



OLT设备智能板应用研究

李德莉, 李昶, 黄乐天, 豆晓雷, 汪琳莉
(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘 要: 为保障数亿PON用户的业务感知, 解决传统PON中仅能检测网络KPI, 无法对单个用户的业务感知进行优化的问题。首先研究了OLT设备智能板的技术原理, 提出两种部署智能板的方案, 并在现网中应用, 采集并分析了宽带和专线用户的业务类型、使用时长、分钟峰值、分时段流量特征等业务KPI, 给出精准营销与网络规划建议。然后, 分析采集的专线用户质差数据, 研究单纯配置保证带宽对其业务质量改善不明显的原因, 并进一步在实验室开展仿真研究, 提出为政企客户配置优先级与保证带宽的方案, 以有效保障其业务质量。最后, 结合当前研究与应用情况总结OLT设备智能板的优势, 并结合未来客户与网络发展需求, 对OLT设备智能板发展演进方向给出建议。

关键词: OLT设备智能板卡; DPI; 业务感知

中图分类号: TN915

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025312

0 引言

经过多年的建设, 运营商宽带网络已达到相当的规模, 千兆光纤网络覆盖能力大幅提升, 10G PON端口规模已超过3 022万个, 远高于早期设定的目标, 截至2025年6月月末, 我国固定互联网宽带接入用户总数达6.84亿户, 其中千兆宽带用户(1 000 Mbit/s及以上)突破2.26亿户, 占总用户数的33%。随着技术升级, 千兆宽带普及率持续提升, 且企业数字化转型加速, 催生更多创新应用, 所以需要进一步提升业务质量感知能力, 提升用户体验, 推动经济高质量发展。

1 技术与部署

1.1 技术优势

传统PON的管理主要依靠网管采集的OLT、

ONU设备的性能指标, 具体有设备光功率(OLT侧、ONU侧、光纤链路插损等)、系统流量(OLT/ONU侧的PON端口上下行流量、广播/组播流量占比等)、信号质量(误码率、前向纠错计数、信噪比)等网络KPI指标, 通过监测、控制这些指标在合理范围, 确保PON稳定运行, 并提前发现潜在故障(如光纤老化导致光功率下降), 优化网络性能。PON网管监测的主要性能指标见表1。

由此可见, PON网管可针对网络的运行状况进行精准分析, 但无法采集、分析具体应用的性能指标, 也就无法实现面向用户体验感知的研究与优化, 进而只能根据网络质量定性判别业务性能与用户体验, 以致偏差较大。因此, PON引入了OLT业务分析智能板, 它可插入OLT设备的任意机框用户板槽位, 并支持与其他PON板卡混插

表1 PON网管监测的主要性能指标

资源统计	网络状态统计	告警统计	物理资源统计分析	逻辑资源统计分析
网元、单板、端口	ONU 弱光	OLT 告警总次数	OLT 信息统计分析	OLT 主控板性能异常
PON 口光模块	ONU 健康性	OLT 告警名称	OLT PON 口混插情况统计分析	上联口宽带利用率异常
PON 口使用率	OLT 上行端口光功率	OLT 告警次数	VLAN 信息统计	PON 口带宽利用率异常
ONU 设备	PON 端口光功率	OLT 告警持续时长	ONU 数量超限统计分析	Wi-Fi 使用情况统计
PON 资源	ONU 上行端口光功率	-	OLT 上联口统计分析	-

使用，能针对业务进行应用类型识别、性能采集、质量分析等功能，基于 DNS、TCP、UDP、RTP、HTTP/HTTPS 等不同协议的业务流检测具体业务的时延、抖动、丢包等业务 KPI，详见表 2，其中对于 TCP，主要基于其 seq 与 ack 的机制进行检测，对于非 TCP 但也具有请求和响应机制的协议也可用智能板进行检测，这为业务质量和用户感知的研究提供了有效的分析手段。

在 OLT 设备中部署业务智能分析板，对经过该 OLT 设备的业务流进行流量镜像、应用识别与性能采集，实现业务质差识别与分析，并与 PON 网管北向接口上报的 OLT、PON 口、光模块、ONU 的性能参数结合分析，可以对具体应用的质量问题进行用户侧、PON 光路侧、OLT、承载网侧 4 段定界定位，一方面可弥补 PON 网管无法针对具体应用进行性能监测的弱点，另一方面可节省在网关部署软探针以监测业务部分指标时所消耗的 PON 设备 CPU、存储等硬件资源。

