全光自动驾驶网络解决方案白皮书

(Autonomous Driving Network)

HUAWEI

目录 >>

1 全光网面临的发展机遇与挑战 01

1.1 全光网面临的发展机遇 01

1.2 全光网面临的挑战 02

2 自动驾驶网络的探索与实践 04

3 华为全光自动驾驶网络解决方案 06

3.1 愿景 06

3.2 系统架构 07

3.3 关键能力 09

3.4 展望 15

全光网面临的发展机遇与挑战

1.1 全光网面临的发展机遇

以数字化产业、产业数字化为核心，以全光网等信息通讯网络为载体，并通过数字技术与实体经济的深度融合，数字经济已经成长为全球GDP增长的关键驱动力。据中国信息通信研究院分析数据，2020年全球数字经济规模达到32.6万亿美元，占GDP比重为43.7%。目前全球已经有超过50个国家相继发布了数字化战略，基于云+网的新型基础设施建设来推动行业数字化转型。

与此同时，随着企业加速上云、云网一体化以及数字治理、数字生活应用的快速发展，对全光网的提速、提质呼声日益高涨，驱动运营商持续夯实全光网，以服务千行百业数字化转型。在B2B市场，政务集约化、视频化、互联网化趋势明显；在证券、期货行业，高频交易、追求极低时延；在医疗行业，互联化加速，医疗影像入云、远程医疗、远程会诊正在蓬勃发展；在企业领域，数字化转型加速，企业互联、企业入云成为常态...。在B2H家宽市场，随着强交互、超高清视频等业务的普及，宅经济、云生活等方式的兴起，使家庭从传统的娱乐中心转变成娱乐+生产双中心，同样离不开一张高品质的全光网。

为了实现“光联万物”的愿景目标及规范化全光网的发展，2020年初，欧洲电信标准协会（ETSI）成立了F5G工作组，定义了以200G/400G、下一代OTN、10G PON、Wi-Fi 6等为代表技术的第五代固定网络技术，明确了F5G三大特征：增强型固定宽带（eFBB）、全光纤连接（FFC）和保证可靠体验（GRE）。F5G全光网以光纤为传输介质，通过提供高安全、高可靠、大带宽、低时延的超强运力及品质联接业务，构筑数字经济的全光底座，在加速千行百业数字化转型的同时，驶入发展的快车道。

1.2 全光网面临的挑战

根据OVUM分析报告显示，过去十年电信行业的收入增长从来没有跑赢过OPEX的增长，随着网络规模逐年增加，OPEX快速增长，结构化矛盾变得日益突出。

全光网作为通信网络的基石，被普遍用于承载其它业务形态。随着千行百业的数字化转型及万物智联，光网络的规模不断扩大，质量要求不断提升，传统的以人工为主、机器辅助的运维模式面临着巨大挑战，主要表现在：

挑战一：业务开通周期长，带宽动态调整难

传统方式下，光网络规划及业务配置主要依赖于人工，效率低下且容易出错，主要表现在：

一是资源管理难。资源数据离散分布在不同系统中，资源变化需人工核查、耗时长达数天，网络资源瓶颈难以提前发现，紧急扩容多，极大地影响了用户业务购买体验。

二是业务配置复杂、开通周期长。专线业务往往跨多站点、OTN光/电多层、多流程节点，且需人工核查是否有空闲资源、人工计算路由、手动配置业务，造成不仅对人员技能要求高、容易出错，而且业务开通周期往往长达数周。

三是带宽按需、快速调整难。比如电商企业进行双11、黑色星期五等大型促销、营销活动时，网络流量激增，需临时提升带宽；再如银行总部与分支机构间的定期对账，涉及到大流量的数据传输，同样需要带宽的动态调整。运营商需要具备快速动态调整带宽的能力，以匹配客户诉求。

