



# 中国联通城域网视频业务承载分析 白皮书

中国联通 发布

2017 年 11 月

## 目 录

1 视频业务发展概述.....	1
1.1 宽带接入网络发展.....	1
1.2 大带宽视频业务发展.....	1
2 大带宽视频业务承载需求.....	2
2.1 带宽需求.....	2
2.2 时延和丢包需求.....	2
2.3 网络监测需求.....	3
3 影响网络承载质量的因素分析.....	3
3.1 网络拥塞及影响.....	3
3.2 拥塞原因分析.....	4
3.2.1 网络结构原因.....	4
3.2.2 流量突发原因.....	6
4 现网数据分析及仿真研究.....	6
4.1 现网流量特征分析.....	6
4.2 现网丢包分析.....	7
4.2.1 现网路由器设备丢包分析.....	7
4.2.2 现网交换机设备丢包分析.....	8
4.3 缓存能力与丢包的仿真分析.....	9
4.4 分析结果适用性说明.....	10
5 总结.....	11
参考文献.....	13
附录 术语和缩略语.....	13

## 1 视频业务发展概述

### 1.1 宽带接入网络发展

近年来，我国宽带接入基础设施建设快速发展，从国务院的“宽带中国”战略，到基础宽带运营商的“光网城市”行动，光进铜退计划的实施使得以 FTTH 为主的光纤宽带接入网络覆盖了我国大部分的城市、乡镇、以及部分农村集中区。截至 2017 年第二季度，我国固定宽带家庭普及率已达到 69.1%，东部地区普及率达到 82.4%<sup>1</sup>。目前，我国宽带接入主流产品为 20M 及以上。随着网络普及率和宽带接入速率的提升，用户可用下载速率也在不断提升。截至 2017 年第二季度，我国固定宽带用户可用下载速率已达到忙时 13.68Mbps，闲时 14.42Mbps<sup>1</sup>。

综上，我国宽带接入网络在普及率、接入速率及可用下载速率等方面均已取得快速发展。目前主流接入速率下，除支持高速网页浏览业务外，还可支持高清视频业务，已具备发展大带宽视频业务的基础网络能力。

### 1.2 大带宽视频业务发展

随着富媒体业务形式不断革新，现有网络中视频业务流量占比不断攀升，预计到 2021 年，全球视频业务流量占比将达到 70%，我国将达到 76.3%<sup>2</sup>。

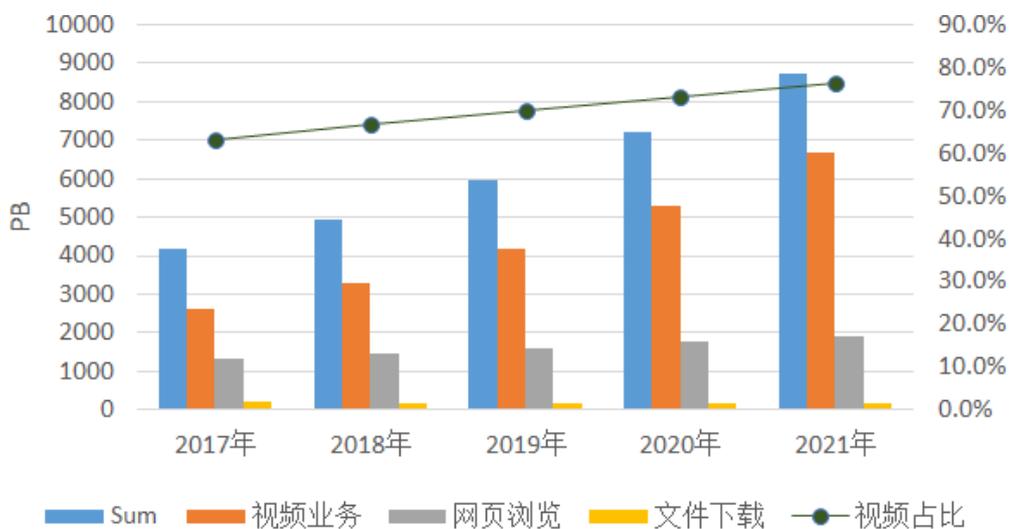


图 1 国内网络流量预测

同时，随着宽带接入速率的不断提升，视频业务正由原来的 480p 标清视频和 1080p 高清视频向 2160p 超清视频升级过渡。其中，大带宽视频业务，由于其画面更清晰、动作更流畅、色彩更丰富、音效更真实，可以为用户带来影院级的沉浸式体验而备受青睐。特别是 4K、8K 超高清视频、VR、AR 等新业务形态的出现，不断丰富着大带宽视频业务及其衍生品，促进了整个产业链生态化的发展，也给运营商提供了更多的变革和发展机会。

