

# 全光网络协同发展研究报告

(2022 年)

中国信息通信研究院技术与标准研究所

2022年12月

---

## 版权声明

---

本报告版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。

## 前言

随着家庭娱乐品质的提升和在线教育的普及，超高清 8K 视频、强交互云游戏和 VR 教育等家庭高品质业务逐步涌现，更大带宽、更低时延和更高稳定性的网络承载需求迫切。另一方面，在云计算应用快速发展以及相应政策的大力推动下，企业业务迁移上云进程加速，企业多样化场景和差异化诉求对承载网络的带宽、时延、可靠性、安全性、管理运维便捷性等均提出更高要求。

“双千兆”网络作为新型的网络基础设施，有力的支撑了垂直行业市场应用，为赋能经济社会数字化专线注入了新的动力，工业和信息化部已于 2021 年初下发《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023 年）》作为未来三年内指导行业发展的政策性文件，为赋能经济社会数字化转型注入新动力。作为“双千兆”业务和应用的关键承载底座，光网络高品质服务的重要性日益凸显。构建光接入网与光传送网多维协同的端到端全光网络，借助 PON 接入网络的低成本、广覆盖以及 OTN 传送网络的确定性品质承载等关键特性，以助力家宽提质、企业差异化承载、一体化建设运维服务等全流程多样化的业务体验。

本研究报告在介绍全光网络协同典型应用场景的基础上，从推动全光网络协同发展的角度出发，提出了全光网络协同“三横四纵”总体架构并分析了相关的转发层、连接协议层、管控层等多层协同关键技术，并对全光网络协同的未来发展提出建议。

目前全光网络协同的诸多关键技术和应用验证仍处于探索阶段，

在设备形态、组网运营模式、控制协议实现等方面仍面临挑战。下一步的发展方向，将由“应用驱动、技术创新、运维支撑”三个方面来定义和牵引：在应用驱动方面，通过新的应用需求牵引技术落地；在技术创新方面，聚焦网络协同技术，推动标准化工作开展；在运维支撑方面，探索新的运维流程和模式，面向行业客户实现一体化的运维服务。全光网络协同未来发展需要业界产、学、研、用的共同参与，加速推动产业与生态走向成熟。



# 目 录

一、概述.....	1
二、全光网络协同应用场景.....	1
(一) 家宽业务提质提速，端到端高品质承载需求凸显.....	2
(二) 企业用户入云加速，差异化承载和一体化管控需求迫切.....	4
三、全光网络协同总体架构.....	7
四、全光网络协同关键技术.....	11
(一) 设备转发协同.....	12
(二) 连接协议协同.....	18
(三) 管理控制协同.....	23
(四) 策略编排协同.....	25
五、总结与建议.....	27



## 图目录

图 1 全光网协同架构 .....	9
图 2 全光锚点可能的部署方式 .....	12
图 3 入云节点与云网关对接方式 .....	13
图 4 全光网协同架构时延分段 .....	13
图 5 专网切片实现行业间的网络隔离 .....	15
图 6 业务切片实现业务级的差异化承载 .....	16
图 7 不同可靠性对应的端到端保护方案示意 .....	18
图 8 连接协议层协同架构 .....	18
图 9 基于日历按需调整带宽 .....	20
图 10 端到端 OAM 协议协同示意图 .....	23
图 11 管理控制层协同整体架构 .....	23
图 12 策略控制层协同架构 .....	26

## 表目录

表 1 VR 教育体验指标 .....	2
表 2 8K 视频网络指标要求 .....	3
表 3 云游戏网络指标要求 .....	4
表 4 网络可靠性需求与保护模型的对应关系 .....	17

## 一、概述

随着家庭娱乐品质的提升和在线教育的普及，超高清 8K 视频、强交互云游戏和虚拟现实（VR）教育等家庭高品质业务逐步涌现，需要网络具备更大带宽、更低时延和更高稳定性。另一方面，不同企业的上云场景和诉求多样，对网络的带宽、时延、可靠性、安全性等提出较高要求。如何在以集中高效的方式管理企业网络的同时实现便捷安全的入云，是当前的网络诉求之一。

以千兆光纤网络与 5G 网络为代表的“双千兆”网络建设工作是近年来宽带网络建设的重点方向。党中央国务院高度重视该项工作，在国务院常委会上明确“大力推进 5G 和千兆光网建设应用”的工作任务。工业和信息化部已于 2021 年初下发《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023 年）》作为未来三年内指导行业发展的政策性文件，其中明确将千兆光网应用创新作为未来一段时间的行业重点任务。“双千兆”网络有力支撑制造、交通、医疗、教育、港口等垂直行业应用市场培育，给传统企业带来生产方式、经营管理的数字化变革，催生诸多新模式新生态，带动工业互联网、智能制造、智慧城市、智能家居等各个领域的创新创业，为赋能经济社会数字化转型注入新动力。

当前网络中接入网和传送网分段运维的体制，导致业务配置速度慢，故障定位和运维效率低，无法提供高品质的网络服务。面对家宽提质、企业入云的多样诉求，仅采用在接入侧增加带宽、设置服务质量等级（QoS）等方式无法保障业务端到端的服务体验，需要

打通接入侧和传送侧，实现端到端的服务提供。

全光网络协同是将光接入网络和光传送网络（OTN）在设备、管控、连接协议等多个方面进行协同，利用无源光网络（PON）的低成本和广覆盖以及 OTN 的确定性品质承载优势，实现构建高品质的全光入云网络，满足不断涌现的新业务、新场景的多样化诉求，全面提升家庭业务服务品质、赋能企业数字化转型，进一步推动双千兆网络的发展。

## 二、全光网络协同应用场景

### （一）家宽业务提质提速，端到端高品质承载需求凸显

家庭场景下涌现出多样的新兴品质视频类应用，如 VR 教育、8K 超高清视频、云游戏等，这些应用不仅需要稳定的网络带宽保障，还需要持续稳定的低时延和低丢包，对网络提出了更高的品质承载要求。

#### 1.VR 教育：网络稳定性至关重要

VR 教育是家庭品质视频的典型应用场景，用户可通过交互设备与虚拟教学环境进行互动，虚拟空间图像需对交互行为做出实时响应，从而实现流畅的交互体验。VR 教育的计算、渲染、编码均在云上，业务从云上通过网络实时传送到用户终端，对网络的带宽、时延、抖动敏感。网络一旦不稳定，易产生影响用户体验的卡顿、迟滞、黑边等情况。为保障 VR 教育的体验效果，需要网络满足如下表 1 所示的各指标：

表 1 VR 教育体验指标



阶段	终端单眼分辨率	带宽	时延	丢包率	抖动
当前	2~4K	≥80Mbps/130Mbps	≤20ms	≤1.0E-5	≤15ms
中期	8K	≥540Mbps	≤10ms	≤5.0E-6	≤10ms
远期	16K	≥1540Mbps	≤8ms	≤1.0E-6	≤7ms

来源：CCSA《基于电信网的云化虚拟现实网络技术要求》

## 2.8K 视频：高带宽和高可靠性

2019年，工业和信息化部、国家广播电视总局、中央广播电视总台印发《超高清视频产业发展行动计划（2019-2022年）》的通知，按照“4K先行、兼顾8K”的总体技术路线，大力推进超高清视频产业发展和相关领域的应用。业内逐步出现8K超高清应用，运营商也试点提供8K超高清业务。8K超高清业务对网络的带宽和可靠性提出更高要求：传输每秒传输帧数（FPS）为60的视频，需要至少百兆级带宽；传输120FPS的视频，需要至少千兆级带宽；在卡顿或者花屏的处理上，需要更低的网络丢包率。8K超高清视频业务需要网络满足如下表2所示指标：