四是差异化SLA的按需开通，以及云网融合趋势下的光、云一站式开通难。

挑战二：人工为主的被动运维效率低下，亟需提升

传统光网络的运维是面向设备单站，以人机交互为主的运维方式。随着互联网+、5G、4K、VR等业务的蓬勃发展，光网络作为带宽流量的最终承载，也变得越来越复杂：

一是光纤作为光网络的通信媒介，其“哑资源”的无源物理特征，造成光纤资源信息不准确，比如PON网络很容易出现离网虚占的情况，OTN网络同沟同缆信息准确度也不高。

二是光网络故障运维响应慢，定障维修慢。据统计，90%的家宽故障来源是用户投诉，90%上门时间用于定障，平均耗时超2小时。在专线网络，业务中断、闪断、劣变成为政企客户的投诉主因，业务质量监测、故障诊断和溯源功能急需完善。

挑战三：全光网需要提供差异化SLA体验

全光网具备大带宽、低时延、高可用等显著特征。随着网络流量的增加，日益激烈的市场竞争，以及对客户带宽、时延、可靠性等差异化服务等级协议（Service Level Agreement，SLA）诉求，运营商需要对外提供更丰富的业务形态、多种多样的SLA履约能力，对内提高网络的可靠性、资源利用率和运营效率。这些都对光网络的网络运维、保障能力提出了更高的要求，需要通过网络硬件和软件方面的创新，来实现对业务SLA的数字化度量、发放及在日常运行过程中进行持续的监控和保障，从而为用户提供差异化的产品及创新服务，在提升客户满意度、有效应对市场竞争的同时，实现网络品质的敏捷商业变现、提质增收。

面对上述全光网运维的三大挑战，产业界一直在积极探索新一代的全光网运维解决方案，以支持全流程地降本增效。

自动驾驶网络的探索与实践

早在2011年，电信产业就希望通过使用SDN、NFV和云技术，来提升ICT业务和网络的敏捷性，降低成本和复杂性；但从结果来看，基于SDN/NFV技术的网络自动化仍无法完全解决各种应用的大规模部署、网络新技术引入带来的问题。自动驾驶网络应运而生，试图通过应用多种智能技术，发挥融合优势驱动电信行业从数字化迈向智能化，对电信产业的生产方式、运营模式、思维模式和人员技能等全方位带来深远影响。

2019年5月，电信管理论坛TMF联合英国电信、中国移动、法国Orange、华为和爱立信等成员，合作发布了业界第一部自动驾驶网络白皮书，目前已经发布了V3版本。白皮书中指出“自治网络要利用AI、大数据、云计算等技术，采用极简网络架构，面向垂直行业和终端用户提供全自动、零等待、零接触、零故障的创新网络与ICT业务”，并定义了“单域自治、跨域协同”的三层四闭环框架（见图1）及网络自治能力等级（L0~L5，见图2），为通信网络的运维数智化转型明晰了目标架构和实现路径，加速了产业协作。

