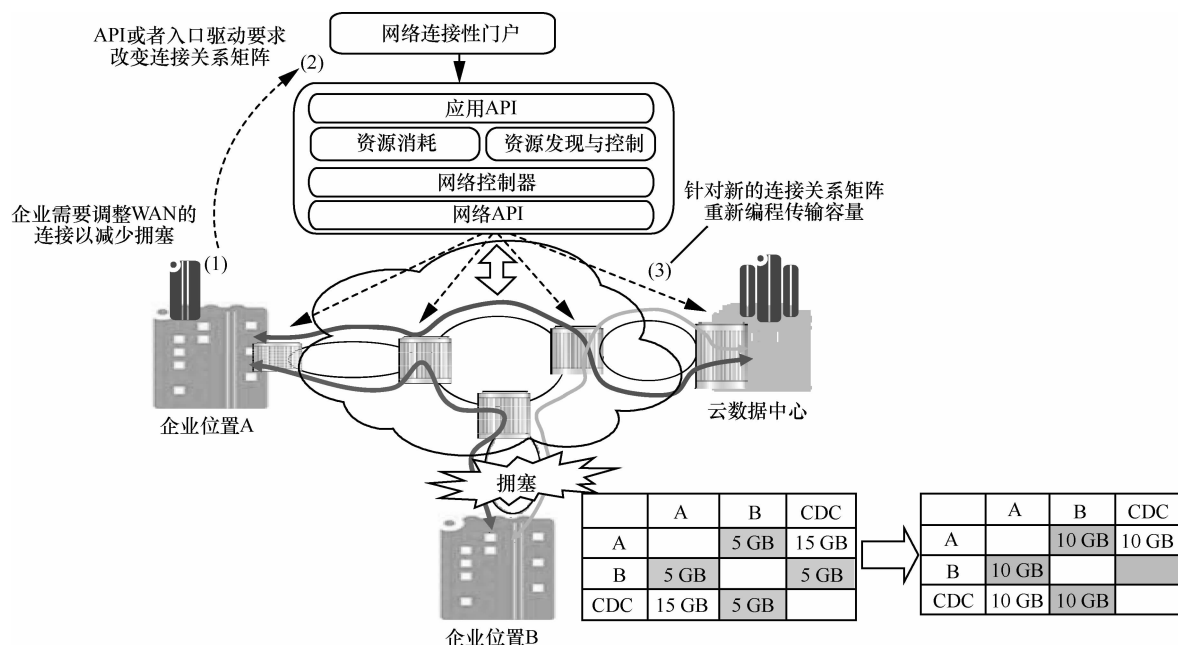


图4 动态容量案例

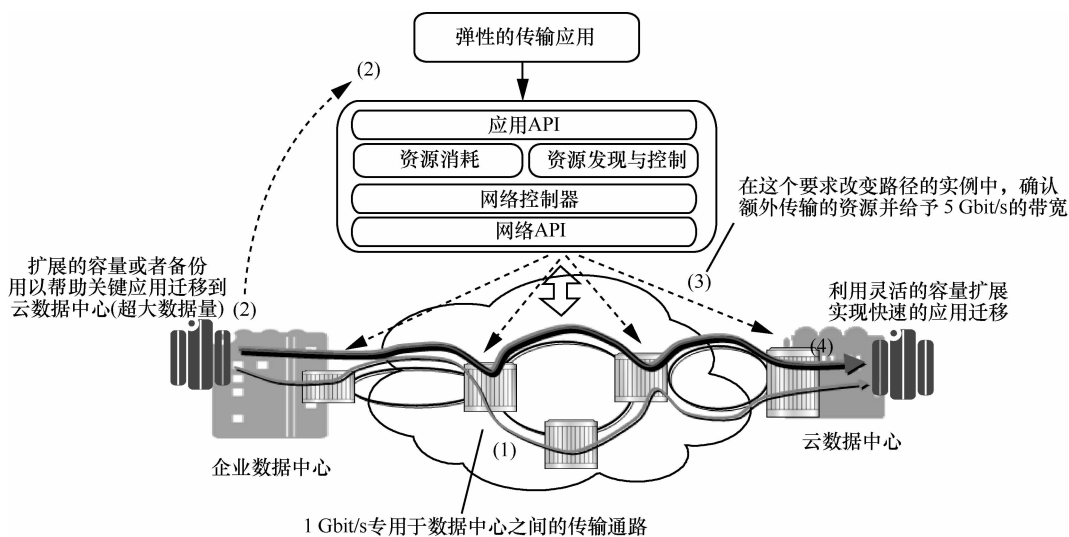


图5 弹性传输能力案例

(3) 业务保证

可编程 SDN 控制也有益于以自动和灵活的方式在网络中执行多种类型的操作,如服务保障功能。本应用案例允许针对协调服务保障的网络控制应用在部分网络中对服务检测和 SLA 保证动态设置探测和测量点。这种设置可能是通过分析、终端用户的服务请求或维护/诊断工具来触发,或者可能被永久驻扎在关键的“红线”服务上,正如示例中的关键服务(如图 6 所示)。