目前，全球 50% 的主流运营商已将视频列为基础业务，开始布局面向视频运营的网络和基础设施。中国联通作为优质宽带接入服务提供商，同时提供丰富的视频业务，并积极探索大带宽视频业务的网络承载技术，特发布《中国联通城域网视频业务承载分析白皮书》。

## 2 大带宽视频业务承载需求

随着内容资费和带宽门槛的降低，大带宽视频业务迎来飞速发展时期。大带宽视频业务在满足用户高体验要求的同时，也对承载网络提出了新的要求，包括高带宽、低延时、低丢包率等。

### 2.1 带宽需求

随着大带宽视频业务内容源质量不断提升，其分辨率、色深、帧率等均不断提高，相应地对承载带宽的需求也不断增加。典型大带宽视频业务带宽需求分析如下：

表 1 典型大带宽视频业务网络带宽需求表

	普通 4K	标准 4K	标准 8K	2K VR	4K VR
分辨率	3840*2160	3840*2160	7680*4320	2160*1200	3840*1920
帧率	25/30	50/60	50/60	50/60	50/60
色深	8bit	10bit	10bit	8bit	10bit
带宽要求	22.5M	45M	180M	22M	75M

注：为保障业务流畅体验，视频业务带宽需求为 1.3-1.5 倍平均码率<sup>3</sup>，业务平均码率=分辨率\*RGB 色深\*帧率\*压缩比。

### 2.2 时延和丢包需求

网络时延、丢包过大易造成播放卡顿、花屏等，直接影响用户观看体验。为保证良好的用户体验，对网络的时延、丢包率参数要求如下：

表 2 大带宽视频业务端到端时延和丢包率需求表

	普通 4K	标准 4K	标准 8K	2K VR	4K VR
时延	20ms	20ms	20ms	20ms	20ms
丢包率	$6.1 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$0.9 \times 10^{-5}$	$6.4 \times 10^{-4}$	$5.5 \times 10^{-5}$

注 1：丢包率和时延约束关系计算依据为 TCP 通量公式：

$throughput \leq \min \left( \max(BW), \frac{WSS}{RTT}, \frac{MSS}{RTT} \times \frac{1}{\sqrt{p}} \right)$ ；其中，BW 为物理带宽，WSS 为窗口大小，

RTT 为双向时延，p 为丢包率，MSS 为最大报文段大小。

注 2：按照上述公式，双向时延减小会降低对丢包率的要求，本文暂按照双向时延为 20ms 进行分析

此外，上述丢包率是对网络质量的端到端要求，分解到单节点应控制到更低。综合考虑，在双向时延为 20ms 的情况下，普通 4K 视频对单节点的丢包率要求应在约  $10^{-4}$  左右，未来 8K/高清 VR 对单节点的丢包率要求应在约  $10^{-5}$  左右。

可见，随着视频业务清晰度、实时性、互动性的不断提升，其对承载网络的需求也不断向高带宽、低延时、低丢包方向发展。运营商的承载网络需面向大带宽视频业务，综合利用网络规划、QoS 部署、专项优化等手段，提供智能高效的网络承载能力。

## 2.3 网络监测需求

当前网络中,网络丢包率监测的基本手段是 ping 测试,其测量精度受限于 ping 包数量,丢包统计精度难以达到  $10^{-4}$  甚至  $10^{-5}$  级别。因而,大带宽视频业务需要通过更精准的丢包率测量手段对网络质量进行监测。

设备的 MIB 数据能够对通过包数、丢弃包数等多个统计量进行精确计数,其可用于统计端口以及端口内各队列的精确丢包率。厂家设备 MIB 库虽然对于通过包数、丢弃包数计数项的名称和编号有所差异,但都有具体的 MIB 项与之对应。