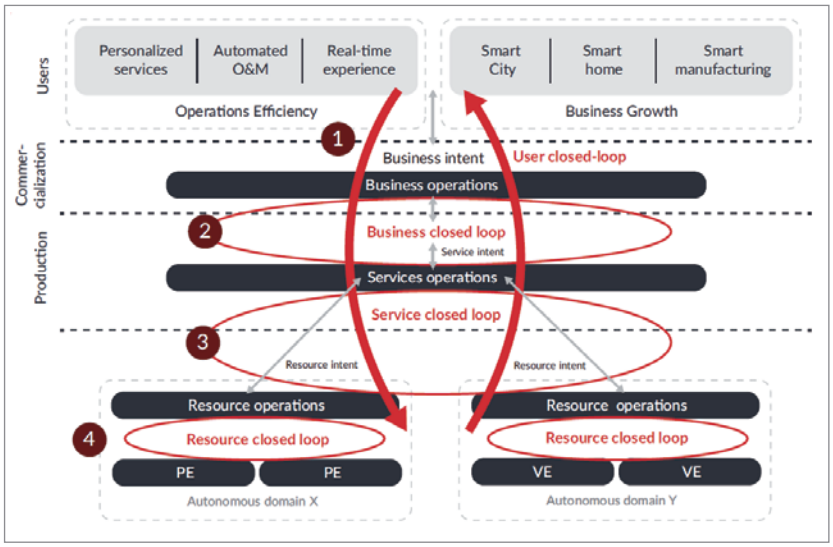

图1 TMF Forum 2020，自治网络框架

Autonomous Levels	L0: Manual Operation & Maintenance	L1: Assisted Operation & Maintenance	L2 Partial Autonomous Networks	L3 Conditional Autonomous Networks	L4 High Autonomous Networks	L5 Full Autonomous Networks
Execution	P	P/S	S	S	S	S
Awareness	P	P/S	P/S	S	S	S
Analysis	P	P	P/S	P/S	S	S
Decision	P	P	P	P/S	S	S
Intent/ Experience	P	P	P	P	P/S	S
Applicability	N/A	Select scenarios				All scenarios

P People (manual) S System (autonomous)

图2 TMF Forum 2020，自治网络的6个等级

根据TMF调研结果，88%的运营商计划在未来十年内大规模部署自动驾驶网络。一些领先的运营商也在结合自己的业务战略诉求，积极进行自动驾驶网络的探索与实践。以中国移动为例，面对客户数量众多、业务种类丰富、网络规模巨大的通信网络，中国移动参考TMF自动驾驶网络框架及分级体系，携手华为等合作伙伴，于2021年7月发布自动驾驶网络白皮书，规划网络运维数智化转型，加大自动化、智能化能力建设，并设定2025年网络运维自治水平达到L4的整体目标。白皮书中，不仅定义了清晰的目标、思路、内部实践框架；还提出了面向运维流程的场景化自治能力分级标准，组织各省分公司进行能力等级评分、识别短板，加大加快系统建设及规范引导，积极开展自动化及智能化应用的创新试点及商用，以分步迭代提升网络运维自治水平。中国联通围绕分级评估、产品研发、达标赋能建立“三位一体“的自动驾驶网络推进方法论，已部分完成自动驾驶网络架构和分级标准定义，并从无线接入场景开始进行试点迭代。VDF集团也已完成自动驾驶网络架构定义，并计划参考TMF分级标准定义其分级标准，在部分子网开始试点实践UseCase。

华为全光自动驾驶网络解决方案

3.1 愿景

从全云化战略到自动驾驶网络战略，华为一直持续和行业标准组织、运营商、产业界协同，在未来网络架构、运维模式、商业模式等多方面进行创新探索，致力于成为未来网络的“探索者、创新者和领导者”，推动电信产业的智能升级与网络自治水平。并参考TMF目标架构，于2020年5月发布自动驾驶网络解决方案白皮书（如下图3），详细阐述了自动驾驶网络战略，旨在通过融合运用SDN、NFV、云、大数据、AI、知识图谱等多种智能技术，重点研究人工智能技术对未来网络架构、运维模式和商业模式的影响，用架构性创新解决电信网络的TCO结构性问题，实现网络自动、自愈、自优，敏捷使能新业务并实现极致的客户体验、高效运维及高效资源利用，以带动电信产业的智能升级，促进产业的健康可持续发展。

