



有线宽带业务发展对运营商 IP 承载网络演进的影响

唐利莉, 聂明, 张宁

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘 要: 随着有线宽带业务的发展, 以视频为主的有线宽带业务对网络承载能力提出了新的要求。分析了有线宽带业务流量疏导对带宽和网络质量的需求, 从多播技术应用, BRAS、CDN 部署方式, 骨干网架构演进等多个角度, 提出了可行的网络演进方案。

关键词: 有线宽带业务; 视频业务; 网络扁平化; 多播技术; 内容源下沉

中图分类号: TN915.41

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017090

Impact of wired broadband services development on operators' IP network evolution

TANG Lili, NIE Ming, ZHANG Ning

China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: With the development of wired broadband services, new requirements on the carrying ability of network was put forward by video-dominated services. The demand on bandwidth and network quality of wired broadband traffic grooming was analyzed, and a feasible network evolution solution were presented from the perspective of multicast technology application, BRAS and CDN deployment, backbone network architecture evolution and other point of view.

Key words: wired broadband service, video service, network flattening, multicast technology, content closer to the user

1 引言

随着互联网业务的进一步发展, 有线宽带业务作为家庭数据化应用的第一入口, 各运营商之间的竞争越发激烈。同时, 随着 Web 1.0 向 Web 2.0 的发展, 用户行为发生变化, 互联网总流量中的在线视频流量已经超过 70%; 互联网正在成为视频的互联网, 视频体验成为互联网的主要体验。

为适应有线宽带用户的业务发展需求, 运营

商需要在接入网、骨干网、内容源等方面采取相应举措。

1.1 宽带用户的网络带宽需求

随着国家“三网融合”“宽带中国”等战略的实施, 部分区域已经出现了有线宽带对有线电视业务的替代效应。视频直播、点播业务所占带宽已成为用户带宽的主要部分。特别是在 4K 视频发展方面, 由于 FTTH (fiber to the home, 光纤到户) 的带宽优势, 网络运营商对此寄予了较高期望。

表1 某运营商有线宽带用户平均速率预测

业务模型	忙时平均带宽/(Mbit·s ⁻¹)	不同码速 播放占比	视频渗透率	并发率	宽带业务平均速率/ (Mbit·s ⁻¹)	宽带用户平均速率/ (Mbit·s ⁻¹)
上网业务	上网	2.2		70%	1.5	5.5
视频直播业务	4K	45	10%	45%	3	
	高清	6	35%			
	标清	3	55%			
视频点播业务	4K	45	13%	10%	1	
	高清	6	60%			
	标清	3	27%			

注：(1) 并发率指用户同时使用业务的比率。考虑到宽带用户侧 ONU (optical network unit, 光网络单元) 一般具备 Wi-Fi 功能, 存在家庭成员多人同时使用互联网业务的情况, 上网、直播、点播业务合计并发率超过 100%。

(2) 视频业务平均速率需求为各种清晰度码速×占比×视频渗透率×并发率。以直播业务为例, 其平均速率为 $(45 \times 10\% + 6 \times 35\% + 3 \times 55\%) \times 80\% \times 45\% = 3$ Mbit/s。

根据 IHS 预测, 截至 2016 年年底, 中国 4K 电视渗透率接近 10%, 达到 4 000 万台, 预计大量用户将通过有线宽带使用 4K 直播、4K 点播业务, 从而对运营商网络提出较高的网络带宽要求。

某运营商预测有线宽带用户的平均使用速率将从目前的 0.7 Mbit/s/用户增长到 5.5 Mbit/s/用户, 其中视频直播业务所占带宽将达到 1/2 以上, 具体预测过程见表 1。

1.2 宽带用户的网络质量需求

在 Web 1.0 阶段, 用户关注的主要是网页首页打开时间、下载速率等指标。随着 Web 2.0 的发展, 视频占互联网流量的 70%以上, 视频业务质量成为用户直观地评价网络质量的标尺。

根据 ITU-T Y.1541, 承载在 IP 网络上的视频、交互类业务的服务质量要求见表 2。

表2 视频、交互类业务服务质量要求

业务类型	时延	抖动	分组丢失率	错误率
视频直播	<1 s	<1 s	<0.1%	<0.01%
视频点播	<3 s	<1 s	<0.1%	<0.01%
音频电话	<150 ms	<50 ms	<0.1%	<0.01%
可视电话	<150 ms	<50 ms	<0.1%	<0.01%
视频会议	<150 ms	<50 ms	<0.1%	<0.01%
游戏	<200 ms			