表2 8K视频网络指标要求

类型	带宽	时延	丢包率
8K点播	≥280Mbps	≤15ms	≤1.0E-5
8K直播	≥150Mbps	/	≤1.0E-6

来源：宽带发展联盟《千兆高质量业务体验与网络优化白皮书》

## 3.云游戏：时延和丢包高度敏感

网络游戏、云游戏和移动游戏由于具备交互性强、沉浸感高、趣味性足等特点，成为了家庭娱乐和社交的良好方式。大型游戏对响应延迟敏感，过大的传输延迟会影响服务器和玩家状态的同步过

程，游戏流畅度的下降会极大的影响用户体验。此外，云游戏通常采用云上渲染，渲染之后的视频数据通过网络传输，若传输过程中出现数据损伤或者丢失，云游戏画面将出现卡顿、跳帧等情况。为保证玩家体验，云游戏网络需要满足如下表3所示指标：

表3 云游戏网络指标要求

分辨率	帧率	带宽	时延	丢包率	抖动
1080P	60FPS	$\geq 40\text{Mbps}$	$< 20\text{ms}$	$< 1.0\text{E-}5$	$< 16\text{ms}$

来源：顺网科技、华为《云游戏白皮书》

综上所述，面向家庭新兴的品质视频应用，最迫切的需求是以较短的时延将业务从云平台传输到客户端，网络在整个过程都需要保持稳定的低时延和低丢包率。新兴的品质应用和传统的家宽上网业务一般采用相同的网络承载，运营商在提供统一的家宽服务基础上，可以通过提供增值服务的方式，实现客户高品质业务的订购。因此，在规划网络时，需要全面考虑各类家庭应用场景，面向高品质的客户保障承载网络端到端的低时延、低抖动、高可靠性能。

## **(二) 企业用户入云加速，差异化承载和一体化管控需求迫切**

由于企业种类繁多且发展规模不同，加之各类业务入云需求日益迫切，造成企业业务诉求多样，对网络的差异化承载需求明显。

### **1. 商务楼宇：综合网络接入服务提供**

商务楼宇是中小企业最为聚集的场景，既有大企业的分支机构，也有独立的中小微企业；各企业网络诉求多样，包括上网、高品质组网专线和入云等。据电信运营企业对某商务楼宇内 50 家中小企业

的调查显示，有 54% 以上的企业明确表示愿意为更好的体验和服务质量支付更多服务购买费用。

**商务楼宇内网络需要提供广泛接入、大带宽、低时延、高可靠和高安全度的网络服务。**商务楼宇内是一个多网融合系统，办公生产类业务包括文件、音视频的处理等，要求大带宽和低时延网络；物联网类业务包括监控安全行业应用等，要求网络提供广泛的接入能力；个人通信类业务包括通话、游戏等，要求网络全覆盖。另一方面，由于商务楼宇的建设年限差异大，部分商务楼宇没有机房，入楼光缆资源紧张，运营商迫切希望提升光缆利用率，减少业务开通的光缆消耗，在具备机房的条件下运营商也更倾向于利用无源方式部署网络，以减少机房供电等成本。

## 2.直播公司：差异化网络能力保障

随着网红直播的兴起，直播公司成为电商产业链的一环。国内观看直播的网民数已经超过 4 亿，直播类型涵盖电商、游戏等。随着大量的商家参与电商直播，直播带货逐渐形成一种新的商业模式，各种类型的直播公司蓬勃发展。与传统电商不同，主播对用户具有很强的影响力，直播效果的好坏直接影响销售量，因此直播网络性能需要得到保障。

**直播公司内主播多、活动多，需要差异化的网络保障能力。**同一直播公司内不同主播所用网络的服务级别协议（SLA）保障不同，一般优先保障大主播的直播体验，采用专线的方式将摄像头拍摄的视频推送到直播源站；对于小主播，一般采用低成本接入直播源站

的方式推流。

**对于大型直播活动需要重点保障。**例如热点直播活动需要保障数百万用户流畅观看。大型直播活动对网络的核心诉求是稳定性，从主播到直播源站需要双备份的高可靠性承载方案，保证推送的视频流不受其他活动影响。

直播公司为了进一步优化直播的效果，开始尝试**自由视角等新技术**，对网络提出了更高的要求。直播方式由平面走向立体，利用多机位拍摄多角度视频信息，统一注入到直播源站中，再通过内容分发网络（CDN）推送到用户侧。在这一过程中，网络性能对用户的影响更加明显，不同视角下细微的同步差距，都可能影响用户体验。因此需要将不同视角间的时间误差缩小到 1-2 帧级别，网络抖动应在帧间隔以内：30 帧视频约 30ms，60 帧视频约 15ms。

### 3.企业园区：生产业务隔离和一体化运维

对于园区网络，传统的自建自维方式存在网络部署慢、运维难、效率低等问题。为使企业信息技术人员的工作聚焦于业务及生产系统，提升企业运行效率，需要引入新的商业模式和技术。企业园区网络由运营商提供一体化建设和运维服务，为企业提供稳定可靠的网络环境。

**企业园区内业务诉求多样**，需要大带宽、低时延、低丢包的入云承载方案。园区业务场景包括基础办公、入云业务（如桌面云、生产云等）、高清会议、视频安防等。不同业务场景诉求不同，如 4K 办公会议要求 30Mbps 带宽保障和 30ms 时延保障；视频监控则

需要 6Mbps 带宽保障等。

企业园区网络主要诉求包括三点：**一是一张光纤网络承载多种业务**，业务类型包括互联网访问、云桌面、语音、视频、无线、IoT 等；**二是生产网络隔离以保障生产安全**，通过提供不同 SLA 能力的端到端切片网络，保障企业网络的生产业务与普通上网业务的安全隔离、互不影响；**三是企业园区网络运维简化**，企业园区网络的硬件能力、软件能力和通信能力以服务的方式由运营商建设和运维，运营商提供独立的客户化管理界面，支持设备统一管理、故障定位等功能，实现企业用户对园区的轻量化管理及运维。

综上所述，面对企业在商务楼宇、网红直播、企业园区等不同场景下的多样化诉求，加速企业的数字化转型，需要提供高品质网络承载方式，同时满足企业入云和上网等场景的差异化承载，实现业务的快速发放和网络低成本运维。

### 三、全光网络协同总体架构

随着在线教育、家庭娱乐等业务的兴起，使家庭业务对网络的带宽、时延等提出新的要求，促进家庭宽带提速提质，具备高品质、大带宽的承载能力。与此同时，随着产业数字化转型加速，大量企业开启了业务上云的数字化转型，为解决传统自建自维的企业园区网络部署慢、运维难、效率低的问题，网络承载面临着技术发展的新需求。

当前运营商采用了多种承载技术，不同技术的成本和适应场景各不相同。主要技术包括 PON+互联网、层 2/层 3 虚拟专用网络

（L2/L3 VPN）专线、OTN 专线等。其中，PON+互联网专线可为家庭用户提供下行带宽大、上行带宽小的基础宽带服务，作为访问互联网的上网通道，适用于家庭上网、浏览短视频等场景；L2/L3 VPN 专线适用于安全性要求低、带宽要求灵活弹性、时延不敏感的场景，例如：中小企业、互联网公司、部分政企的非实时类业务；OTN 专线可提供（2M~100G+）的全颗粒、高安全、大带宽的专线承载能力，适用于有高品质要求的专线用户，例如：党政军、金融、大型企业、互联网数据中心（IDC）等，该方案对于中小企业成本偏高。