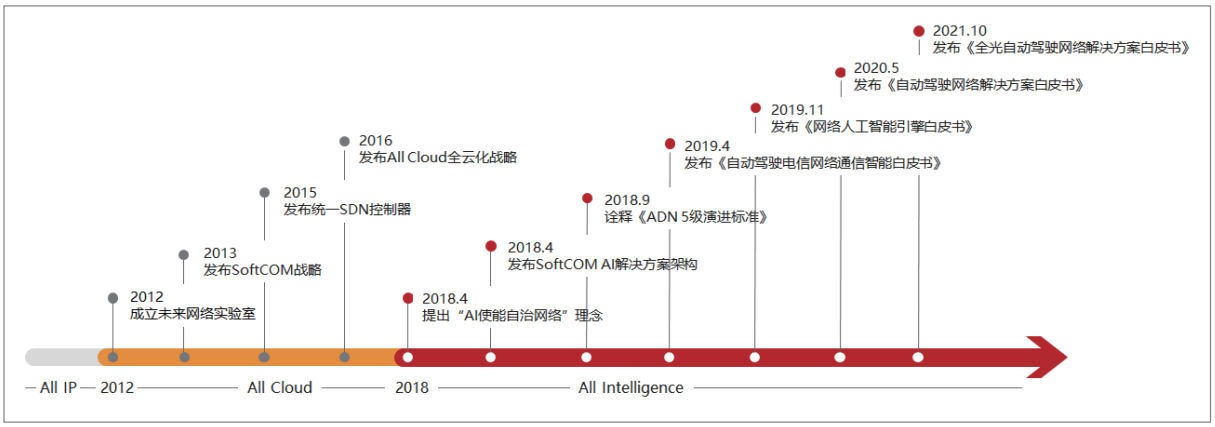

图3 华为自动驾驶网络探索历程

全光自动驾驶网络是华为自动驾驶战略在全光网领域落地的场景化解决方案，通过在网元、网络、业务三层引入AI，打造自动、自愈、自优的全光网络运营运维能力，使能光缆基础设施的数字化。其愿景是构建高效、安全、绿色的全光自动驾驶网络，实现全生命周期自动化运营和智能化运维，成为全专业自动驾驶底盘，面向家庭和行业客户提供零接触、零等待、零故障的品质家宽、品质专线服务体验，支撑政企和家客的高品质发展。

3.2 系统架构

全光网要想达到L5级，实现可自我演进和自我优化的终极目标，依赖全光网自我认知、人的知识和经验提取等一系列基础理论和技术难题的研究突破，仍需较长的探索周期。考虑当前的技术成熟度，需要以L4级作为全光自动驾驶网络未来架构的阶段性目标，有节奏地引入正在逐步成熟的人工智能、知识图谱等新技术、新工具和新方法，对全光网设备、运维系统，甚至商业运营进行全方位的重构与优化。

从技术视角看，L4级全光自动驾驶网络目标架构应当具备如下四个基本特征：

特征1：全光网知识和专家知识数字化，从被动的人工运维，走向预测性的智能运维

特征2：极简架构的全光网基础设施，光网元走向智能化

特征3：分层的单域自治和跨域协同，全光网走向在线实时闭环

特征4：统一的云端AI训练、知识管理和运维设计平台，支持全光网迭代演进

基于设计理念及基本特征要求，华为全光自动驾驶网络解决方案系统架构定义如下（图4）：

图4 华为全光自动驾驶网络解决方案架构

极简全光网基础设施：

极简的全光网基础设施是走向智能和分层自治的自动驾驶网络的基础和根本保证。一方面，以更简洁的网络架构、协议、设备和站点、部署方案，应对超高带宽和品质联接带来的复杂性，提升全生命周期的效率和客户体验。另一方面，网络设备引入更多的实时感知器件和AI推理能力，越来越聪明，不但增强对资源、业务及周边环境的数字化感知能力，还具备在数据源头做感知分析与决策执行的边缘智能能力。

智能网络管控系统（iMaster NCE）：

iMaster NCE（下文统一简称为NCE）融合网络管理、网络控制和网络分析三大模块，通过注入知识和AI模型，将上层业务和应用意图自动翻译为网络行为，实现单域自治闭环，保障网络连接或功能的SLA可承诺。网络管控单元通过网络数字建模方法，将离散的网络资源、业务、状态数据关联起来，建立完整的域内网络数字化“高清地图”，实现网络数据采集、网络感知、网络决策和网络控制一体化。同时，通过持续从云端注入新的AI模型和网络运维知识，不断强化与丰富本地化的AI模型库和网络知识库，让本地的智能化感知和决策能力不断优化增强。