同时, 针对 4K 业务快速发展的新局面, 经过大量的调查分析发现, 视频源质量、视频加载速度、视频观看体验是影响客户体验的关键因素。其中, 视频源质量包括内容的码率 (4K、高清、标清), 主要受网络带宽影响; 视频加载速度包括初始播放、频道切换、快进快退的响应时间, 受网络时延、网络带宽影响; 视频观看体验包括是否出现花屏、卡顿, 受网络分组丢失率、误码率影响。

根据研究, 在 4K 视频的环境下, 为保障用户体验, 网络需要满足更高的要求, 实现高带宽、低时延、低分组丢失率, 具体指标为: 端到端带宽 ≥ 37.5 Mbit/s、时延 ≤ 20 ms、分组丢失率 $\leq 10^{-5}$ 。

2 多播技术的应用

2.1 多播方式承载视频直播业务

从宽带用户网络带宽需求的分析中可以发现, 在预测的每用户 5.5 Mbit/s 平均使用速率中, 视频直播业务所占带宽达到了 3 Mbit/s。如果使用单播点对点通信技术承载视频直播业务, 就意味着从播放节目源的直播平台到用户终端, 均需独占资源 (包括每个用户均需要占用直播平台资源, 省网、城域网均需为每个用户提供带宽保



障),随着用户数量增长到十万、百万量级,运营商将难以承受单播方式承载视频直播业务所需带宽的压力。

如果采用多播技术,当网络中的某些用户需要特定内容(比如观看某个直播频道)时,多播源(即直播平台)对每个复制点仅发送一份内容,多播设备借助多播协议为多播数据分组建立树型路由,被传递的内容在尽可能靠近用户侧的分叉点(即多播复制点)进行复制和分发。

视频直播内容从直播平台到用户,一般需要经过路由器、BRAS(broadband remote access server,宽带远程接入服务器)、OLT(optical line terminal,光线路终端)、ONU、电视机顶盒。以多播复制点设置在OLT为例,当用户收看4K视频直播时,多播、单播方式对比如图1所示。

由此可见,采用多播后,带宽只与频道数有关,而与用户数无关,相比单播方式,采用多播承载视频直播业务可大幅节省带宽。

在采用多播承载视频直播业务的情况下,各相关网元要求如下。

- 路由器和BRAS:支持PIM-SM(protocol independent multicast-sparse mode,协议无关多播路由协议-稀疏模式)。
- OLT:支持IGMP(internet group management protocol,互联网组管理协议)

proxy,向上支持静态多播组加入,向下支持动态多播组,完成多播复制。

- ONU:支持IGMP snooping,或IGMP proxy。
- 电视机顶盒:支持IGMP、RTP(real-time transport protocol,实时传输协议)、RTCP(real-time transport control protocol,实时传输控制协议)、RTSP(real-time streaming protocol,实时流传输协议)、HLS(HTTP live streaming,HTTP直播流)。

因此,运营商有线宽带业务承载网络中的路由器和BRAS、OLT、ONU、电视机顶盒网元均应支持以上协议,并根据视频直播业务的开展进度适时采用多播方式承载业务。

2.2 Wi-Fi 组网方式

目前ONU基本具备Wi-Fi功能,考虑使用便捷等因素,家庭室内一般采用Wi-Fi方式组网。但是,以Wi-Fi空口多播方式支持视频直播业务的多播报文,会存在可靠性低、速率低、干扰大等问题,具体如下。

- Wi-Fi多播采用广播方式,无法支持确认应答机制,不支持重传,可靠性低。
- Wi-Fi多播需要考虑所有接入点,为确保可靠性,标准定义的报文速率远比单播方式小。