在传统承载网络技术方​​案中，接入侧和传送侧采用分段运维、技术独立演进的方式。接入网具备业务感知和网络切片等技术，而传送网不直接面向客户提供服务，无法基于业务需求进行感知。因此，将传送网和接入网进行协同，实现基于业务感知的端到端业务协同、网络切片协同和端到端运维协同等能力，为不同需求的业务提供差异化网络服务。传送网和接入网协同可以具备以下功能特性：

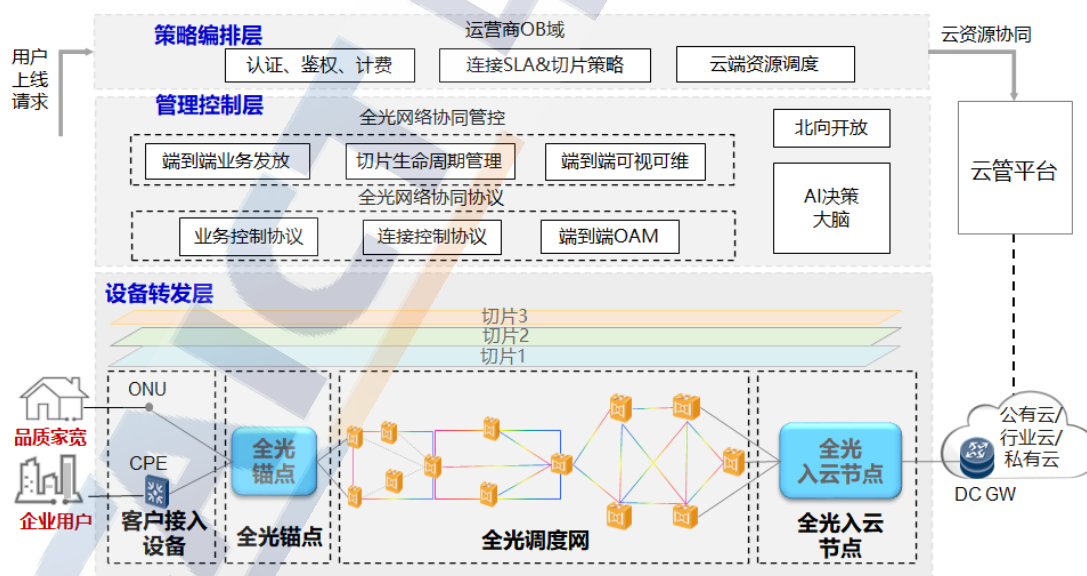
**快速的业务配置和调整：**基于业务感知及网络调度要求，实现快速的业务配置，满足实时性的业务需求。

**端到端的切片协同：**企业的入云网络中承载多种业务，需要将重要的生产业务与普通办公业务隔离，保障核心业务不受普通业务流量的影响。通过接入网切片和传送网络切片的对接，实现端到端切片划分，以满足业务隔离需求。

**端到端的服务质量保障：**对于家庭业务和企业业务，接入侧和入云侧的分段管理无法保障用户的端到端体验。需要实现自动检测业务 SLA，自动进行故障定位，以保障从接入到入云的端到端体验。

**一体化建设运维：**企业上云对价格敏感，需要在提供品质业务的同时保证入云网络建设的低成本。通过运营商一体化的建设和运维，可以减少网络日常运维成本，企业可以聚焦自身的业务。

利用 PON 的广覆盖、低成本特性和 OTN 的确定性承载能力，可以实现构建 PON+OTN 的高品质端到端全光网络。通过全光协同的方式，将流量引入到 OTN 确定性承载网络中，为家庭品质视频、企业入云、园区网络等业务场景提供有品质保障的差异化承载能力，同时网络具备端到端的协同能力、管控能力和运维能力。承接协同的全光入云解决方案将是面向云时代的网络承载解决方案之一，整体架构如图 1 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 1 全光网协同架构

全光网协同架构的核心理念是为不同品质要求的业务提供差异

化的承载服务，为家庭和企业提供量身定制的云网融合基础设施。全光网协同架构通过引入“三横四纵”的层次架构模型实现此核心理念。

“三横”是指在策略编排层、管理控制层、设备转发层实现高品质的差异化承载。其中，策略编排层主要为用户提供认证、网络连接及入云的一体化服务，一般为运营商的运营业务（OB）域。管理控制层为不同用户提供不同 SLA 的网络资源，提供从用户到云的光连接自动化控制，实现业务灵活入多云，同时为全光协同网络提供统一的业务发放和网络资源管理能力，并为用户提供增值服务。设备转发层主要在设备层面提供差异化服务能力，并将复杂的业务处理与映射集中在边缘的全光锚点和入云节点，简化中间的全光调度网。

“四纵”是指通过客户接入设备、全光锚点、全光调度网以及全光入云节点为家庭和企业提供定制的云网融合基础设施。其中，用户接入设备主要负责感知业务，将用户的流量引入到网络中。全光锚点是连接业务接入点和全光调度网的枢纽节点，具备丰富的业务接入能力（PON/以太网/OTN/同步数字体系（SDH））和灵活的业务调度能力。全光调度网提供管道及传送侧的切片能力，基于光通道数据单元（ODU）/光业务单元（OSU）/光交叉连接（OXC）调度，实现低时延的透传转发。全光入云节点是连接网络和云池的枢纽节点，负责与云网关对接，实现云与网的互通。

“三横四纵”的新型全光网协同架构，高效满足用户的一站式



入云体验，具备“五个端到端”关键特征：

- **业务配置端到端：**端到端全光组网，业务建立、删除、修改一键式完成，实现业务的快速开通。
- **网络切片端到端：**提供不同 SLA 能力的端到端网络切片，实现差异化承载。
- **时延保障端到端：**通过全光网协同，在业务接入点感知业务，将业务承载在确定性的全光网络通道上，在入云节点实现业务落地，从而保障业务的端到端时延。
- **业务保护端到端：**从接入侧到入云节点建立端到端保护，保障入云业务的可靠性。
- **业务运维端到端：**实时感知从接入侧到入云节点业务的 SLA，主动上报影响业务的网络故障，提供端到端的故障定位功能，实现端到端运维的自动化。

#### 四、全光网络协同关键技术

从网络层次和服务能力的角度出发，全光网络协同关键技术涉及设备转发协同、管控协同及策略编排协同三个层面。

- **设备转发协同：**通过接入侧设备和传送侧设备在组网、切片、保护等各方面的技术协同，为业务提供端到端的资源隔离、低时延、安全可靠入云等能力保障。
- **管控层协同：**包括连接协议协同和管控系统协同，其中连接协议协同实现从用户到云的端到端连接自动化控制，使能业务一跳入云，并能够感知应用状态，动态调整端到端的网络资源以