因此,为了满足大带宽视频业务对网络质量的监测需求,建议网管增强对网络丢包率的精准监测手段,通过采集并统计设备 MIB 数据的丢包率监测是可行方案之一。

## 3 影响网络承载质量的因素分析

### 3.1 网络拥塞及影响

网络拥塞产生原因,本质是在某瞬时时刻形成以超过端口带宽的速率向一个端口转发数据包的情况。此时,超过端口带宽的数据包就需要利用缓存进行暂存,并等待转发。等待转发的过程中会形成时延,而如果缓存容量不足,则会产生丢包。

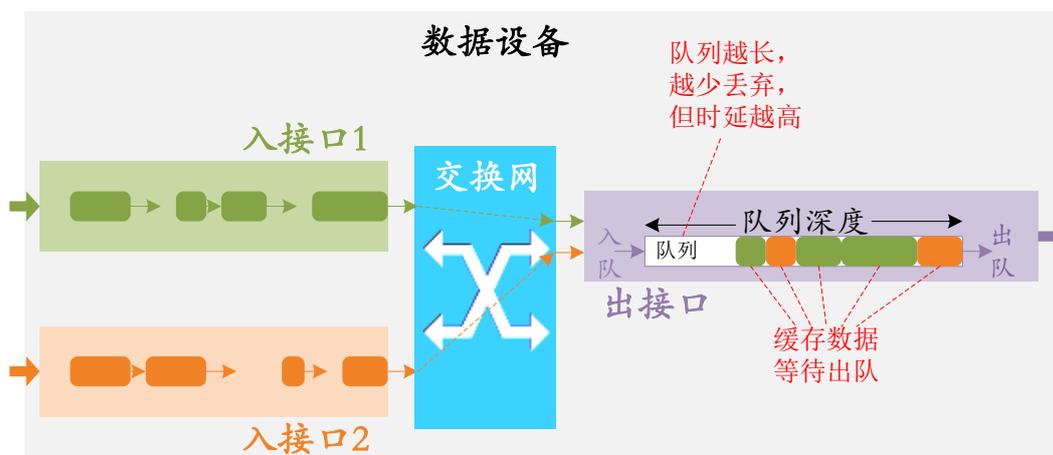


图 2 端口转发缓存占用示意图

等待发送的数据包,会被缓存在设备出接口的发送队列中,并以特定的速率进行出队处理,该出队速率可能是端口的底层物理速率,也可能是针对队列的限速。拥塞导致的丢包则是发生在入队时,若发送队列已满,或队列占用情况达到指定门限(WRED 丢弃机制),则会按照比例进行数据包的丢弃。因此,队列的深度越大,则能够缓存更多的瞬间突发数据包,被丢弃的数据包就会越少,但队尾数据包的等待时间则会越高。不过,对于未拥塞的数据包,队列深度的增大并不会影响其转发时延。

设备缓存能力受限于板卡的物理性能,但可以通过调整配置进行资源的优化分配。交换机设备的缓存能力通常较差,仅在毫秒级别,因而难以支撑静态的缓存分配,通常采用动态共享物理缓存的模式。路由器设备的缓存能力通常较好,能够在几十到百毫秒级别,基本能够支撑静态规划分配,通常不会使用动态共享的模式。

除拥塞引起的丢包外，数据包在入接口和交换网中虽然也有较小可能发生丢弃，但相比拥塞丢包而言数量几乎可以忽略。光层质量问题虽然也较普遍，如光衰过高、色散、光模块不匹配等，但光层质量问题引起的是误码和错包，与 IP 层丢包的层级不同，统计项也都是独立的，因而通常分开进行问题定位。本文主要针对拥塞引起的丢包进行分析。

### 3.2 拥塞原因分析

#### 3.2.1 网络结构原因

运营商传统承载网络的规划建设主要是根据 HSI 业务需求，与大带宽视频业务相比，其带宽需求较低、对时延抖动敏感度低。现有承载网络典型结构如下图所示，具有分级多层汇聚、收敛的特点。