1.2 监测技术

OLT 设备业务智能分析板主要采用深度包检测（DPI）和深度流检测（DFI）技术实现对业务性能指标的监测，具体特征如下。

DPI 技术是针对数据包的头部信息进行分析，深入解析载荷内容，通过特征匹配、协议识别、行为分析等技术实现应用层业务的精准识别和控制，并通过分析网络数据包的头部信息和序列号来检测丢包，通过记录数据包的发送时间和接收时间来计算时延。DFI 技术是基于流特征进行统计分析，无须解析载荷内容，如视频流具有大包长、高带宽的特点，而即时通讯流量呈现小包、间歇性的特点。

在现网中，PON 承载着海量规模的各类应用，以致无法对每个应用进行精准分析，但为了便于网络运营，中国移动将业务划分为点播视频、直播视频、实时游戏、在线教育、在线办公、即时通信 6 个业务大类，并进一步锁定淘宝、

表2 OLT设备业务智能分析板监测的主要协议及指标

协议名称	KPI 指标	说明
DNS	DNS 请求成功率和 DNS 请求响应时延	上报格式需要记录 DNS 请求客户端 IP 地址、服务端 IP 地址等 KPI 指标
TCP	RTT 时延、RTT 时延抖动、丢包率、速率、TCP 建链成功率以及 TCP 建链时延	采集这类业务 KPI 时，基于 TCP 连接的五元组区分连接的类型，然后根据 TCP 面向连接的特点采集计算出各项指标，并根据定义的采集周期上报，可应用于采用 TCP 协议承载的 OTT 视频等应用
TCP 建链	TCP 建链成功率、TCP 网络侧建链时延和 TCP 用户侧建链时延	-
UDP	平均速率	采集这类业务 KPI 时，基于 UDP 连接的五元组区分连接的类型，然后根据业务监控设备采集到的报文统计及时长，计算出相应的速率信息
RTP	平均速率、丢包率和抖动	可应用于采用 RTP 协议承载的实时音视频等应用，基于 RTP 传输特点，可以采集统计到抖动类指标
HTTP/HTTPS	HTTP 请求成功率、HTTP 首次 GET 响应时延和 HTTPS 响应时延	主要适用于网页浏览类应用



腾讯视频、快手、学而思等超过 100 个常用应用小类作为重点监测与保障目标,以提升用户体验。

各个 OLT 设备厂商根据上述业务分类建立针对性的应用特征库,并通过 OLT 设备智能板应用 DPI 和 DFI 技术,基于应用特征识别视频、游戏等应用类型,然后在被动统计计算各应用业务流在用户侧、PON 光路侧、OLT、OLT 向上承载网侧等各网络区段的业务 KPI,以作为质差与界定定位判断的基础数据。

1.3 部署方案

OLT 设备智能板的本地计算处理性能/吞吐量普遍不小于 20 Gbit/s,可基于业务流量进行秒级实时分析,当已部署智能板的 OLT 对镜像流量完成解析后通过 telemetry 推给智能分析平台进行业务质量分析,下面是 OLT 设备智能板可采用的两种部署方式。

1.3.1 单 OLT 设备业务质量分析

OLT 设备智能板通过镜像本机 OLT 上联端口获取用户业务的上下行流量并分别采集相关指标,分析本机接入的宽带用户业务质量,得到用户的业务质量情况,智能板分析本机 OLT 组网与流量流向示意图如图 1 所示。

1.3.2 多 OLT 设备业务质量分析

当本机房或就近机房中多套 OLT 设备的业务

流量较少时,未配置智能板的 OLT 设备将镜像到它上联端口的流量,使用空余的其他上联端口传送到已部署智能板的 OLT 设备,由已部署智能板的 OLT 设备进行业务质量分析,实现用 1 块智能板同时对多套 OLT 设备的业务流量进行分析,提高智能分析板的使用效率,多 OLT 共用智能板组网与业务流向示意图如图 2 所示。

需要注意的是,采用本方式共用 OLT 设备智能板时,需要根据未部署智能板的 OLT 设备的上联流量配置 OLT 设备间的互联带宽,保证未部署智能板的 OLT 设备的所有上行口的上下行流量之和能够通过互联端口进行全部转发,而不是仅单独考虑下行或上行的流量需求。当未部署智能板的 OLT 设备的上下行总计速率大于 10 Gbit/s 时,就需要增加 1 个 10 Gbit/s 的互联端口。

2 数据采集分析情况与建议

2.1 用户行为与应用特征研究

为了研究用户行为与应用特征,对现网部署了智能板的 OLT 设备进行数据采集分析,并通过研究采集到的网络 KPI 与业务 KPI,剖析家宽、企宽、专线的业务特征,数据采集组网示意图如图 3 所示。