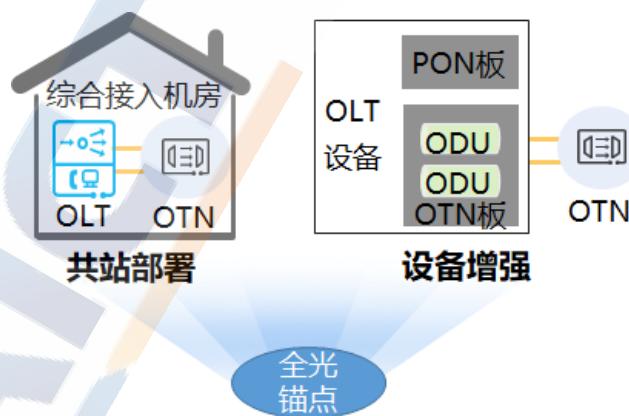
保障业务的 SLA 需求，为用户提供品质和成本双优的全光协同网络。管控系统协同是从控制器层面解决全光协同网络的端到端业务发放及运维等，为全光协同网络提供统一的业务发放和网络资源管理能力，并为客户提供增值服务。

- **策略编排协同：**为用户提供一体化的认证、网络资源协同及云端资源协同等功能，为用户提供入网即入云的端到端服务。

## （一）设备转发协同

### 1.设备协同：构建全光锚点和入云节点

全光锚点是连接业务接入点和全光调度网的枢纽节点。全光锚点可采用共站部署方式，如下图 2 所示，OTN 下沉将光线路终端（OLT）和 OTN 共同部署于综合业务接入点，两台设备协同承担全光锚点职责。未来可以将 OTN 功能融合进入 OLT 设备，增强端到端的操作、管理、维护（OAM）维护能力。

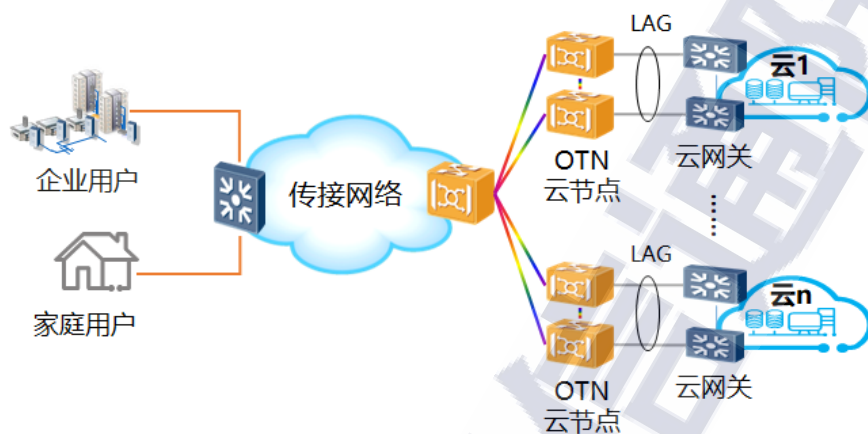


来源：中国信息通信研究院

图 2 全光锚点可能的部署方式

入云节点是连接网络和云池的枢纽节点，用于实现网和云的协同。如下图 3 所示，每个云池的专线入口位置，部署一对入云节点，

与云池的云网关做端口预连接，并配置跨节点、跨板链路聚合组（LAG）保护，实现入云业务的快速开通，缩短业务开通时间，增强业务保护能力。



来源：中国信息通信研究院

图3 入云节点与云网关对接方式

## 2. 组网协同：降低端到端时延

随着全球各行业数字化转型，众多行业出现了针对低时延网络的新型应用需求。可承诺、可保证的低时延网络成为越来越多企业用户在选择服务时的重要度量指标。全光网协同架构下的分段时延如图4所示，可以采用如下技术实现时延优化。



来源：中国信息通信研究院

图4 全光网协同架构时延分段

### (1) 全光调度降低传送时延

OTN 本身可以提供大带宽和低时延的网络服务。对于大颗粒的

业务，通过端到端全光调度架构，实现业务在光层上的灵活发放和调度，去除中间不必要的电层处理环节，一跳入云，降低时延。对于核心节点和较大的汇聚节点，可考虑采用大型 OXC 设备；对于一般汇聚节点和全光锚点可考虑采用小型 OXC 设备。

## （2）OLT 和 OTN 协同，降低端到端的时延

通过 OLT 与 OTN 的共站点部署，可以将企业入云或家宽精品业务分流到 OTN 网络，OLT 上行通过以太网（ETH）接口接入 OTN 网络，将企业入云或家宽精品业务从互联网通道引入 OTN 网络，无需经过路由器逐跳转发，通过 PON+OTN 高品质专线的方式提供端到端入云的方案，从而达到降低时延的目的。

## 3.切片协同：实现端到端网络隔离

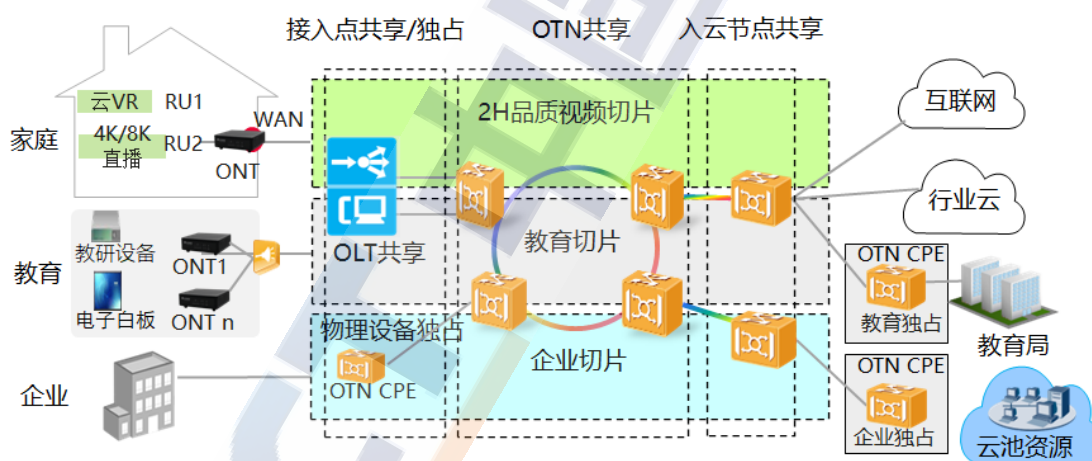
全光网协同的端到端切片涉及接入侧的光网络单元（ONU）、OLT 及传送侧的 OTN 等多种设备，通过合理的划分网络中各个设备的资源，构成端到端的行业专网切片，实现一网多用，为不同的行业用户提供差异化承载服务。

接入侧的切片包括三个方面，**管理切片**主要用于对管理资源进行切片以进行准入控制。在多租户场景中，每个租户可以根据业务需求定制视图，只有自己的网络资源才可视可管理。**资源切片**是接入网切片的基础，ONU、以太网络侧端口应支持独立划分到一个专网，每个专网有独立的转发域。**流量切片**主要用于对应用进行分类，实现确定性差异化的 SLA。

传送侧切片根据切片粒度的不同，可以分为 OSU 切片、光通道

数据单元 k (ODUk) 切片、波长切片三种，支持 2M~100G+粒度的切片能力。

通过协同接入侧和传送侧的切片技术，将网络中的设备切片资源进行组合，可以构成端到端的网络切片。如图 5 所示，对于行业虚拟专网，端到端网络切片能够实现不同行业间的网络隔离，支持一网多用。针对不同的行业用户（如家宽、教育、企业等），通过组合网络中各个设备节点的切片技术，为不同行业预留相应资源，各切片的资源之间互相隔离。不同的行业用户在不同的专网切片上可以互不干扰地进行业务/保护等基本配置、网络拓扑和业务状态查询、资源可视化、时延地图管理、业务 SLA 设置和监控等操作。