这里,通过业务保证应用编程/设置的其中一个中间

监视点(维护域中间点或 MIP)检测到光层的性能变差,这表明该服务已经或可能很快不能满足其要求的服务水平协议(SLA)。服务保障应用利用现有的监测点和编程设置额外的所需监测点将这部分性能恶化的网段划分出来,然后告知 SDN 控制需要将此服务移到另外一条路径上。标明的性能恶化网段将被从活跃的清单删除,然后在一个方便的维护窗口被恢复。不仅重要客户的服务不会中断,而且由于网络受攻击造成的人工紧急处理、手动故障定位引起的巨大费用也可避免。

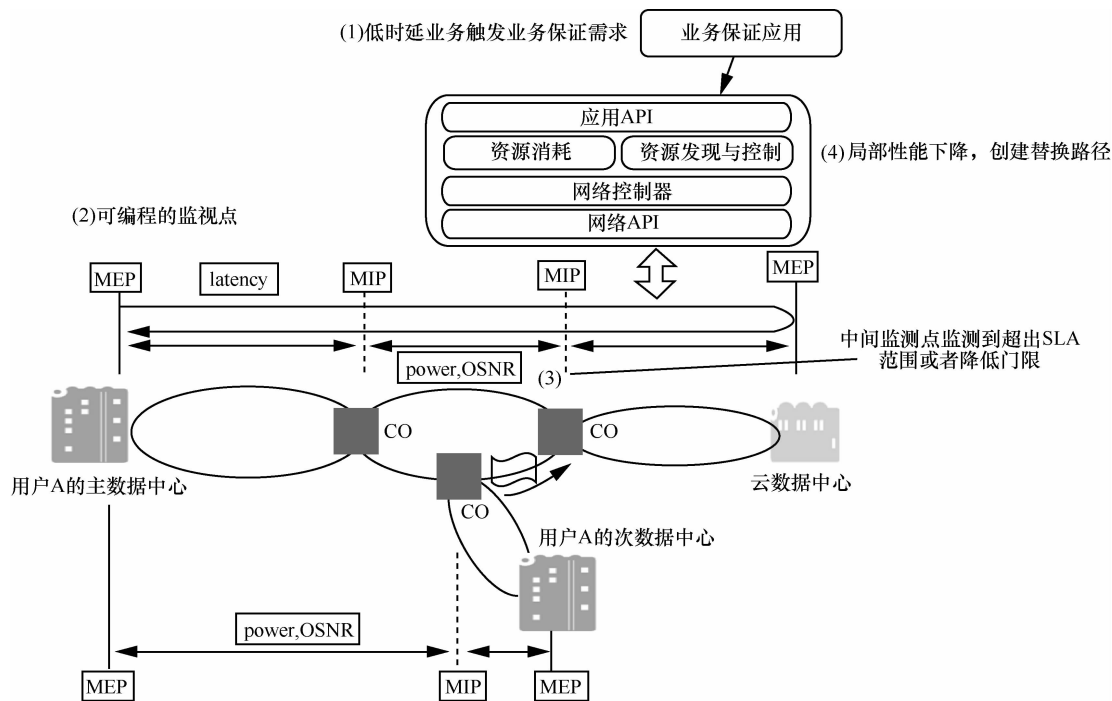


图 6 传输业务保证应用案例

通过以上应用案例的分析,逐渐开始明晰的是,云服务和弹性网络将最终推动梦寐以求的按需分配带宽机制成为主流。然而,让网络具备自动和智能的源动力不仅来自于自动传输服务这一项,下面将进行分析讨论。

4 可编程的虚拟化网络

资源(即计算和存储资源)虚拟化,让传统 IT 资源的消费方式发生着革命性的变化,它使得人们在世界任何一个角落对网络资源的诉求得以公平、按需、合理地满足,同时让运营商在服务与运维成本的绩效上获得最大的优化。虚拟化网络的整合优化给网络的运维带来了可观的效益,使得网络功能以灵活、自动、优化的方式被开发和使用。