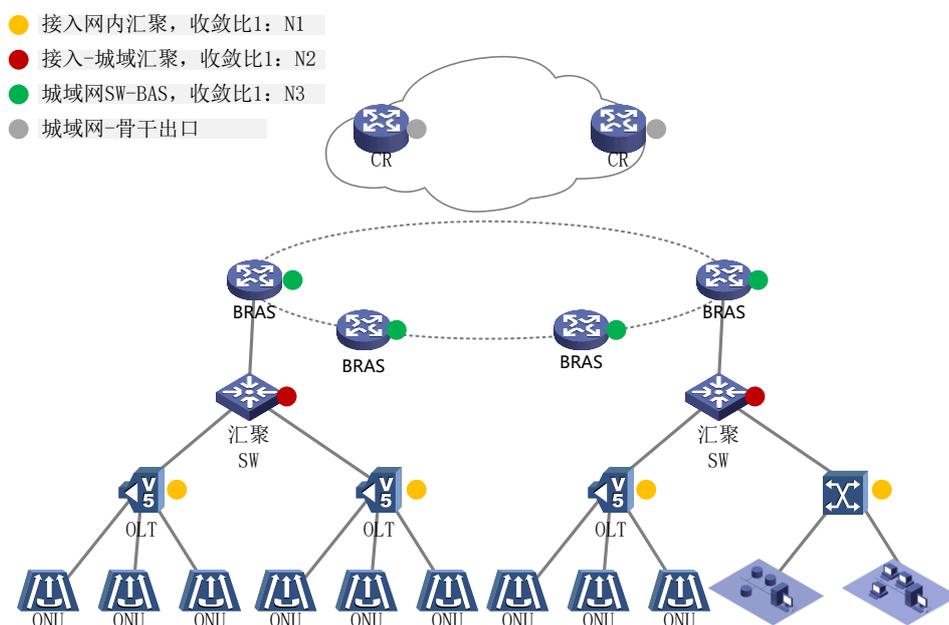


图 3 现有网络承载结构示意图

如上图所示，现有业务承载网络分为接入网和城域网。其中，接入网网元设备主要形态包括：FTTX 下的 OLT、ONU、MDU 设备；LAN 接入下的园区、小区交换机设备等。城域网网元设备主要形态包括二层汇聚 SW、BRAS、SR 等。在传统网络规划设计下，每一层级之间均根据业务量进行收敛，用以复用上联链路带宽。现有网络结构及业务构成下，运营商网络业务承载质量保障手段包括：链路轻载、QoS 部署等。其中，链路轻载是主要保障手段。

由于网络的树形结构，使得多数节点在网络中都承担着部分汇聚带宽的作用，如 OLT、汇聚 SW、BRAS/SR，因而设备上下行端口速率不等、上下行端口数量不等的情况非常普遍。进而不可避免的产生以下两种典型的拥塞场景：大端口打小端口、多端口打一端口。

#### 典型拥塞场景一：大端口打小端口

在设备的高速端口向低速端口转发数据包时，会产生如下图所示的大打小拥塞场景。

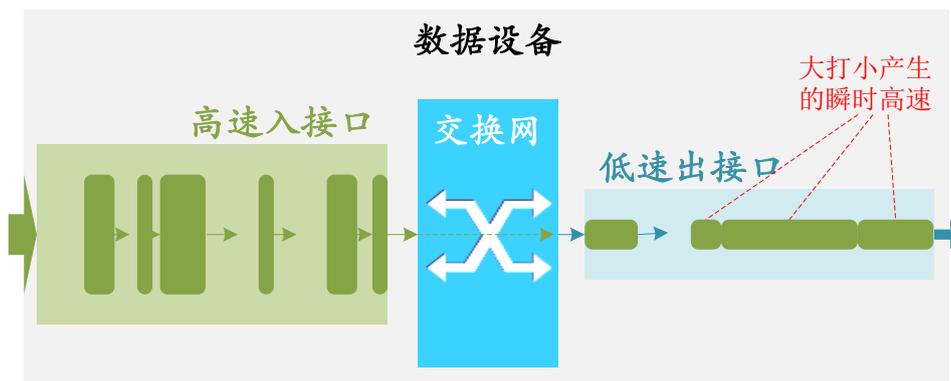


图 4 大打小典型场景示意图

高速率入方向接口中连续的数据包或间隔较小的数据包,对于低速率的出方向接口来讲,是超出其发送速率的,因而需要通过缓存进行数据包的暂存,并等待发送。城域网设备中,此类大打小场景非常普遍,如上联 10G 下联 1G、上联 100G 下联 10G 等。