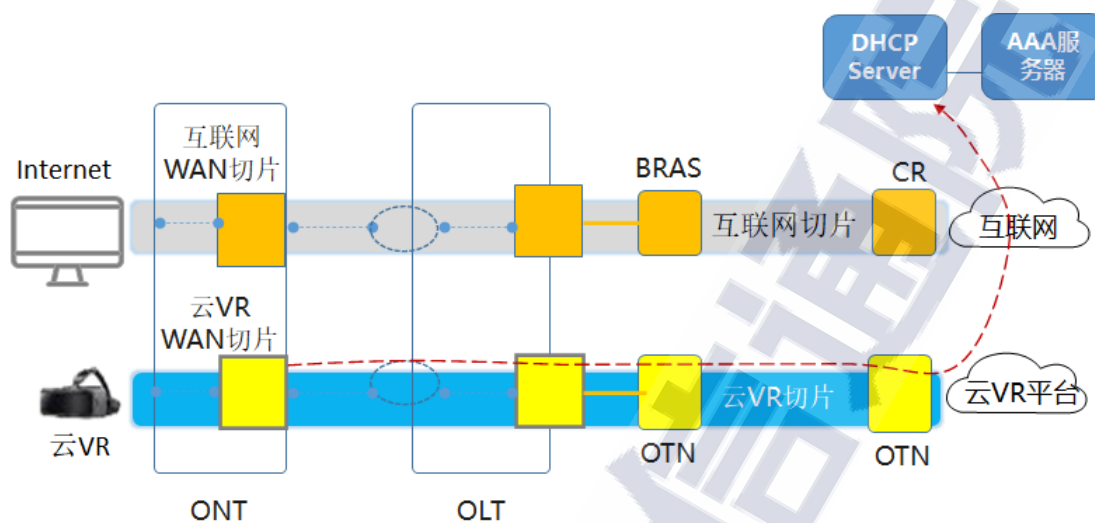


来源：中国信息通信研究院

图 5 专网切片实现行业间的网络隔离

在行业专网内部，可以进一步基于业务划分切片，实现业务级的差异化隔离承载。以家庭上网业务和 VR 交互业务为例，由于上网业务对网络性能要求较低，而实时交互的 VR 业务则要求网络满足确定性大带宽、低时延、低抖动、低丢包等性能要求，因此需要网络实现两种业务的相互隔离。如图 6 所示，通过合理组合传送侧

和接入侧设备的切片资源，实现上网业务和 VR 业务间的端到端切片隔离。



来源：中国信息通信研究院

图6 业务切片实现业务级的差异化承载

#### 4.保护协同：提升业务端到端高可靠性

网络保护技术分为接入段保护技术、传送段保护技术以及入云保护技术。接入段保护技术主要有类型 B（TypeB）保护、类型 C（TypeC）保护和 OLT 双上联保护。传送段保护技术主要是 ODU 和 OSU 通道保护，常见的保护类型包括 1+1 保护、1+1 保护和重路由结合、自动交换光网络（ASON）动态路由/永久 1+1 保护等。入云保护技术主要是指 OTN 云节点与云网关之间设置跨节点、跨板卡的 LAG 保护，确保单节点失效的情况下不影响客户访问云服务。

高品质业务对网络可靠性要求极高，例如热点直播业务、企业生产业务等，需要网络可靠性达到 99.99%；而对于普通家庭业务，网络可靠性达到 99.9%即可满足需求。针对不同行业用户对网络可靠性的需求，通过将接入侧、传送侧及入云侧的不同保护技术相结

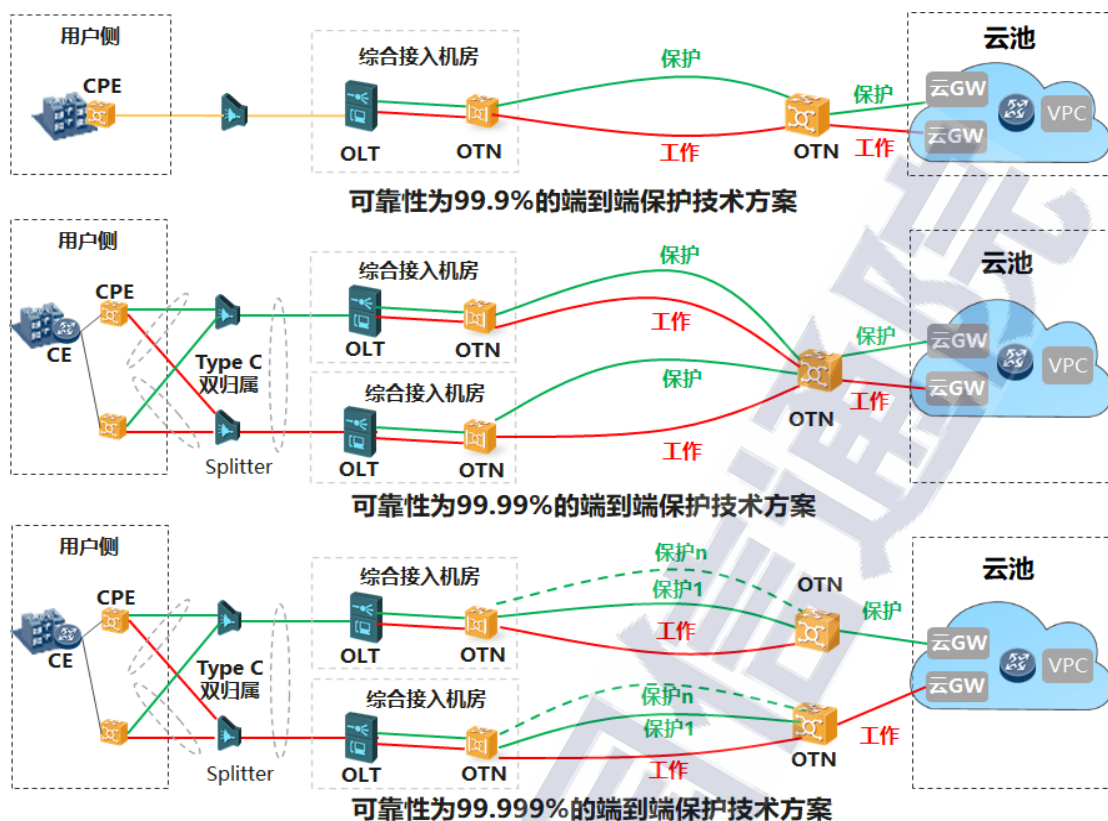
合，形成保护联动，从而构建满足多样化可靠性入云需求的全光协同保护方案。传接协同场景下，不同的网络可用率对应不同的网络保护模型，如下表4所示。

表4 网络可靠性需求与保护模型的对应关系

保护级别		保护模型		
可靠性	年中断时长上限	接入侧	传送侧	入云侧
99.9%	8.76小时	单客户终端设备（CPE）+无保护方式的接入单个综合接入机房，OLT双上联OTN	综合接入机房到OTN云节点采用1+1保护技术，双路由	OTN云节点到云网关采用LAG保护
99.99%	52.5分钟	两个CPE+双路由接入综合接入机房，OLT双上联OTN	综合接入机房到OTN云节点采用两路1+1保护技术，四路由	OTN云节点到云网关采用跨节点保护
99.999%	5.3分钟	两个CPE+双路由接入综合接入机房，OLT双上联OTN	综合接入机房到OTN云节点采用两路1+1保护技术结合ASON重路由/永久1+1保护技术	OTN云节点到云网关采用跨节点保护