事实上,使得 IT 基础结构和服务供应方式发生重大变革的基于云的虚拟化技术也在改变网络服务提供商自己的网络功能。NFV 运动得到了业界的巨大推动,NFV 首先可以是一种通过采用可重复再利用的、通用化的硬件获得提升性价比的手段;其次它使得绝大部分的网络组成变得高度灵活、弹性可扩展和地域可重置,换言之,即具备可编程性。

NFV 可涵盖管理层平面系统(如 OSS/BSS、EMS/NMS)、控制平面系统(PCRF、MME、IMS CSCF 等)以及数据平面(IPS/IDS、防火墙、移动网关等)针对特定应用有吞吐性能

要求的网元。这些网络虚拟化功能实现在一个数据中心(DC)或者分布在多个数据中心的不同的虚拟机集中,必须具有快速可编程性,并且要求虚拟机之间能够公平地快速可编程。通过云管理系统实例化这些 NFV 虚拟机的过程是自动的;不同虚拟机之间的网络连接也必须是自动的。同样,SDN 可以达到此目的,此时 SDN 和 NFV 云管理协同工作。

一旦网络功能实例化和各个网络层的链路建立能够自动完成,本质上来说,网络的可编程化也就得以实现。借此,CSP将在网络规划、执行和网络优化等方面获得显著的灵活性和运维有效性的提高。这也使得下面场景成为可能:通过网络 API,CSP还可以向云应用以及其他第三方服务供应商开放可编程云网络能力,使他们可以在此基础上发布自己的能力和服务。这使得网络可编程性被推进到一个全新的高度,为全新的网络服务,为 CSP 和他们的客户之间开创全新的商业模式打开了可能之门。

上述的诸多益处,都是建立在两项网络功能得以实现的基础之上的:云节点和用户(可能位于世界的任何角落)之间基于策略驱动的全自动 VPN 建立;在直接的传输服务之余,还能根据 VPN 的诉求和网络状态,动态地迁移和配置网络运力。

针对不同的应用场景进行讨论和分析,可很好地理解

可编程网络的优势以及相互关系。在下面的应用案例中, 将更细致地分析多层之间的协调和网络可编程性。

(1) 跨层网络优化

SDN 的一个重大特点就是它掌握了整张网络的鸟瞰图, 其中包括多层的拓扑逻辑图和服务信息。这对于需要在跨层的 IP 和光网中建立一个新的服务操作是至关重要的: 因为 SDN 控制器可以和 PCE 引擎一起, 从成本和性能角度出发, 在跨层的拓扑纵深中计算和规划出一条最优路径。更为重要的是, 随着网络中服务运行的动态变化, 网络状态往往需要被重新评估, 并实行重新的优化: 即对于先前已建立的服务连接可能需要重新进行资源配置和更新规划, 保证优化的时效性。而目的永远是在维持所有服务的 SLA 不变的前提下, 实现更高的网络资源利用率。执行网络配置重新优化的时间间隔, 可以根据系统预设执行, 抑或根据服务提供商的动态指令, 而这样的时间间隔, 可能是分钟级别的, 也可以到数周的跨度。图 7 提供了一种基于 SDN 的 IP/光网络优化方案。

此外, 使用灵活可编程的光学器件, 例如波长选择开关(WSS)和波长可调谐激光收发设备, 可以进一步协调物理层的资源以实现更加精确的网络资源配置。光物理层的重新编程应该在分钟级别的时间尺度内完成, 其中

包括光信道参数的自适应(例如调制格式的变更)和光信道链路的路由重新建立。而光层信道优化相关的多层网络参数的编程需由 SDN 控制器根据网络负载情况来设定。光层重编程的最突出优点在于, 它使得包括服务传输可用性、数据分组传输有效性和资源利用率在内的网络运营得到了最大程度的提升和优化。此处所谓的传输服务可用性的提升, 是因为当一部分的光网络资源被用于当下的信息传输时, 剩余的可利用网络资源被虚拟化在一个资源池中, 为随时可能产生的新的传输需要而时刻待命。

(2) 弹性企业

在前文中, 阐述了容量按需可变的传输服务带来的好处, 而当各个网络维度以一种立体的方式被整合时, 可编程化网络更加巨大的价值将得到最大的展现。图 8 中所示的是一个大型企业的网络, 它将受益获得以下 4 个方面的功能:

- 由通信服务提供商数据中心提供的弹性可扩展的虚拟化网络功能(如防火墙、负载均衡、入侵检测等);
- 纵跨不同类型数据中心, 支持超大规模虚拟化企业应用的 IP 局域网自动组建功能;

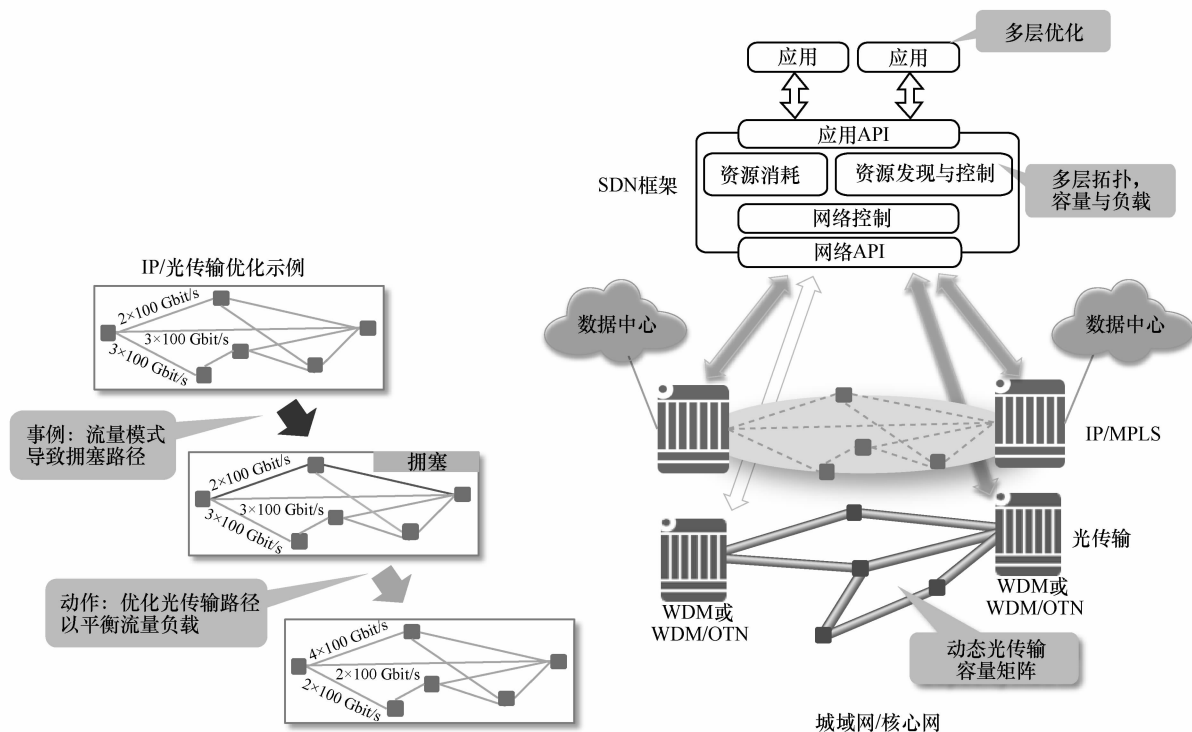


图 7 多层网络优化应用案例

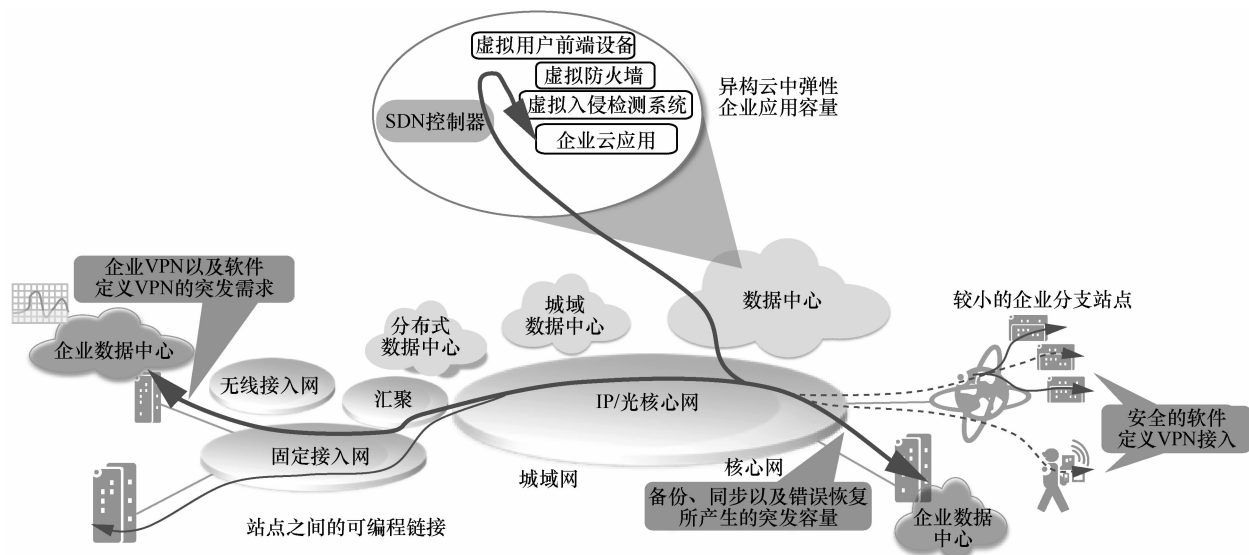


图8 弹性企业应用案例

- 能根据用户需求和云负荷自动完成的全弹性广域网(WAN)组建能力;
- 对于小型企业网站,甚至是个别移动用户,软件定义实现的VPN能够提供高度安全和经济性的接入服务能力。

由此便组建了一张完整的企业级IT生态系统,它可以根据网络需求而扩展、收缩或重配置网络的功能和容量,并可以向所有的网络端点(无论大小)提供安全等级相同的(虚拟化的)服务。如此优化过的网络几乎不存在资源浪费,企业因此大获裨益;而对于CSP,则通过出售更富价值的弹性容量和向混合云服务的变革而同样受益。

(3)全球自动化云网络

在前述的弹性企业应用案例中,网络规模的服务提供商和大型企业是能从弹性云/云计算网络架构中派生出巨大利益的主导企业。然而许多企业在多国乃至全球范围内都有运营的业务,这显然超出了任何单个CSP的服务范围。在静态配置的世界里,全球网络是由全球不同CSP的不同网络经由手动的方式拼凑起来的。那么如何才能使这些实体在全球范围内取得端到端的网络自动化水平呢?