智能服务平台（GDE）：

提供运维流程和知识资产与运维可编程设计框架的平台与云服务，面向聚焦运维流程的打通和灵活的业务编排，允许根据自身网络特点，快速迭代开发新的业务模式、运维流程及业务应用，助力运营商实现业务敏捷，同时赋能新型运维人员的技能提升。

网络人工智能产品（iMaster NAIE）：

提供网络领域的人工智能平台和云服务。一方面，是网络AI设计和开发的基础平台，支持对上传到云端的各种网络数据，持续进行AI训练和知识提取生成AI模型和网络知识成果，并可注入到网络基础设施、网络管控单元和跨域智能运维单元中，让网络更好用，越用越智能。另一方面，它也可以是运营商智力资产共享中心，运营商面向规、建、维、优过程开发和训练出来的各种AI模型、网络知识等成果在网络人工智能单元统一管理，充分共享和重复使用，减少重复开发和训练。网络人工智能单元包括云端的AI训练、数据服务、网络知识库、AI应用市场等基础服务和能力。

3.3 关键能力

全光自动驾驶网络解决方案以iMaster NCE产品为核心，针对全光网的三大关键挑战，引入云化、大数据、人工智能技术，通过三层智能化的架构创新及持续迭代实践，围绕点亮光缆网、光专线自动配置、光专线高品质体验、家宽差异化服务、家宽潜客推荐等全光网生命周期UC，使能全光网业务的敏捷商业变现及运维模式升级，变事后的故障被动处理为主动、预测性的维护。

3.3.1 点亮光缆网

数字化ODN：随着光接入网络的快速发展，ODN（Optical Distribution Network）不但连接千家万户，还连接千行百业，是一张越来越巨大的光纤分配网络。它爬上线杆，走过街道，穿越楼道，甚至越过下水道。整个ODN网络的建设环境非常复杂，是光接入网络的投资重点。虽然分光器和光纤等是不需要电的无源设备，但无源的代价就是ODN变成“哑”资源，不会应答管理系统，所以很难实时管理。

在此挑战之下，数字化ODN解决方案应运而生，其有二大主要目标：

一是降低建网成本，包含传统的光纤现场熔接升级为端到端光纤预连接等方案。

二是提升数字化水平，通过引入新一代光检测硬件技术，把ODN网络拓扑数据的人工录入升级为自动录入，解决人工维护和易出错等问题，实现数据的自动更新及高效运维。

OTN同缆风险识别：在OTN网络中，物理光缆同路由每年都会引发多起重大事故，但在实际工作中缺乏有效的监测手段。因此，基于光网络探针，通过人工智能的方式分析光纤的特征数据，分析光纤的各种数据变化，如瑞利散射效应、布里渊散射效应、拉曼散射效应、SOP光偏振变化等数据，精准识别OTN网络中保护链路的同缆情况，已经势在必行。通过有效识别同缆风险，提前进行业务整改，消除事故隐患，才可能避免因光缆同路由导致的重大网络安全事故。

3.3.2 光专线自动配置：敏捷业务开通，网络服务开放

随着各行各业数字化转型的加速，专线业务的快速开通、带宽按需调整、客户自助化逐渐成为新常态。为了积极应对这一变化，NCE主要从如下几个方面进行发力：

敏捷业务发放：针对光专线业务跨多站点、OTN光/电多层、人工资源核查等挑战，NCE提供一站式、E2E的OTN专线业务发放，运维人员只需选择源宿站点、业务模板等少量信息后，即可自动、快速地完成专线业务开通，大幅缩短TTM。

此外，面对客户的带宽动态调整诉求，NCE的带宽按需调整（BOD：Bandwidth on Demand）特性支持灵活的、多种多样的带宽调整策略，比如：一次性调整、永久性调整、周期性调整以及按日期的预约发放。