来源：中国信息通信研究院

每种保护方案对应的连接关系如下图7所示。

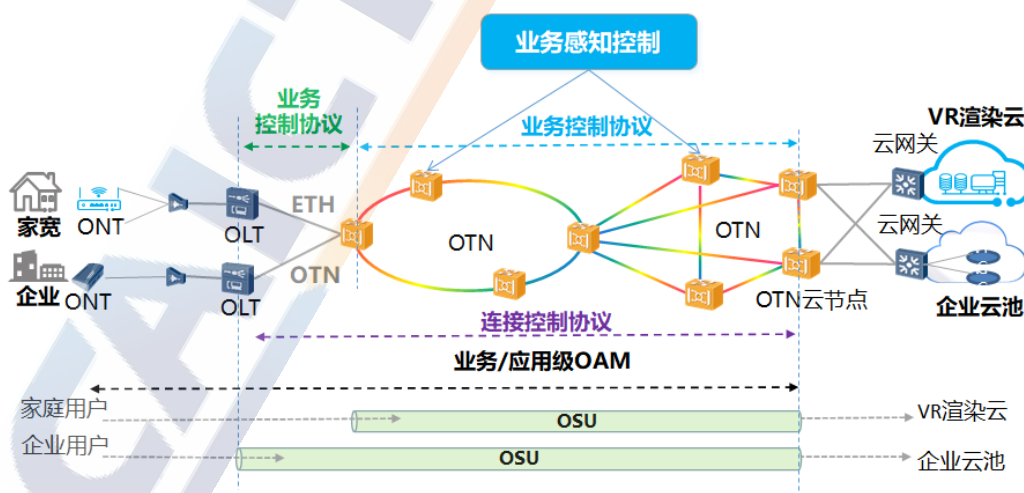


来源：中国信息通信研究院

图 7 不同可靠性对应的端到端保护方案示意

## (二) 连接协议协同

管控层连接协议协同用于实现从用户到云的端到端连接的自动化控制，实现业务一跳灵活入云。连接协议协同架构如下图 8 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 8 连接协议层协同架构

连接协议协同的关键技术包括业务控制协议、连接控制协议和



**端到端 OAM 协议。**业务控制协议用于感知网络地址，完成业务到管道的自动映射，实现灵活入多云；此外，还可以用于感知业务带宽，提供网络自适应带宽服务，提升带宽利用效率，降低网络成本。**连接控制协议**用于实现海量连接的快速建立、删除和调整，支持抗多次断纤的确定性恢复，且故障恢复性能与管道数量无关。**端到端 OAM 协议**为全光网络协同提供端到端的 OAM 机制，实现端到端网络性能可视。

### 1. 业务控制协议：实现灵活入云及自适应带宽提供

#### (1) 感知网络地址，实现灵活入云

当精品家宽业务和企业多分支机构业务需要访问多个云时，传统的 L2 点到点专线灵活性不足，全光网络需要具备点到多点灵活互连的专网连接能力，支持企业及家宽业务一点接入，灵活入多云，且保证企业间的信息相互隔离。业务控制协议需要提供如下关键技术能力：

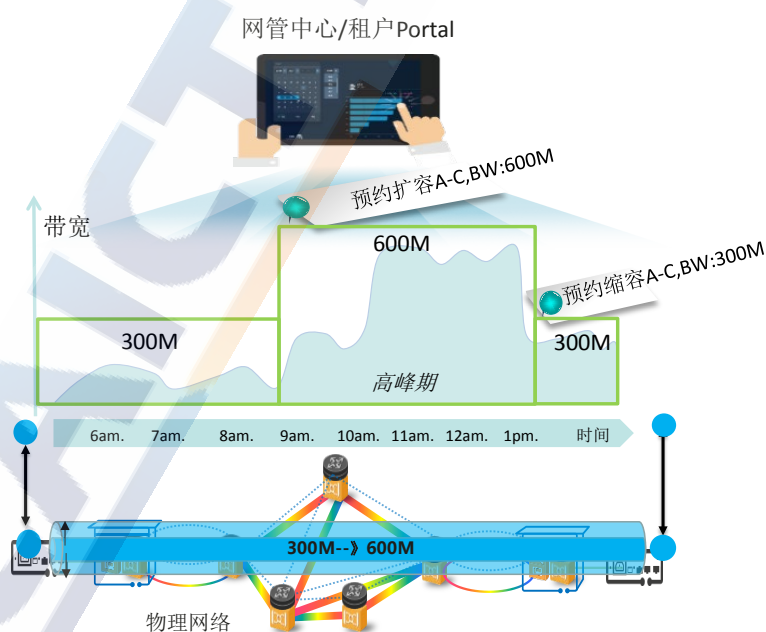
- **地址感知及映射：**实现用户侧和云侧的物理地址（MAC）/互联网协议（IP）地址动态学习，帮助业务基于 MAC/IP 地址实现到 ODU/OSU 管道的映射。
- **专网地址隔离：**提供租户级和应用级的专网服务，不同专网 MAC/IP 地址映射表相互隔离，不同租户或应用的地址规划相互独立、互不影响。

#### (2) 感知业务带宽，协同提供自适应带宽服务

在传统网络中，当 OTN 管道建立后，无论用户实际是否使用流

量、实际使用流量多少，管道都固定占用所分配的网络带宽资源。如果能根据业务的实际流量对管道进行扩缩容，基于业务的潮汐效应、在不同时间段错峰共享带宽，不仅能提高整个网络的带宽资源利用率，也能降低用户的专线承载成本。

对于企业入云，可基于带宽日历，按需提供带宽。对于企业专线，带宽需求的变化通常是具有计划性的，例如：某医疗行业的用户租用了云专线访问云上的电子计算机断层扫描（CT）等影像数据，工作日的九点到十二点是医生阅片的高峰期，故需要在该时间段能将专线带宽从 300M 扩容到 600M，其他时间段带宽缩回 300M，相比长期租用 600M 带宽，按需租用带宽可以大幅降低专线的租用成本。如图 9 所示，带宽调整可以采用资源预留的方式，当到达日历时刻，通知设备执行带宽调整，通过此方式可以保障带宽调整的成功率。



来源：中国信息通信研究院

图 9 基于日历按需调整带宽

对于家宽场景，可实现业务感知，按需无损调整带宽。8K 视频、云游戏等品质视频业务对带宽要求较高，用户使用品质视频业务分闲时和忙时，潮汐效应明显。如果按照用户数预留和规划带宽，则存在闲时带宽浪费、忙时带宽不足的情况，因此需要网络能够实时感知业务，提供自适应的带宽调整服务，实现时间上的带宽复用，降低网络成本。

业务感知方式包括两种，一是感知在线用户和应用，自动确定所需带宽并调整。OTN/OLT 识别应用类型和用户上下线信息，确定所需带宽，OLT 通过协议通告 OTN 带宽需求，OTN 接收到带宽服务请求，自动完成 OSU 管道带宽的调整。二是基于带宽扩容、缩容门限动态调整带宽。在 OTN 对应的管道上配置带宽扩容和缩容的流量门限，OTN 实时监控 OSU 管道入口的流量，根据实际流量是否达到了扩容门限和缩容门限，来确定是否调大或调小 OSU 管道带宽。