除非在全球范围内由CSP联盟组建起全球网络运营商,这种自动化需求将通过SDN化的网络得以满足。而SDN化的网络则可能是借由一个联盟或者多个个体,更或者是由经理人的商业模型得以实现的。不论何种商业模式,SDN资源的发现、管理和控制都需要SDN对等的管理和对等接口机制,如图9所示。跨国企业会要求通过他们

主要CSP的API来对这个全球网络进行创建或者修改(作为一个整体,或者针对某一新应用的虚拟切片服务)。而CSP(或者经理人)需要通过抽象地监视其他地域互补性的CSP的网络资源协调获取网络资源。一旦端到端的“网络中的网络”链路被验证通过,每一个SDN自动化CSP就会将他们所在的网络范畴的网络资源链接到由CSP到CSP组建的网络链路中。最后,通过BGP联盟,为企业的不同租户VPN的各项云应用和虚拟化网络服务提供规模自动化的地址分配功能。

正如所看到的,由视频、云计算和网络虚拟化代表的主导驱动力将戏剧性和整体性地影响CSP的网络,当然也获得自身的受益。这种影响力还将继续深化,直至影响最底层的传输网络。网络控制的自动化、配置的动态化以及多层间的协同工作及优化,还将深刻改变下一代传输系统在网络需求和技术上的演进方向。在下一节中,将针对这些关键的驱动因素,窥视这个水晶球里折射出来的一个自上而下所驱动的网络:一个完全以视频、云计算、网络功能虚拟化为核心的下一代传输网络。

5 下一代传输网自上而下的愿景

所有这些对传输网提出的新的需求并不能从根本上改变用以支持传输层进一步演进的光(和微波),但它们却很大程度上影响这些技术被采用的优先级,能收益最大的领域以及经济价值的定位。有一些长期所期望的但并没有获得大规模部署的有关灵活性和多层次能力的需求将会