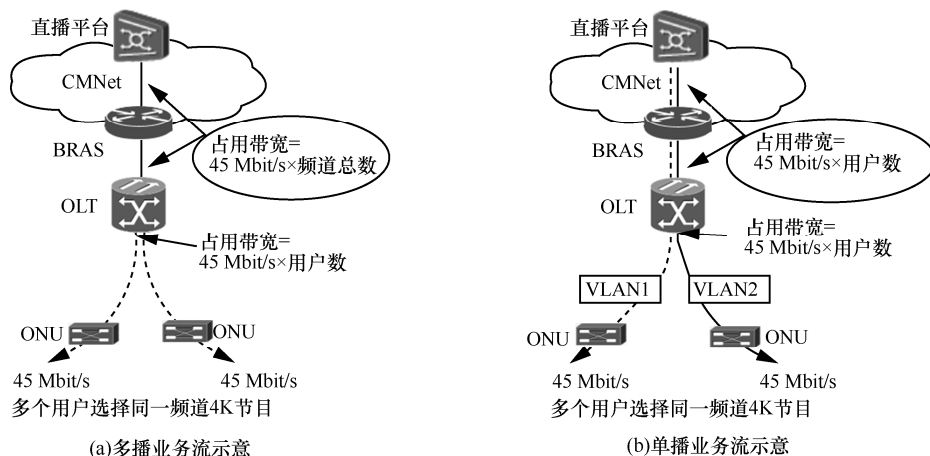


图1 多播、直播方式对比

- Wi-Fi 多播需要一对多, 发送功率比点对点方式大, 干扰更强。

因此, 电视机顶盒与 ONU 之间应优选有线连接。对于受限于装修等条件, 仅能通过 Wi-Fi 接入机顶盒的场景, 建议以 Wi-Fi 空口单播方式支持视频直播业务。ONU 应采用智能网关设备, 在 Wi-Fi 发送前将多播转换成单播, 利用 Wi-Fi 单播自有确认机制提高可靠性, 并规避 Wi-Fi 多播速率低、干扰大等缺点。

因此, 运营商应采用“智能网关”设备, 并要求应支持以上功能, 以便在家庭 Wi-Fi 环境下提供良好的视频直播业务体验。

3 BRAS、CDN 下沉

3.1 BRAS、CDN 下沉的驱动力

在分析用户网络质量需求时可知, 为提高视频业务用户体验, 需要提供高带宽、低时延、低分组丢失率的网络。

实际上, 目前视频业务大多采用 HTTP 视频, 基于 TCP 承载由于 TCP 的传输特性, 时延、分组丢失率除直接影响视频体验外, 还影响 TCP 连接的实际吞吐量。

根据 TCP 吞吐量的 Mathis 模型, 可以得到:

$$\text{单 TCP 连接吞吐量} \leq \min \left(BW, \frac{WindowSize}{RTT}, \frac{MSS}{RTT} \times \frac{1}{\sqrt{\rho}} \right) \quad (1)$$

其中, BW 为网络带宽, $WindowSize$ 为滑动窗口尺寸, RTT 为往返时延, MSS 为最大分段长度, ρ 为分组丢失率。

(1) 不考虑分组丢失率, 分析往返时延与 TCP 吞吐量的关系

IP 网络正常情况下的往返时延主要受限于传输距离。当传输距离分别为 1 000 km 以内、2 000 km 以内、3 000 km 以内时, 某运营商网内任意两点间的往返时延分别为 ≤ 40 ms、 ≤ 60 ms、 ≤ 80 ms,

网络实测指标优于承诺指标。

假设滑动窗口为 64 KB, 根据以上指标, 并增加地市范围内往返时延 ≤ 10 ms 的情形, 代入式 (1) 计算可得各种往返时延情况下单 TCP 连接的吞吐量, 见表 3。

表 3 往返时延与 TCP 吞吐量关系

对比项	距离/km			
	地市范围内	1 000	2 000	3 000
往返时延/ms	10	40	60	80
吞吐量/(Mbit·s ⁻¹)	50.0	12.5	8.3	6.2

由表 3 可以看出, 时延对吞吐量的影响很大, 因而作为内容源的 CDN (content delivery network, 内容分发网络) 应尽量下沉到地市, 以减少时延、提高用户实际使用速率。

(2) 往返时延固定, 分析分组丢失率与 TCP 吞吐量的关系

假设往返时延为 40 ms, 报文净荷 1 460 byte, 代入式 (1) 计算可得各分组丢失率情况下单 TCP 连接的吞吐量, 见表 4。

表 4 分组丢失率与 TCP 吞吐量关系

分组丢失率	吞吐量/(Mbit·s ⁻¹)
0.01%	27.8
0.1%	8.8
1%	2.8
3%	1.6

同时, 根据中国科学院计算技术研究所对 TCP 吞吐量和分组丢失率关系的研究, 当网络分组丢失率超过 1% 时, 吞吐量下降速度远大于理论计算值; 即使在局域网时延极低的环境下, 当分组丢失率达到 3% 时, 实测吞吐量已经比理论值低了一个数量级; 当分组丢失率达到 10% 时, 网络基本不可用。