## 2.连接控制协议：支持超大网及海量连接控制

随着家庭精品业务、企业入云及运营商一体化服务的发展，全光网需要承载的业务种类越来越多，业务颗粒也越来越灵活，管道数量急剧上升。传统的控制平面信令协议的控制能力和管理能力无法满足需求，需要设计新型连接控制协议支撑全光网协同发展的诉求。

新型连接控制协议要支持 PON+OTN 的超大网及海量连接控制。以 3 万个 OLT 节点，连接 4 个云池为例，全光协同网络需要至少具备万级节点、全网十万级连接控制能力。可采用集中式与分布式结

合的控制协议架构，通过集中式协议控制实现全局资源最优调度，通过分布式协议控制提高网络的控制性能。

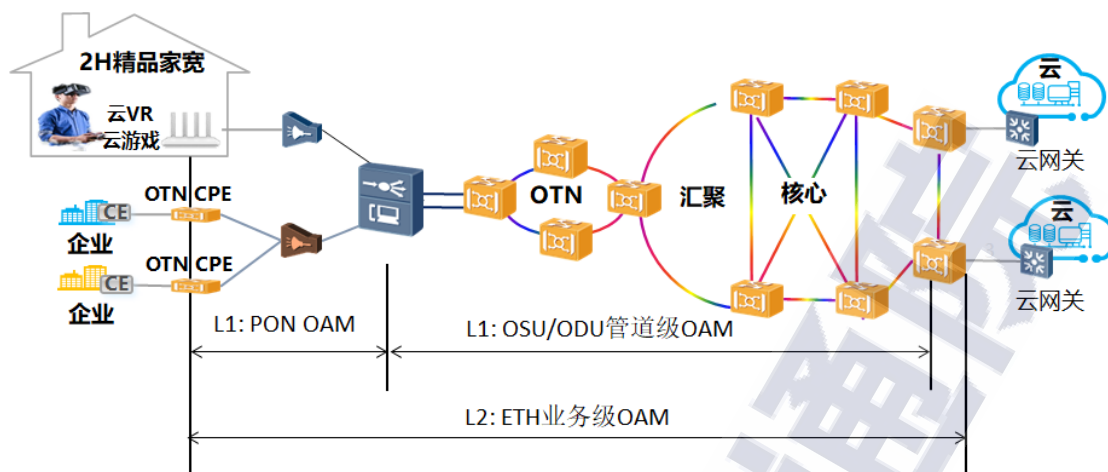
**新型连接控制协议要支持确定性恢复，PON+OTN 网络的故障恢复性能与管道数量无关。**为保障大网及海量连接的可靠性，全光网络的保障恢复时间不应随管道数量的增多而明显劣化。可以通过预计算恢复路由和预配置恢复路由来保证海量业务恢复的性能。

### 3.端到端 OAM 协议：提供端到端网络性能可视

全光网络协同需要解决从接入侧到入云侧的端到端 OAM。为了实时监测网络的运行状态、优化网络连接和性能、提升网络运行稳定性、降低网络维护成本，全光协同网络需要支持管道级和业务级的端到端 OAM，如图 10 所示。当前主流的 OAM 机制为管道级 OAM，但从全光网络协同的角度来看，需要业务级的 OAM 机制来做端到端的精准定位。全光协同要求实现根据用户需求，开启不同层次的 OAM 功能。OAM 的报文格式需要接入侧和传送侧统一，并支持相互之间的协同交互。

**管道级 OAM** 对接入段和传送段的时延、告警分段检测，需要通过管控系统或人工协同方式提供端到端的 OLT+OTN 管道的告警性能、时延测量等功能。

**业务级 OAM** 可以提供精准的端到端 L2/L3 级别 OAM，准确监控 ETH 业务通过 PON+OTN 网络的实时流量、丢包率、时延以及时延抖动等信息。

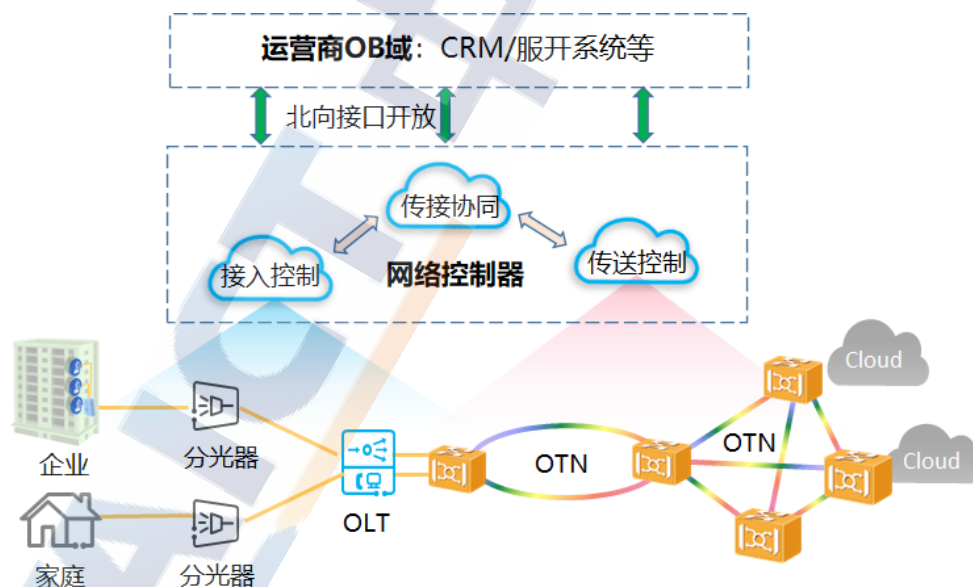


来源：中国信息通信研究院

图 10 端到端 OAM 协议协同示意图

### (三) 管理控制协同

全光协同网络需要提供业务端到端发放、业务 SLA 端到端保障、精细化运维（如快速故障定位和处理）等关键能力，对网络管控能力提出了更高要求。全光协同网络控制的整体架构如下图 11 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 11 管理控制层协同整体架构

管控系统协同包含三个部分：接入侧控制、传送侧控制和传接协同控制。这三个部分可以是三个独立的管控平台，也可以是同一

管控平台内部的不同功能组件。管控系统和运营商的 OB 域之间通过开放、标准的北向接口，完成传接业务的协同创建、删除、调整等操作，与策略编排层交互 SLA 参数及切片策略等，并提供如下关键技术能力：

- **端到端的业务管理能力：**动态感知传送网和接入网的网络资源，实现跨传送和接入的业务端到端发放和切片端到端管理。
- **端到端的运维管理能力：**由于业务跨越接入网与传送网，控制器需要具备端到端的告警分析、故障定位等关键的运维能力。
- **客户自管理能力：**根据需求提供专网管理、SLA 主动上报等用户自管理能力。