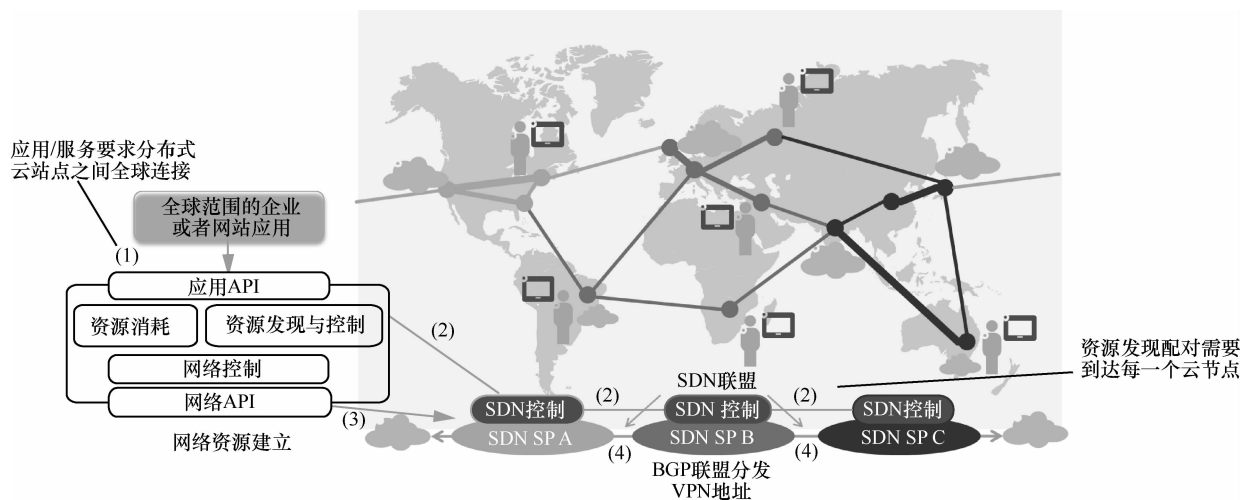


图9 全球云计算网络应用案例

是可编程网络所必须满足的。然而,另一些纯粹关注光层的技术,如果不是未来网络大的愿景所必须的,将退居到相对次要的优先级上。

在本节中,将描绘下一代传输网的愿景。这并不是一个试图在所有的先进传输技术中挑选优胜者的练习,而是在一个以视频为主导、云为中心、网络虚拟化的世界中,为下一代优化的传输网定义最重要的特征(有一些可能还是实现这些特征所需的有前途的技术)。从下列几个维度来考虑这些特征。

(1) 成本效益

随着每个用户流量的增长,尤其是视频业务的增长超过了运营商收入的增长,传输网的成本效益必须位于各个优先级的最前面。这在视频需求达到了网络汇聚边缘的最大容量时显得非常迫切,同时在城域网网络也是非常重要的。

由于城域 WDM 占总 WDM 市场的一半以上,因此在城域网背后存在强劲的驱动力以优化收发器和光子器件的集成。专门为城域核心和汇聚网的要求进行优化的光子集成电路,新型光信号的调制,甚至是提供亚波长尺度灵活性的新的光层网络架构,都有可能推动经济规模的扩大和容量的提高,使一系列全新的具有高度弹性容量的案例成为可能。

在核心网,通过采用更加先进的相干处理和光子子系统设计来实现的高线路速率,将继续压低长距离传输中每比特的成本。随着传统线路速率的技术路线发展,网络可以获得来自全球的多层次的资源管理和优化所带来的显著的成本优势,从而让网络连接在更高的利用率水平进行

运作,空闲的网络资源可在需要时能够快速并且自动地分配给新近的拥塞点。

(2) 灵活性

成本效益和灵活性往往相对立,但两者都是未来的传输网络所必不可少的。由于传输网的成本是由光—电—光(O-E-O)信号的转换费用所主导的(对应于IP路由器端口),为了实现经济地具备动态和灵活的组网,它最终必须建立在光层上。值得注意的是,OTN L1 复用和交换将继续对路由器端口和 DWDM 线路速率之间的更细粒度的服务和速率适配起着重要作用。这意味着虽然完全灵活的多尺度的 ROADM(利用可调谐 DWDM 收发器),与更简单形式的 ROADM 相比更为昂贵,当充分考虑整体网络弹性服务的需求和链路利用率的提高时,它将被证明是构建可编程网络所必须的模块。光子交叉连接对单独的网络或网络域之间的自动互连也将是非常重要的。

基于数据中心和虚拟边缘功能的分布,无论是在数据中心内部还是数据中心之间的高容量灵活交换需求,将使得在 SDN 控制下的光子交叉连接和动态低时延的光学性能越来越重要。由于极端的每比特成本的压力和更细粒度的需求,在这些节点的下面,经济和弹性的容量是一种巨大的挑战。创造性的类似 PON 架构的组合、光突发技术、成本优化的中距光纤调制以及统一的 SDN 流量控制,都将是终极光层解决方案的基本元素。