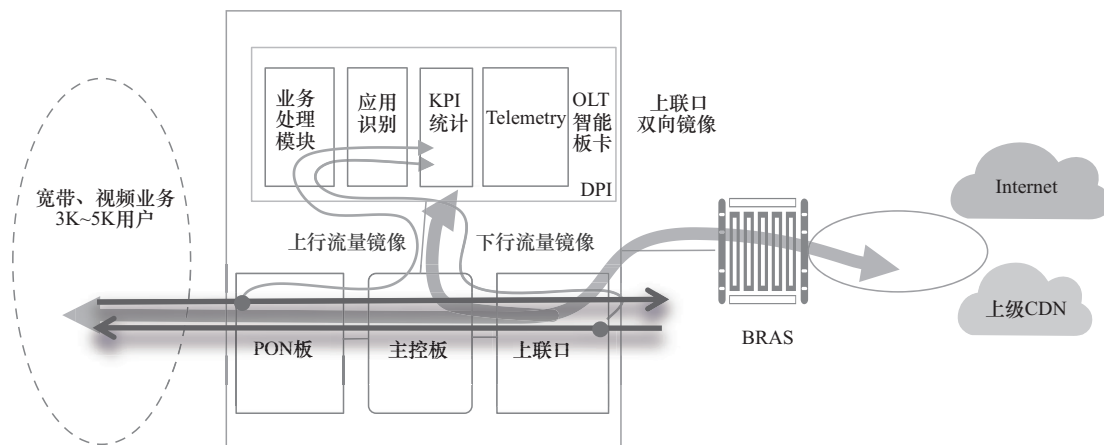


图1 智能板分析本机OLT组网与流量流向示意图

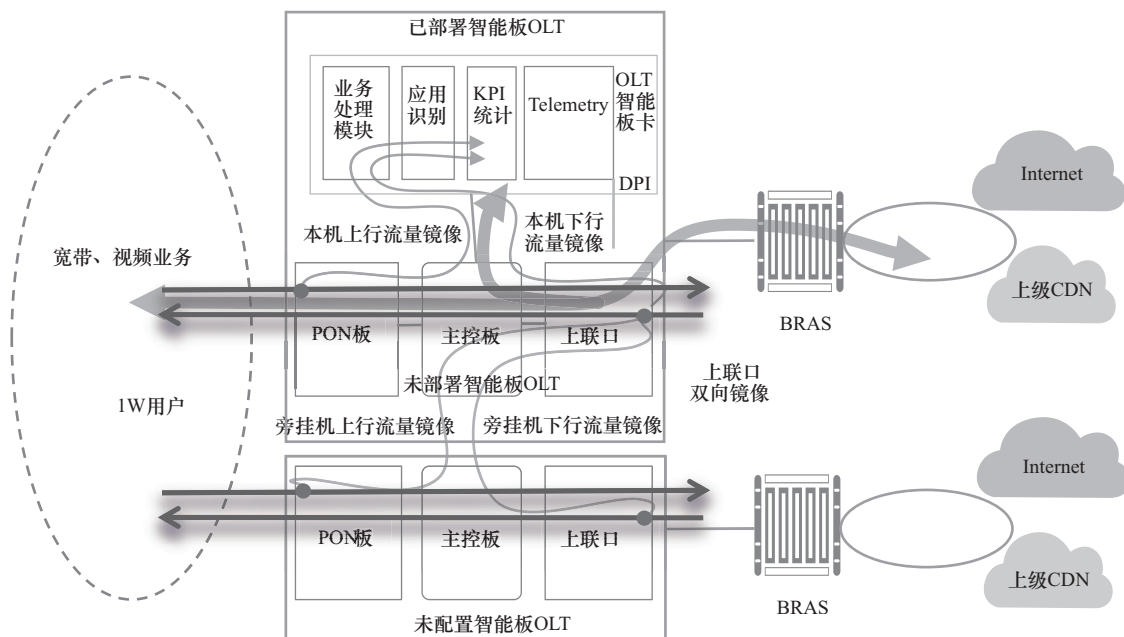


图2 多OLT共用智能板组网与业务流向示意图

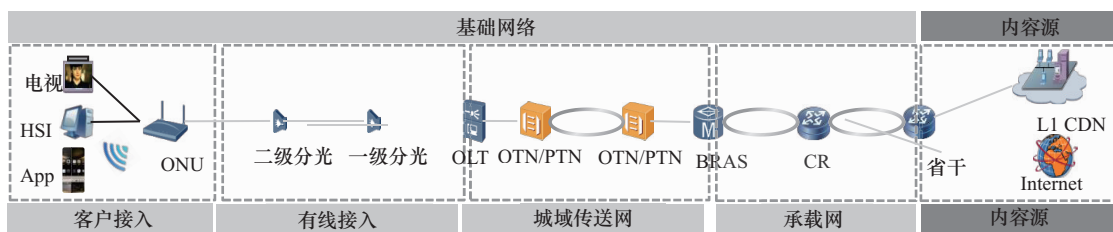


图3 数据采集组网示意图

2.1.1 单用户每小时各类应用使用时长统计分析

针对现网部分家宽、企宽、专线用户采集数据，分析不同应用的使用时长，体现不同用户的行为差异，为后续客户感知保障、精准营销提供依据。

单用户加权每小时各应用大类使用时长如图4所示，在网络规划建设时，可根据业务的使用情况进行差异化的保障。

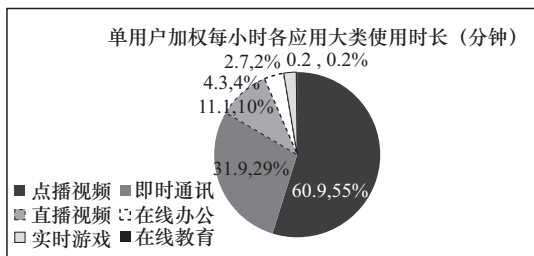


图4 单用户加权每小时各应用大类使用时长

点播视频类业务的使用时长最大（单用户存在多终端同时播放的情况），会普遍性地影响业务体验，需要全网重点保障业务质量，为保障点播视频的高画质、流畅播放、低成本分发特性，在网络规划时建议将内容源本地化，以降低时延，提升用户体验。

即时通讯类业务使用时长较高，带宽需求较点播业务低，可与点播业务一并考虑带宽保障。

直播视频类业务占比约为10%，它具有端到端低时延、高并发、实时性特征，且较点播视频类业务需要更高的上行流量，用户呈现零散分布（一般直播用户）和集中使用（直播基地）两场景并存的特点。对于零散分布用户，由于其他大多数用户对上行带宽需求较少，PON上行带宽利



用率普遍较低, 一般情况下足够满足零散用户的直播需求; 对于集中使用场景, 上行流量集中度较高, 需要对上行带宽进行针对性保障配置, 并进行多播优化, 对热门直播频道启用 IGMP 代理, 减少重复流。