时延保障：传统的运维系统，缺乏精准的、自动化的时延测量手段，需通过站内时延、链路时延（光纤距离、光纤损耗）来进行人工大致估算，不仅成本高、精度低，而且缺乏必要的时延监控保障手段。NCE通过对时延全生命周期的管理及保障，让时延变得可视、可管理、可保障，从而帮助运营商提供差异化时延的专线业务，加速时延的销售变现：

基于G.709标准的物理单板时延实时测量技术，NCE的时延地图特性提供微秒级精度的网络级时延地图，就像Google Map一样，能自动给出基于时延的路由导航，以支撑市场人员按时延的灵活销售；

在售中阶段，基于时延自动算路，按照合同承诺的时延开通业务；

在售后阶段，通过对业务时延的系统实时监控，实现时延越限自动预警，以帮助提前识别及消除潜在的违约风险。

OTN CPE即插即用：专线业务发放需要在企业客户侧安装OTN CPE。而传统方式下，CPE部署复杂，整个过程以手工操作为主，安装、软调、验收多次上站，CPE调测需要NOC、站点工程师远程协作，效率低下、容易出错，整个部署周期长达3~5天。为了减少上站次数、避免站点工程师和NOC的耦合作业，NCE与设备协同创新，推出CPE即插即用解决方案。首先运维工程师在NCE上做少量的预配置（比如加载预配置模板），然后站点工程师上站安装CPE、上电连纤，即可实现CPE管理通道的自动打通、自动发现及网管纳管，免现场配置软调、免人员协作，从而减少80%的CPE部署、发放时长。

网络即服务，全面开放光网能力：新一代光传送网发展论坛NGOF通过对大量专线用户的调研，将行业客户需求转换为网络KPI衡量指标，发布品质专线五星指标体系，从高可用率、可保证带宽、低时延&低抖动、业务敏捷、在线自管理五个维度重新定义企业专线的品质指标。其中五星级品质专线的业务敏捷指标要求支持线上业务预定发放及分钟级业务开通，在线自管理指标要求专线关键指标客户可视、带宽无损调整，从中亦可以看出专线业务自动化、客户自助化的重要性。

全光自动驾驶网络解决方案以NCE为核心，对外提供ACTN APIs等丰富类型的北向接口，全面开放网络资源、拓扑、告警、性能、配置等服务化能力，并通过10+ OSS集成合作伙伴、40+项目的集成经验，帮助运营商实现光专线业务的自动化开通及客户自助化服务，业务平均开通时间从过去的月级缩短到天级、分钟级。

以天津移动“双极政企专网”项目为例，通过NCE与OSS/BSS系统的集成，贯通专线业务全流程，实现专线业务的自动化开通，并发布政企用户APP，用户通过APP可以实现：自助在线预约光专线业务，实时查看开通进度，按需自助带宽提速，查看业务性能指标，进行故障申告及查看故障处理进度。

3.3.3 光专线高品质体验：变被动运维为预测性防护

全光自动驾驶网络解决方案分别在网元、网络、云端引入智能，不仅可以代替人工解决大量重复性的以及复杂性的计算工作，还可基于大数据的智能分析显著提升对全光网络的预防、预测能力，大幅提升运维效率，实现主动式、预测性的运维：

在网元智能层，内置oDSP（光数字信号处理）、OTDR（光时域反射仪）、OFDR（光频域反射仪）等丰富的光探针，对全光网性能进行数字化及实时感知；并通过内置轻量级的AI推理模块，实现高效的边缘智能分析及推理。

在网络智能层，NCE通过对光网数据的长周期采集及智能分析，压缩海量告警并点亮光纤哑资源，实时掌控光纤与波道的亚健康状态，提前预测90%以上的光纤缓变类故障。

光网健康保障：光纤作为全光网的传输媒介，光纤性能决定了承载业务的质量。提升全光网质量的核心就是减少光纤故障率。而光纤故障又可细分成中断类故障及缓变类故障，其中缓变类故障（包括光纤弯折、光纤连接头松动、老化，纤芯受损、光纤质量差，尾纤劣化等）占比高达20%~50%。因为光纤 “哑资源”的无源物理特征，当前故障处理主要受投诉驱动，人工上站逐段排查，成本高、效率低、耗时长。