(3) 可控性

虽然传输网在数据平面上的灵活性逐步增加,但被控制对象的类型以及施加于它们的操作并不是与今天完全



不同。显著的变化包括以下两方面:

- 变化的频率和数量,从而影响控制平面所要求的性能;
- 把光层的控制适配和集成到较大的多层 SDN 控制框架。

作为一个例子,OpenFlow 虽然设计成面向流量/分组但被扩展以控制光网络。然而,端到端 WAN 解决方案的实现可能使用多种新的和现有的协议,并且还涉及网元和网络管理系统(EMS/NMS)的不同程度的 SDN 控制“协议栈”。

由于传输网络资源将被集中管理并与 IP 层联合优化,可控性方面的考虑也向上延伸,还可以通过网络 API 公开抽象模型提供给第三方自动的带宽服务。通过来自内部和外部动态的需求,扩展能力也得到增强。

(4)可扩展性

在相干光处理算法中,速度和成本方面的不断进步将继续驱动 DWDM 线路速率增长(从今天主要的 100 Gbit/s 到 400 Gbit/s,进而达到 1 Tbit/s 甚至更高),可扩展性、密度和成本/效益也随之增长。对于光纤受限核心网络的可扩展性,通过空分复用(SDM)技术在光纤中传输多个模式将有可能扩展每根光纤的传输总容量,虽然它不降低收发器的成本。

除了前面强调的灵活性的好处,光子交叉连接也将有助于最大限度地提高 DC 开关的利用率以支持大规模 DC,并改善大容量低时延的关键流量的性能。

(5)可操作性

SDN 控制框架为许多应用(网络控制应用程序)开启了机会,通过网络中的监测点,并应用先进的分析技术来执行各种服务监控、故障诊断、预防性维护警报和其他网络优化。因此,下一代传送网络需要支持的监控资源是更强大、更可编程的,并能够通过 SDN 控制框架显示相应的数据。反过来,这些扩展工具允许传送网络更加自动化地操作。

可以从对下一代传输网特性的总结中得出这样一个结论,评估传输网先进性的一些传统因素(线速率、距离、容量、每比特成本)仍对有效满足流量增长至关重要,同时下一代传输网的关键是传输网的自动化和与网络其他部分的协调。下面将探讨这一愿景的演变情况。

6 下一代传输网的演进

传输网的演进路径不仅受限于技术可行性,而且还在很大程度上受到其他一些因素的影响,包括可操作性(易于实现)、相对利润(商业模式的价值)以及运营商特定的

一些限制条件(可升级型、重置投资周期)。因此,每个电信运营商的具体演进路线会有很大的不同。考虑一个通用的例子会很有启发性。

下面的场景代表电信运营商在建立可编程的云网络传输时可能会遵循的演进阶段。

(1)集成 OTN 和 DWDM 控制功能的灵活的 DWDM 系统

内容:在核心和城域网,升级到完全灵活的基于 ROADM 的光层,通过 SDN(或 pre-SDN 集成网络管理)集成 OTN 交换(L1)和 DWDM(L0)的资源管理和控制。

原因:有现成的技术可用;作为第一步,对大多数电信运营商来说,在单域进行集成更容易操作和实现。

(2)集成 NFV 云管理功能的 SDN (可以与第一项并列)

内容:建立策略驱动的自动化的 NFV/SDN 环境来协调计算、存储并建立 IP/VPN 网络资源,从而支持虚拟化的网络功能。

原因:在 IP 层实现网络自动化以便 NFV 和自动化 IP 业务的实现,同时发布虚拟化的边缘节点。

(3)IP 和光集成的 SDN

内容:把光相关控制(L1/L0)集成到由策略驱动的 SDN 控制框架中。

原因:实现动态地提供弹性的 VPN 和传送服务、光学表达以及多层优化。

(4)长期扩展性和优化

内容:在核心网,容量上可升级到 1 Tbit/s 和 SDN(根据需要),而在光接入/汇聚网领域使用优化的光子技术/架构以降低成本并提供灵活性。

原因:解决流量不断增长的问题,给大多数网络端点提供更富有弹性的容量。

然而,可编程的云网络的发展过程将是渐进的,很显然,它不会一蹴而就。网络作为一个整体,它自身的改变和其相关运作方式的改变,尤其是传输网络的改变,很大程度上需要经过多个转型的阶段。但最终它将成为一个能够更快满足用户需求、面向业务提供的,而且可以使电信运营商和他们的客户都受益的运作高效的网络。