游戏类和在线教育类业务占比较低, 目前网络整体轻载度较高, 可满足大多数游戏用户的接入需求, 但需要注意, 对于专业游戏玩家、在线教育这类要求较高的用户, 可开展游戏加速包、教育加速包等特定业务的精准营销, 并针对性地进行网络保障配置, 形成差异化的营销、运维体系。

单用户每小时各类应用使用时长如图5所示, 家宽、企宽、专线3类用户的应用行为相似度较高, 除了在线办公类数据中专线使用时长最高, 其他5类均是家宽使用时长最高, 后续可面向在线办公需求比较高的客户精准营销 PON 专线业务, 并为与运营商有商业合作的相对价值较高的应用或者 VIP 用户, 针对性提高 QoS 保障等级, 以提升用户体验。

2.1.2 峰值流量分析

传统 PON 不具备 telemetry 网络性能采集功

能, 只能通过 PON 网管提供 15 分钟级速率监测能力, 系统速率的削峰效应明显, 无法有效反映瞬时流量的变化, 难以分析业务突发对系统带宽利用率、流量拥塞等的影响。系统秒级速率, 采集的数据量较大 (是 15 分钟级的 900 倍), 其系统速率的连续性较差, 波动范围较大, 加大分析难度。

考虑 15 分钟级和秒级采集的弊端, 本文尝试使用分钟级速率进行分析, 通过智能板采集 PON 中各类应用的分钟峰值, 评估各类应用的使用特征, 揭示用户真实体验的“关键时刻”和网络承载的“压力顶点”, 可为网络规划、优化资源调度、实施差异化服务、提升用户满意度以及保障未来业务发展提供关键指标, 应用大类分钟级峰值速率如图6所示。

图6从高到低依次呈现各应用大类的分钟峰值, 即在实际现网中这些应用所能达到的最大分钟级速率, 在网络轻载条件下, 绝大多数时间内, 可满足各类用户的应用带宽需求。但对于重要价值的客户, 如千兆客户、党政客户等, 其用户的 ARPU 较高, 是需要重点保障的目标, 需要在极端情况下依然能够保障这些客户的各类业务