针对光纤性能劣化类故障的缓慢变化特征，在设备侧实时感知光功率、光衰、误码率等光性能指标，以及进行短周期的边缘推理分析，并把结果上报给NCE。由NCE进行长周期的大数据采集及智能分析，自动实现全网光纤及OCh波道健康状态的可视化；并结合劣化趋势预测，提前预测其发生故障的风险等级及发生时间（小时/天/周/月内）；针对故障隐患，通过设备内置的OTDR，自动定位到故障隐患发生位置并给出修复建议；此外，在通过光纤割接恢复光路故障的过程中，NCE会自动对比分析割接前后的光路质量，以避免因割接后质量不佳、需重复上站的问题。

在江苏联通，通过光网健康保障方案，提前主动发现光性能劣化故障隐患，降低83%的光纤性能劣化故障定位时长，纤芯衰耗巡检从过去的周级、人工操作转变成分钟级、系统自动执行，从而变被动处理到主动的预测性防护，减少30%的光纤类故障。

故障Incident管理：全光网海量告警、重复工单，消耗大量人力；网络结构复杂，告警种类多，根因和业务影响分析对人员技能要求高，耗时长。通过NCE故障Incident管理特性，进行3级故障压缩及智能算法分析，5分钟内自动识别疑似故障根因告警，有力支撑了运营商一故障一工单的运维目标，具体实现如下：

首先，对现网海量的告警数据进行降噪过滤，即自动识别并标注出重复上报告警、工程状态告警、闪断告警等无效的告警数据，大幅减少告警量；

其次，按照相关性规则对告警进行智能聚合，例如通过告警所在对象的拓扑关联、上下文关联，故障发生时间的先后关联等对告警进行关联汇聚，形成相关联的Incident事件；

最后，利用AI算法，进行Incident事件内和Incident事件之间的根因识别、故障场景识别和业务影响分析，从而找出导致Incident事件发生的疑似根因告警，转化为故障工单。

3.3.4 家宽差异化服务：可保障SLA的差异化承载

随着人们生活水平日益提高，对信息的品质要求也不断提升，人们对网络的需求，已经不满足于宽带速率单一维度的提升，而是越来越向深度、多元化的体验方向发展。

在万物互联的时代，将有海量的设备接入网络，一台设备还会有不同的业务接入网络，这些设备/业务分属不同的行业领域，具有不同的特点，对网络的安全性、时延、可靠性、带宽等存在不同的诉求。例如：

- 智慧城市、智能家居等需要大量的设备连接和频繁传输小型数据包的服务支撑。
- 高清视频、AR/VR等娱乐信息服务要求高宽带的网络连接。

图5 差异化网络服务诉求

因此，采用一张网络或者统一的策略已不能满足不断涌现的新业务和新场景的需求，为每种业务场景独立建网，成本高，周期长。目前主要有以下两种关键诉求：

● 差异化业务承载：家庭宽带多业务承载场景中，一个家庭终端可能同时接入多种应用（在线网课、在线游戏、视频直播、网上购物、在线聊天等），每种业务的网络保障需求和优先级不同，运营商需要为不同业务提供差异化的保障。

● 多租户独立运营：企业场景，运营商为每个租户提供独立的硬件基础网络投入大，设备利用率低，多租户共用物理网络资源，能够有效节省投资，提升设备利用率。

基于可保障SLA的家宽差异化承载：华为基于SDN（Software Defined Networking）技术，在一个硬件基础网络上切分出多个独立的虚拟网络，按需分配资源、灵活组合，满足各种业务的不同需求。当新的业务需求被提出而目前网络无法满足要求时，运营商可以为此需求虚拟出一张新的网络，而不需要影响已有的网络，并且可以按照不同的业务SLA目标定义动态差异化承载能力，以满足不同场景用户的业务需求，实现新业务快速上线。