由此可知, 用户与内容源之间层级应尽量少, 并尽量减少容易造成冲突分组丢失的二层网络。为实现以上目的, 有线宽带业务运营商应尽快推



动 BRAS、CDN 的下沉。

3.2 BRAS 下沉方式

运营商在介入有线通信领域初期，有线宽带用户数比较少，运维力量、机房条件有所不足；在部分地区，为便于维护，BRAS 集中部署在地市核心机房，通过汇聚交换机接入分布在城域网各级汇聚机房内的 OLT 设备。

这种 BRAS 集中部署、交换机汇聚的方式，不必要地扩大了二层网络的范围，且由于交换机设备端口缓存能力很弱，一旦出现拥塞，分组丢失率会快速上升。而三层网络设备，由于端口缓存能力强，在一般拥塞情况下，首先是发生时延增加而不是分组丢失率增加，对用户体验影响较小。

另一方面，在逐步取消汇聚交换机、OLT 直联 BRAS 的情况下，如果 BRAS 继续采用集中部署，汇聚机房到核心机房之间的传输成本会快速增加。经过测算，当有线宽带接入用户数达到 2 万户及以上时，原则上应将 BRAS 下沉到城域传送网汇聚机房。

基于以上分析，综合考虑设备成本、运维成本以及网络安全信息分级规范等管理规定，运营商 BRAS 下沉可以考虑如下原则。

- 初期采用单 BRAS 下沉的方式，当用户增长到 4 万户及以上时，逐步实现同机房成对设置 BRAS 方式，单台 BRAS 容量不应超过 4 万户。
- BRAS 最低下沉到县区，当用户增长时应采用在原机房扩容 BRAS 的方式，而不是继续下沉。

3.3 CDN 下沉方式

为了满足用户的需求，运营商应通过多种手段进行内容建设，包括 IDC 内容源引入、CDN/缓存以及视频平台建设等，以期提高用户的流量本网率。

针对视频内容，运营商可以考虑建设融合 CDN，由一套 CDN 对互联网电视、大文件、小文

件 3 类内容采用不同的调度方式，提供视频、下载、网页等内容的分发加速。

运营商在制定融合 CDN 建设方案的过程中，需要综合考虑 CDN 和传输的造价、建设维护、网间结算、管控成本等相关因素。根据目前的价格测算，按地市至省会平均距离为 300 km，当地市视频用户达到 11.5 万户时，CDN 节点下沉的投资将低于地市至省会传输网络的建设投资，由此 CDN 节点下沉可考虑如下原则。

- 面积大于 $2 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的省，地市至省会距离超过 300 km，应部署 CDN 节点。
- 面积小于 $2 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的省，地市视频用户超过 11.5 万户，应部署 CDN 节点。
- 对部分业务重点区县，部署 CDN 边缘服务节点。

4 骨干网架构演进

随着“国家宽带”战略以及“提速降费”的不断推进，有线宽带用户数量还会持续攀升，接入带宽也将进一步提升；各类大带宽的互联视频应用推陈出新；网络流量将会飞速上涨。虽然通过开启多播、CDN 下沉等方法，大量流量将在城域网、省网范围内终结，但由于各省内容源引入和建设情况不同以及访问国际、国内网间内容的需求，骨干网流量仍会持续增长，骨干网规模相应持续增加，因此需要骨干网络具备良好的可扩展性。

实现网络可扩展性的两大要素就是设备容量的扩展和合理的网络架构，并且在网络建设发展的过程中相依相佐，共同促进网络的演进。

4.1 流量新平面构建

运营商一直在通过节点裂变、平行扩容、推进网络结构扁平化等平滑演进思路来降低节点设备容量需求、实现网络规模的持续扩展，笔者在这里提出一种新的思路，即建设流量新平面，这是一种不平衡的结构形式。

为解决已有设备平台能力有限、扩容潜力即将

耗尽的问题,运营商可考虑新建一个流量平面,流量新平面的覆盖范围可以根据节点的流量情况进行选择(选择流量牵引效果大的节点),而不是像通常所用的全平面复制。同时,在新平面选择使用最新型的路由器设备,采用高速链路组网;原有设备作为流量老平面,负责新平面未覆盖节点的流量疏通以及所有出网流量(国际互联、国内互联)。