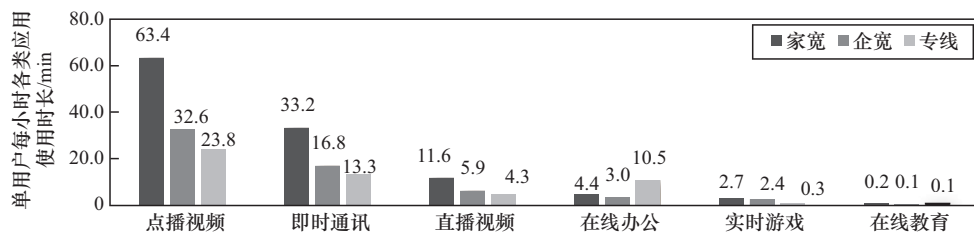


图5 单用户每小时各类应用使用时长

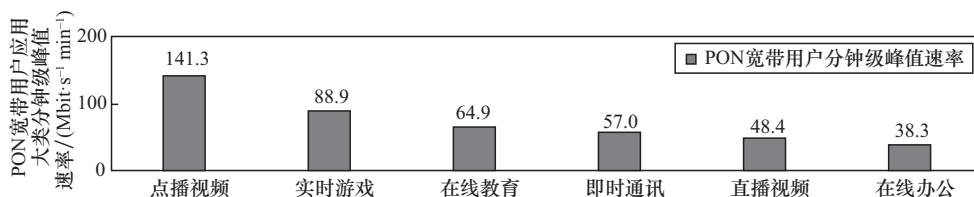


图6 应用大类分钟级峰值速率

速率,在网络规划中可根据上述指标进行带宽规划,或为其配置 QoS 与优先级来保障重要价值用户的速率,提升业务质量。

图6中的分钟级峰值速率,存在应用升级所需流量,使得部分应用的分钟峰值与通常使用下的感受存在差异,如采集到的实时游戏分钟峰值达到了 88.9 Mbit/s,一般情况下游戏的速率普遍较低,当游戏 App 更新时则会出现短时间内的流量激增,虽然时间占比低,但针对重要客户仍需要考虑这类场景下的带宽需求。

2.1.3 业务使用分析

为避免秒峰带来随机性与平均速率削峰严重问题,通过智能板采集分析用户各时段的分钟峰值,进一步分析用户群体的流量使用习惯。根据采集数据分析,对宽带用户分时段流量分析与建议如下。

周一至周五工作日期间家宽场景 0:00—24:00 分钟级峰值数据如图7所示,家宽周中各时段分钟峰值数据呈现“两头大中间小”的情况,符合上班族特征,各签约带宽下业务流量都有“冲顶”现象,且 1 000 Mbit/s 及以上签约带宽用户的分钟级速率明显偏高,日常保障中须优先保障

千兆套餐用户。

周六周日休息日期间 0:00—24:00 的家宽场景分钟级峰值数据如图8所示,各时段分钟级峰值速率分布都比较均匀,其中 14:00—22:00 速率较高,符合用户实际行为特征。

企宽用户分钟级峰值数据如图9所示。企宽用户场景类型多样,主要包含商住两用、沿街商铺、专业市场、泛酒店等,可以看出在 18:00—22:00,用户分钟级峰值较高,推测因为该 PON 口是家宽与企宽用户混合使用的 PON 口,导致出现与家宽用户分钟级峰值一样的特征;22:00 至次日凌晨 6:00,流量比较平稳,300 Mbit/s 以下签约带宽用户分钟级速率基本处于 200 Mbit/s 以内,但 6:00—10:00 是早高峰和晚高峰的时段,峰值速率较高,200 Mbit/s 与 300 Mbit/s 签约带宽用户存在“冲顶”情况。受数据采集 OLT 的千兆用户样本数量影响,1 000 Mbit/s 及以上签约带宽用户的分钟级速率并不是很高。

在实际网络中,写字楼、酒店、沿街商铺、学校等企宽场景流量的时段特征差异较大,需要更多的样本进行针对性分析,本文研究过程中所获取的样本不足,难以准确反应各自特征,后续