### 1. 拓扑资源协同：实现端到端业务及切片管理

端到端业务管理的实现主要包括三个方面：协同网络资源感知、端到端业务快速发放和端到端切片全生命周期管理。

**协同传送和接入的网络资源，实现全网资源整合。**接入控制组件和传送控制组件分别获取接入网络以及传送网络的拓扑和资源，并实时感知拓扑与资源的变化；传接协同组件感知域间的资源，并进行全网拓扑及资源整合。

**端到端的业务快速发放。**传接协同组件将一条端到端的业务分解成接入域和传输域两段，分别下发给接入控制组件和传送控制组件，并由其在各自域内完成设备的配置下发。

**端到端切片的全生命周期管理。**实现端到端切片的自动化部署、视图管理、优化调整以及告警和性能监控等切片全生命周期管理功

能。

## 2.故障定位协同：实现端到端运维管理

端到端网络的运维管理包括端到端的可视、可管、可维。传接协同组件能够实时监测呈现端到端业务的流量状态、时延、丢包及抖动情况。除此之外，传接协同组件还能够对一条端到端业务的故障进行精确定界及定位，并能够支持用户跳转到故障所在的位置，由接入控制组件或传送控制组件进行进一步的域内故障定位及分析操作。可引入人工智能（AI），根据接入和传送的运维数据进行协同决策分析，进一步增强端到端的智能运维能力。

## 3.控制组件协同：实现客户网络自我管理

为用户提供专网管理能力。通过开放的北向接口，协同传送和接入控制组件，为用户提供租户专网视图，以租户专网视角提供资源分配、SLA及监控保障能力，帮助租户维护服务质量。

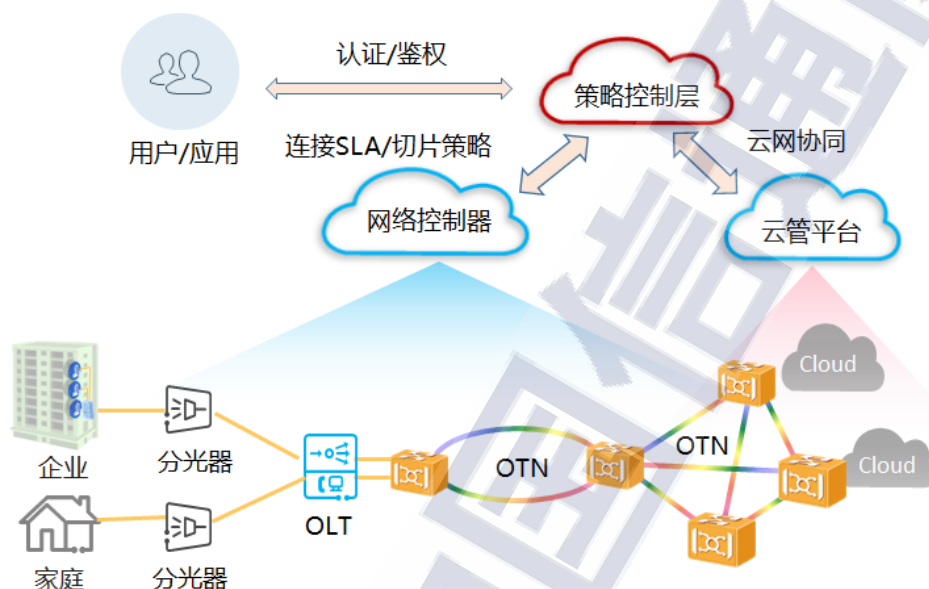
为用户提供可定制的增值服务。为租户提供可定制的增值服务，如主动的保障报告、定制化的运营报告等。主动上报影响云网业务的网络故障，生成故障影响分析报告、故障排障报告等。提供定制化运营报告，对业务的运行状况、维护状况等信息定期生成定制化的运营报告。

### (四)策略编排协同

协同用户应用需求、光网络资源及云资源，实现对业务SLA、切片策略等统一管理，需要通过策略编排层完成传送侧和接入侧的SLA、切片策略以及入云策略的协同管理。策略编排层的协同架构

如来源：中国信息通信研究院

图 12 所示，负责用户/应用认证、计费及云网协同的处理，实现业务入网和入云同开同停，为用户提供入网即入云的一体化服务能力。



来源：中国信息通信研究院

图 12 策略控制层协同架构

**协同提供端到端计费基础数据。**在面向带宽动态调整、业务快速开通和拆除等应用时，传送网和接入网络需要协同提供计费相关的网络基础数据。

**提供连接 SLA 及切片策略的协同管理。**为运营商提供基于时延、可用率、专网隔离等的全光网络切片策略，匹配不同行业用户及应用的诉求，提供网元级、单板级、端口级、波长级、时隙级等多种粒度的切片策略，对接入网和传送网的 SLA 和策略进行协同，形成端到端 SLA 和策略的管理能力。

**提供入网即入云的云网协同服务。**策略编排层向网络控制器申请编排网络资源，传送和接入协同，打通端到端的入云网络，同时



策略编排层向云管平台申请用户所需要的虚拟数据中心等资源，将入云的网络资源等信息（如入云的用户虚拟局域网（VLAN）、接入的物理端口、速率、用户侧 IP 等信息）通知云管平台，由云管平台完成云端资源的配置，实现入网即入云的服务体验。

## 五、总结与建议

随着“双千兆”工作的推进，面向家庭和企业的新业务场景不断涌现。一方面，家庭在线教育、云游戏等新兴业务需要差异化的承载方案，以满足家庭用户成本敏感、业务视频化以及网络持续稳定的低时延和低丢包等诉求。另外企业面临千行百业上云诉求，需要提供满足带宽、时延、安全性等需求的高品质的专线，此外还需要提供一体化的网络建设、运维方案，实现便捷入云及高效管理能力。

光网络具备高品质、确定性、高安全、低时延、低抖动等优势，是实现数字化转型的理想底座。传送网和接入网进行协同，借助接入侧设备对客户需求的感知，协同 OTN 网络硬管道提供，可以构建高品质的端到端的全光入云网络，满足不断涌现的新业务、新场景的多样化诉求。

全光网络协同方案仍处于技术探索和应用验证阶段，未来将进一步向业务接入自动化、服务保障一体化和网络运维智能化的方向发展。当前在设备协同形态、连接控制协议实现、网络管控运维模式等方面仍需要产业各方深入协作，进一步加强应用驱动、技术创新和标准化等方面的引导。

**一是针对新业务新场景，探索新商业模式，牵引全光网络协同**

**产业发展。**产业各方需要共同探索面向高品质业务体验的业务模式创新，建议优先在家庭精品业务（如云游戏等）、中小企业入云等新业务新场景探索品质承载的方案，保障精品业务、企业核心应用一跳入云，通过保障业务的 SLA 实现不同业务的差异化承载。借助新商业模式的开拓，助推全光网络协同的产业发展。

**二是聚合产业各方，推动传接协同技术发展、架构创新和标准化进程。**为了实现全光网络协同的全面发展，在协同技术方面，产业界各方需要在管控、协议、保护、运维等传接协同关键技术上重点攻关，探索协同架构创新，推进全光协同技术演进。在标准化推进方面，产业各方需要深入合作，携手制定全光网络协同发展的架构标准及相关的设备接口、互通协议等标准，降低全光网络协同成本，共同推动全光网络协同技术演进和标准化进程。

**三是探索新的运维流程和模式，面向行业客户提升服务保障能力。**当前运营商接入侧和传送侧网络设备采用分段运维模式，需要新的运维体制和运维流程，通过建设端到端业务专网，同时引入 AI、网络切片等新技术，提升端到端业务保障能力，实现端到端资源可视可管，满足不同用户的运维和监控需求。

中国信息通信研究院 技术与标准研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300112

传真：010-62300123

网址：[www.caict.ac.cn](http://www.caict.ac.cn)