7 结束语

光传输网络被紧紧地植根于物理光子世界,因此永远不会完全受制于 NFV 的 GPP 的虚拟化。大部分的基于光的数据平面的传输将继续用所熟知的方式进行封装,尽管

里面具有更加集成和复杂的技术,并支持创新的光层架构。然而,这些网络控制和管理的方式,用于改变路由连接和容量的时间尺度,与其他网络和服务层相互作用的程度将发生很大变化。

视频流量的主导地位,有效提供视频业务的迫切需求,云服务和基于云功能的企业业务的崛起,配合云计算的速度以保持网络相关性的必要性,网络功能的虚拟化,用以完善虚拟化的网络自动化,这些都将是下一代传送网的必备要素及其驱动力。

参考文献

- 1 Metro Network Traffic Growth: an Architecture Impact Study. Alcatel-Lucent Bell Labs Strategic White Paper, 2013
- 2 Video Shakes up the IP Edge, a Bell Labs Study on Rising Video Demand and Its Impact on Broadband IP Networks. Alcatel-Lucent Bell Labs Strategic White Paper, 2012
- 3 The data center network and the metro cloud. <http://blog.cimicorp.com>, 2013
- 4 Taking the on-ramp to the virtual age of networking. <http://blog.cimicorp.com>, 2013
- 5 ONF WG optical transport. <https://www.opennetworking.org/working-groups/optical-transport>
- 6 ONF OpenFlow. <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/onf-specifications/openflow>
- 7 Unconstrained datacenter networks for the cloud era. <https://www.nuagenetworks.com>
- 8 Sandvine. Global Internet Phenomena Report, 2013
- 9 TeamT. How big can Netflix's US streaming business get.

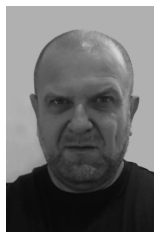
Forbes, 2013(3)

- 10 Xie C J, Dong P, Winzer P, *et al.* Generation and transmission of 100 Gbit/s PDM 4-PAM using directly modulated VCSELs and coherent detection. Proceedings of ECOC 2013, London, UK, 2013
- 11 Xie C J, Dong P, Winzer P, *et al.* 960 km SSMF transmission of 105.7 Gbit/s PDM 3-PAM using directly modulated VCSELs and coherent detection. Proceedings of ECOC 2013, London, UK, 2013

[作者简介]



Sparks A K,男,获俄亥俄州立大学学士学位及美国加利福尼亚州斯坦福大学电子工程硕士学位,现就职于阿尔卡特朗讯首席技术官办公室,在电信业的职业生涯跨越了诸多领域,包括产品开发、系统工程、网络架构和建模、网络解决方案、产品线规划、技术路线和技术战略的制定,主要研究方向为网络的 SDN/NFV 化以及其对整个有线、无线网络的网络架构和相关网络技术演进的影响。



Tancevski L,男,阿尔卡特朗讯 IP 传输部门(该部门位于美国得克萨斯州普莱诺市)产品线总监,目前主要研究方向为软件定义的传输网络和相关的云技术。

(收稿日期:2014-07-01)

• 简讯 •

2014 中国 LTE 产业发展峰会成功举行

中国 TD-LTE 牌照发放已半年之余,适逢工业和信息化部 2014 年 6 月 27 日批准中国电信和中国联通开展 LTE FDD 和 TD-LTE 混合组网试验,“2014 中国 LTE 产业发展峰会”于 2014 年 7 月 15 日在北京京都信苑酒店成功举行。峰会主题是“推动融合发展,实现成功商用”。本届峰会由中国通信学会主办,高通无线通信技术(中国)有限公司作为战略合作伙伴,中国移动、中国电信、中国联通和工业和信息化部电信研究院为合作伙伴。

来自政府监管部门、电信运营商、芯片厂商、设备厂

商、咨询公司、新闻媒体等产业链人士共计 420 余人共同出席了本次峰会。

工业与信息化部通信发展司司长闻库、中国通信学会副理事长兼秘书长张新生、工业和信息化部无线电管理局副局长谢存、中国移动副总裁李正茂、工业和信息化部电信研究院通信标准所所长王志勤、中国联通技术部总经理张忠平、中国电信技术处处长曹磊、中国移动设计院副总工程师张玉胜等领导、专家出席本次峰会并致辞,高通、华为、中兴、爱立信、诺基亚、上海贝尔、大唐移动等 LTE 产业链主流厂商代表也发表了主题演讲。

(来源:中国通信学会)