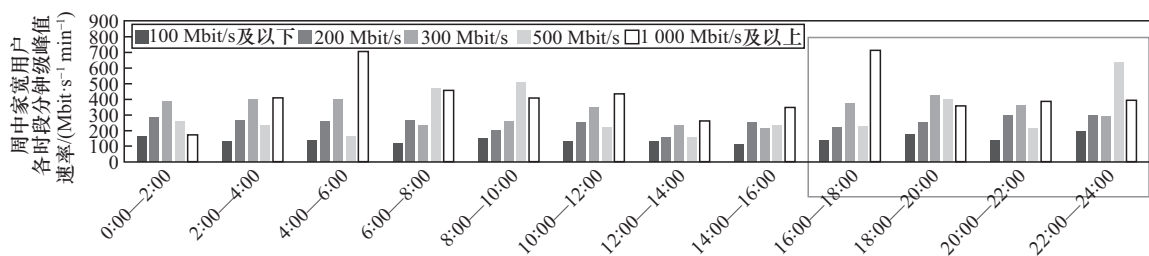


图7 周中家宽用户各时段分钟级峰值速率

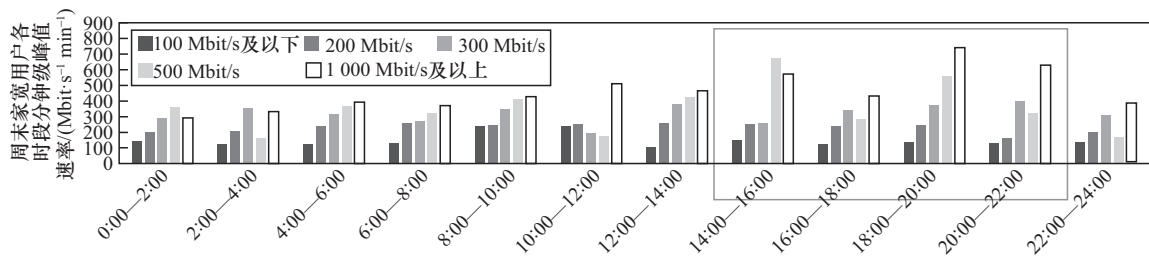


图8 周末家宽用户各时段分钟级峰值速率

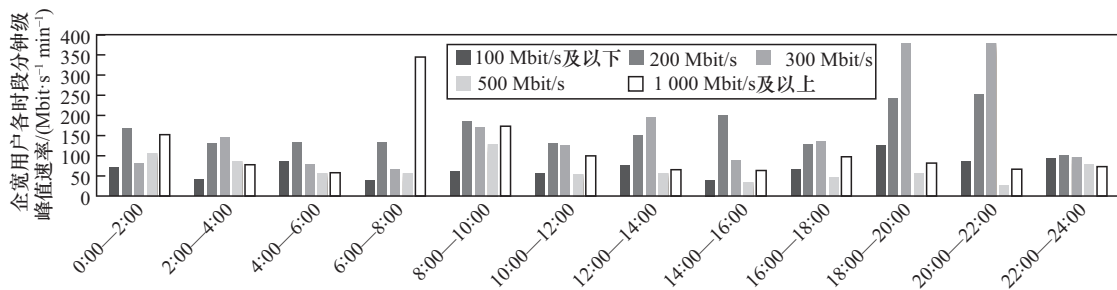


图9 企宽用户各时段分钟级峰值速率

需要进一步分场景深入研究。

从网络规划与业务配置的角度来看,需要根据各类场景的业务流量高峰时段进行重点保障,确保业务质量,在确定了流量高峰时段的情况后,也可自行开展具体PON口的流量监测,精准进行网络配置。

2.2 业务质差与业务质量保障方案配置研究

2.2.1 保障带宽条件下的业务质差分析

在实际网络中分别为专线业务配置20%与100%保证带宽,根据采集到的数据分析后发现配置保证带宽后专线、家宽、企宽用户质差情况较配置前无明显差异,为此在实验室进一步研究可保障业务质量的配置方案。

2.2.2 实验室仿真业务质量保障方案

为进一步研究保证带宽配置效果,在实验室进行仿真测试,使用BEST-Flow流量生成平台产生背景流,在5 min测试时间内模拟现网用户的启动视频开启/快进、应用下载更新、社交媒体和大文件下载行为,产生随机波动背景流;另外单独接1路游戏业务测试E2E时延,以折算PON口时延,详见式(1),并依据表3行标中分业务类

别的接入段时延要求,记录家宽、企宽PON口时延超过10 ms、6 ms、4 ms的占比。

$$\text{PON口时延} = \text{游戏E2E时延} - \text{损伤仪配置时延} - \text{系统时延} \quad (1)$$

其中,游戏时延为测试端到端时延,损伤仪配置时延模拟现网取30 ms,系统时延取1 ms。

实验室仿真组网如图10所示,测试输入的政企与家宽背景业务流量分别为1 Gbit/s、1.5 Gbit/s左右,业务类型与流量占比接近现网,具体有点播视频、Web浏览、直播视频、上传下载、即时通信、游戏、在线办公、在线教育等。

实验室测试采用两种方案,方案1对政企业务除了配置Pir=最大带宽(签约带宽),还配置Cir=保证带宽,但家宽业务仅配置Pir=最大带宽(签约带宽);方案2基于802.1P队列优先级对政企用户进行配置,Cir=保证带宽、priority=1,家宽业务配置Cir=0、Priority=0。在不同带宽利用率、不同保证带宽配置情况下,基于这两个方案研究保证带宽与优先级队列对政企业务的保障效果以及对家宽业务的影响。