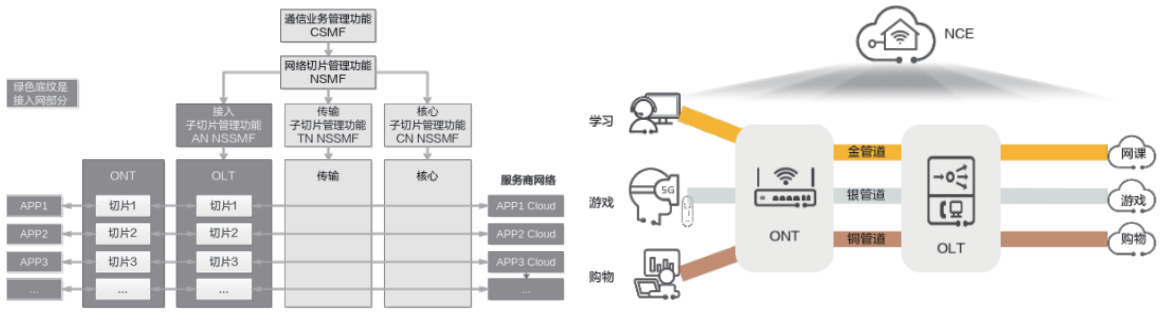

图6 基于可承诺SLA的动态差异化承载技术

家庭WI-FI体验保障：在家庭网络中，Wi-Fi 逐渐成为用户刚性需求，有数据表明目前运营商的 70%以上流量来自家庭Wi-Fi网络。但同时运营商在宽带提速(如 100M/1000M)后，体验并未提升，瓶颈就在用户侧家庭网络。同时高清视频业务和日益增多的移动终端所依赖的优质高速 Wi-Fi 成为用户抱怨的焦点，主要问题有：Wi-Fi 速率低，Wi-Fi 覆盖差干扰多，Wi-Fi 质量对运营商不可视，难定位问题和解决问题。因此，提供可保障SLA的家宽差异化承载，必须解决家庭WI-FI体验保障难题。

据 Conviva 用户视频报告的数据，当视频卡顿时，约三分之一的用户会感到难以忍受，立即放弃观看；84%的用户会在体验变差一分钟内，停止观看。因此，针对用户热切关注的家庭 Wi-Fi 网络覆盖和质量问题，运营商级的家庭 Wi-Fi 网络应以双频 Wi-Fi 的家庭网关为中心，充分利用室内光纤等扩展介质实现 Wi-Fi 的智能覆盖，网关作为控制中心实现家庭整网的 Wi-Fi 无缝漫游和信道调优，并结合Wi-Fi空口动态调度技术，基于应用体验感知驱动Wi-Fi空口资源按照业务优先级、动态带宽需求进行智能调度，打造体验可保障、可管理、可运维、可调优的家庭 Wi-Fi 网络。同时需要系统性提供以家庭网关为中心的家庭网络 Wi-Fi 体验衡量标准 KQI（关键质量标准）和 KPI（关键性能指标），客观量化最终用户的体验（如在线视频的时延，网页浏览的加载时间，在线游戏的响应时间等）。

3.4 展望

全光网的无源模拟特征和组网复杂性，决定了完全自治的全光自动驾驶网络将是一个长期的过程，华为期望与运营商伙伴、标准组织、研究机构及生态合作伙伴一道携手并进，在全光网规、建、维、优、营各个维度的关键技术、创新应用上不断探索、实践，以支撑全光网业务的敏捷创新及打造全自动、零等待、零接触、零故障的使用体验，加速千行百业的数智化转型，把高品质的全光数字生活、全光数字生产带入每个家庭、每个企业，助力数字经济的高质量发展！