新旧平面的近期演进,可以首先实现两个平面的业务区分,形成网间、网内平面;新旧平面完全隔离,路由组织清晰;两个平面的解耦既有利于原有平面的投资保护,又有利于新平面中新设备、新技术的引入;也可分别考虑两个网络平面的使用和架构的演进。

4.2 骨干网后续的演进

通过新平面的建设,骨干网络将有较长期期可以实现平滑扩容,保持网络架构的相对稳定。一方面,随着 IDC、CDN 的建设以及内容源的引入,网络扩容压力将逐步向网络边缘迁移,流量大量终结于本省,骨干网扩容压力增长缓慢;另一方面,网络设备能力仍保持快速增长,一定时期内满足网络规模的扩容需求。

当未来更高容量的设备以及更高速率的带宽出现时,仍然可以借鉴“构建新平面”这一思路,确保网络的良性可持续发展。构建流量新平面扩容示意如图2所示。

以网络规模为基础,骨干网后续演进方向将集中在网络架构的持续优化中。一是网络核心节点和内容核心节点的协同建设,满足内容分发需

求;二是 IP 网络中继和传输资源协同管理,优化时延,提升网络顽健性;三是提升 IP 网络智能化能力,引入 SDN 等新技术以赋予骨干网更高的智能,提供更精细化的客户体验。

5 结束语

根据以上分析,为满足有线宽带用户的带宽需求、质量需求,运营商可采取以下主要应对措施:视频直播业务通过多播承载,减少带宽占用;BRAS 下沉、CDN 下沉,用户到网内内容之间经过的网元尽量少,减小时延与分组丢失率;骨干网具备大容量扩容能力,满足用户带宽持续增长。

通过以上举措,运营商将为发力有线宽带市场、迎接 4K 等视频业务蓬勃发展做好 IP 承载网络的基础准备,以便在后续业务发展的市场竞争中取得有利地位。

参考文献:

- [1] 黄孝建,陶梦华. IPTV 关键技术详解[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2009.
HUANG X J, TAO M H. IPTV key technology in detail[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2009.
- [2] 朱培栋,张明杰,卢锡城. TCP 吞吐率模型及其应用范例[J]. 计算机工程与科学, 2005, 27(9): 1-3.
ZHU P D, ZHANG M J, LU X C. The TCP throughput model and its applications[J]. Computer Engineering & Science, 2005, 27(9): 1-3.
- [3] 吴起,毕经平,李忠诚. 高带宽低延迟下 TCP 吞吐量和包丢失率关系研究[C]//中国计算机学会. 第七届计算机科学与技术研究生学术讨论会论文集. [S.l.:s.n.], 2002: 1-6.
WU Q, BI J P, LI Z C. The relationship between TCP throughput and packet loss rate high bandwidth and low delay environment[C]//China Computer Federation. Proceedings of the

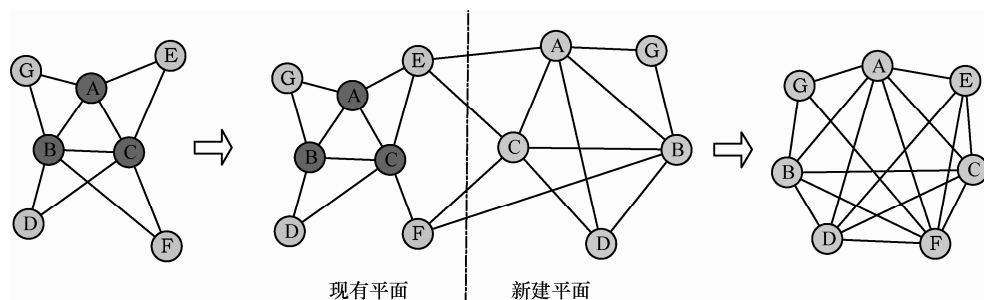


图2 构建流量新平面扩容示意



7th Symposium on Computer Science and Technology Postgraduate. [S.l.:s.n.], 2002: 1-6.

- [4] 周明天, 汪文勇. TCP/IP 网络原理与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.

ZHOU M T, WANG W Y. Principle and technology of TCP/IP network[J]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993.

[作者简介]



唐利莉（1973-），女，中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师，主要从事 IP 承载网的设计工作。



聂明（1972-），男，中国移动通信集团设计院有限公司教授级高级工程师，主要从事 IP 承载网、移动互联网业务平台的设计工作。



张宁（1982-），男，中国移动通信集团设计院有限公司工程师，主要从事 IP 承载网的设计工作。