图11是在带宽利用率是40%情况下,对于

表3 YDT-6234-2024 业务时延分级分段保障标准

业务类型	主流应用	业务特征	业务分类	E2E时延/ms	接入段时延/ms
点播视频(54%)	优酷、B站	初缓快进突发明显	720P/1 080P视频	100	10
			4K视频	50	4
游戏、直播/视频通话(20%)	王者荣耀、顺网	强交互	手游	60	6
			云游戏	20	2
Web/App浏览(13%)	淘宝、拼多多	无明显特征	网页浏览	100	10
应用下载(6%)	应用市场视频下载	高突发贪婪带宽	-	-	-

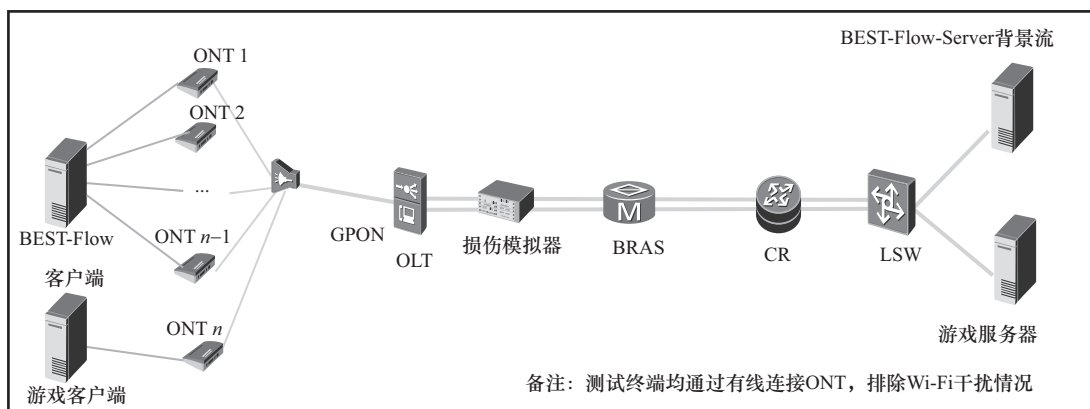


图10 专线保障带宽与优先级配置效果测试实验室仿真组网

PON口时延超过4 ms的数据进行统计分析的结果。

由图11可以看出，方案1配置中PON口下普通配置的家宽用户和配置保证带宽的政企用户的时延测试结果相差不大，可以看出配置cir保证带宽，对业务性能的提升有限。

究其原因，针对政企业务做保障带宽与最大带宽配置是在宽带模块实现的，当从网络侧过来的报文超过套餐以后，宽带模块会对超出部分进行限制丢弃或者着色；当宽带模块调度完成后，报文进入PON端口排队，排队会产生时延，所以在家宽和政企混合部署场景中，对政企业务配置保证带宽，无法改变PON队列的排队等待效果，对业务质量的改善效果不明显。

方案2配置PON口下家宽与政企用户时延超限占比如图12所示，方案2配置中PON口下政企

用户时延比家宽用户时延降低38%，说明为政企用户同时配置保证带宽和更高优先级对其业务质量的提升明显。对比两个方案，发现方案2中PON口下家宽用户的时延比方案1增加12%，方案2中PON口下政企用户时延比方案1降低25%，由此可见为政企用户配置更高的队列优先级与保证带宽，较仅配置保证带宽，明显提升了政企用户的业务质量，但对家宽用户的业务时延造成了劣化。

同时可发现，方案2在为政企用户配置队列优先级为1、配置保证带宽从10%到100%时，随着保证的流量越来越大，即走优先级1的报文越来越多，优先级1的业务排队也会越来越严重，以致出现政企用户的时延随着保证带宽配置比例增大而增大，因此建议对政企业务配置优先级且同步配置保证带宽时，需要取适当值配置保证带宽。

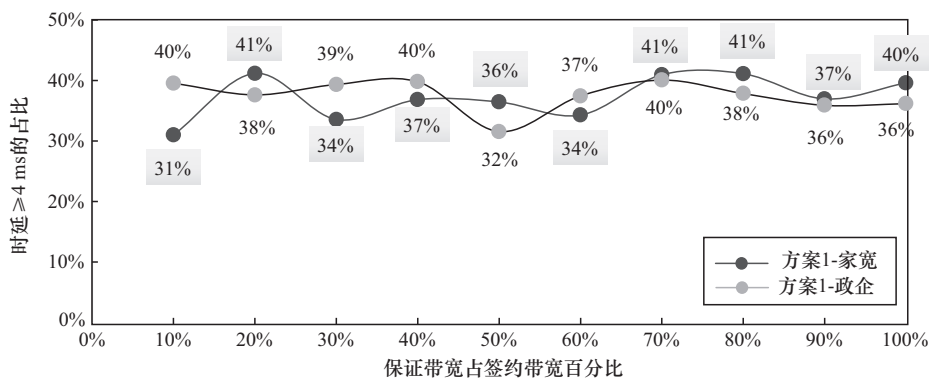


图11 方案1配置PON口下家宽与政企用户时延超限占比

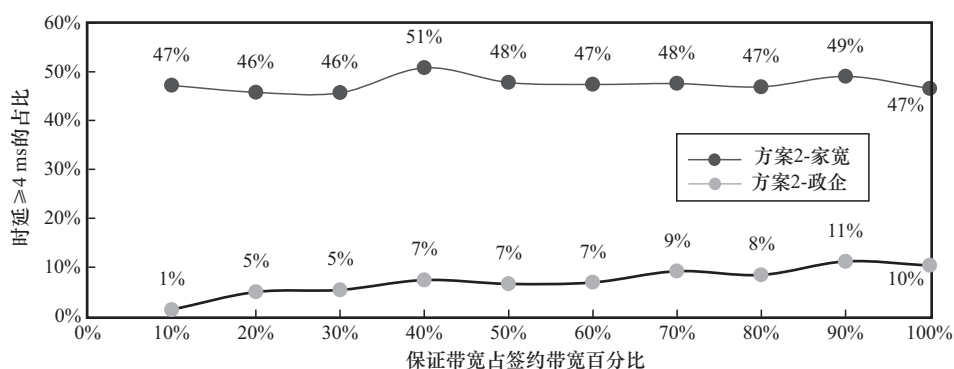


图12 方案2配置PON口下家宽与政企用户时延超限占比

3 结束语

本文对OLT设备智能板的技术原理与现网部署方案进行研究分析,分析方法及结论可以提高网络规划、系统优化与精准营销的精准性。使用OLT设备智能板基于应用进行质量分析,可有效、快捷地评估网络规划配置是否合理,并通过数据分析反向指导现网规划与配置,实现资源动态调度,应用的主要价值优势如下。

(1) 质差用户质差内容源的识别和整治,包括主动发现业务卡慢用户、热点内容源精准引入、DNS调度策略优化等。

(2) 精准支撑网络建设与扩容,包括质差ONU整改,质差ODN、PON链路发现和整治等。

(3) 市场前端精准营销支撑,包括基于质差类型、业务偏好、使用习惯、用户终端类型、内容偏好、会员信息、异网信息等的营销支撑。但是目前受限于OLT设备智能板昂贵的价格,现网采用轮训调配部署的应用机制可有效提升智能分析板的使用价值,并降低部署成本。

后期为了进一步发挥OLT设备智能板的应用作用,需要统一各厂商OLT设备智能板的业务性能采集指标、采样周期、评估内容,精准判定业务质差事件,并明确业务分析平台的配置要求,将业务性能指标与网络性能指标进行关联性分

析,以有效使用相关数据。同时推动应用智能调度技术,以闭环提升客户感知,持续提升对现网业务性能和网络性能的优化与规划建设指导。在此基础上,仍须不断提升智能板的智能化水平,以应对新兴技术和网络迭代演进对宽带网络提出的新要求。

[作者简介]

李德莉 (1992-), 女, 中国移动通信集团设计院工程师、高级研究专员, 主要研究方向为客户专线网络建设策略及方案研究、传输领域新技术、PON末端接入等。

李昶 (1976-), 男, 中国移动通信集团设计院高级工程师, 主要从事光接入网络规划与标准化方面工作, 擅长PON技术演进、全光接入网架构设计及10G-PON/50G-PON等下一代光接入技术的应用研究, 在综合业务接入、光纤基础设施布局及千兆光网智能化运维等领域具有深厚的技术积累和实践经验。

黄乐天 (1985-), 男, 中国移动通信集团设计院高级工程师、资深研究专员, 主要从事传输通信规划、设计、研究方面工作, 历年参与中国移动省际骨干传送网、中国移动国际、政企专用传送网境内系统及中国移动省内传送网的设计工作、参与十余项中国移动重点科研项目, 参与主编多项传输通信领域行业、团体标准。

豆晓雷 (1994-), 男, 中国移动通信集团设计院工程师, 主要研究方向为传送网演进。

汪琳莉 (1996-), 女, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师、研究专员, 主要研究方向为有线接入网、PON网络规划建设。