#### 典型拥塞场景二：多端口打一端口

在设备的多个端口同时向一个端口转发数据包时,会产生如下图所示的多打一拥塞场景。

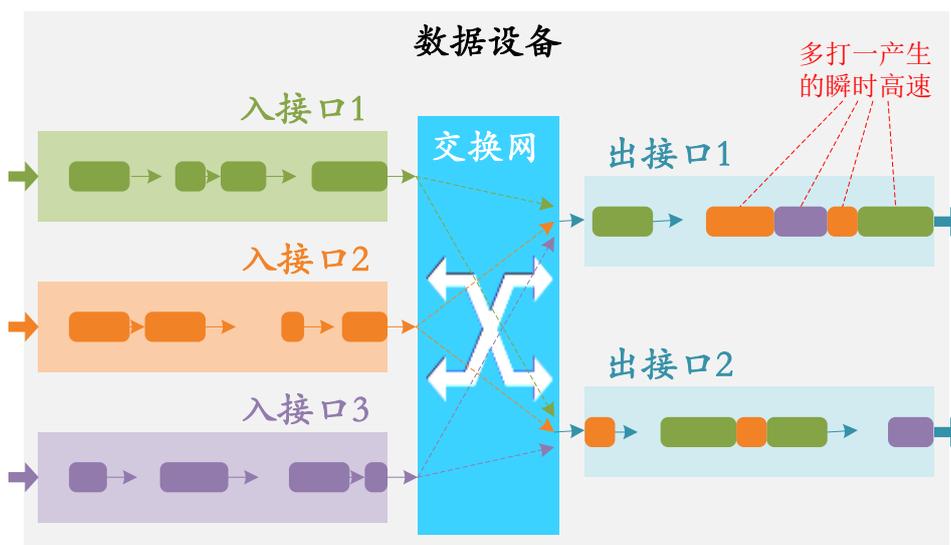


图 5 多打一典型场景示意图

从瞬时来看,若多个入方向接口同时有数据包被转至同一个出方向接口,对于出方向接口也是超出其发送速率的,需要通过缓存进行暂存,并等待发送。即使在多个入方向接口向多个出方向接口转发数据包,也只能从长期角度上保证各接口的负载均匀,而无法保证在任意时刻都有均匀的负载。

城域网设备中,此类多打一场景也非常普遍,如现网 BRAS/SR 通常都是双上联城域 CR,下联链路可能同时收到来自多台 CR 的流量;又如上联为捆绑接口,虽然逻辑层面是一个接口,但物理层面还是多个接口,不同接口中的多条流有可能同时指向同一个下联接口。

### 3.2.2 流量突发原因

真实网络中的流量并非平稳的，而是具有非常大的瞬时突发性。流量瞬时突发的产生与发包特征有关，目前很大一部分互联网应用基于 TCP 承载，TCP 由于受到确认和窗口机制的影响，往往不会以均匀包间隔发包，而是间歇式的连续发包，从而产生瞬间的突发。

现网运维中，基本都是采用分钟级(通常为 5 分钟)的速率统计，仅能反应一段时期内的平均速率。但拥塞往往都是由于瞬时的流量突发引起，长时间的平均速率与瞬时的突发速率有较大的差距。

## 4 现网数据分析及仿真研究

### 4.1 现网流量特征分析

为了具体分析现网的流量突发情况，分别在 3 个地市城域网内选择典型链路进行了流量采集，利用端口镜像将真实流量引流至 ns 级精度的仪表设备，从而分析瞬时速率的波动情况。采集接口包含 BRAS 的上下联端口、汇聚交换机的上下联端口，涉及 10GE 和 1GE 端口，采集时间涵盖忙闲时段。（注：采用端口镜像方式采集的流量为设备交换网送到出接口，尚未进入出接口缓存处理的流量，会大于出接口物理速率。为更准确了解流量突发情况，实际采集时将流量镜像至更高速率接口）

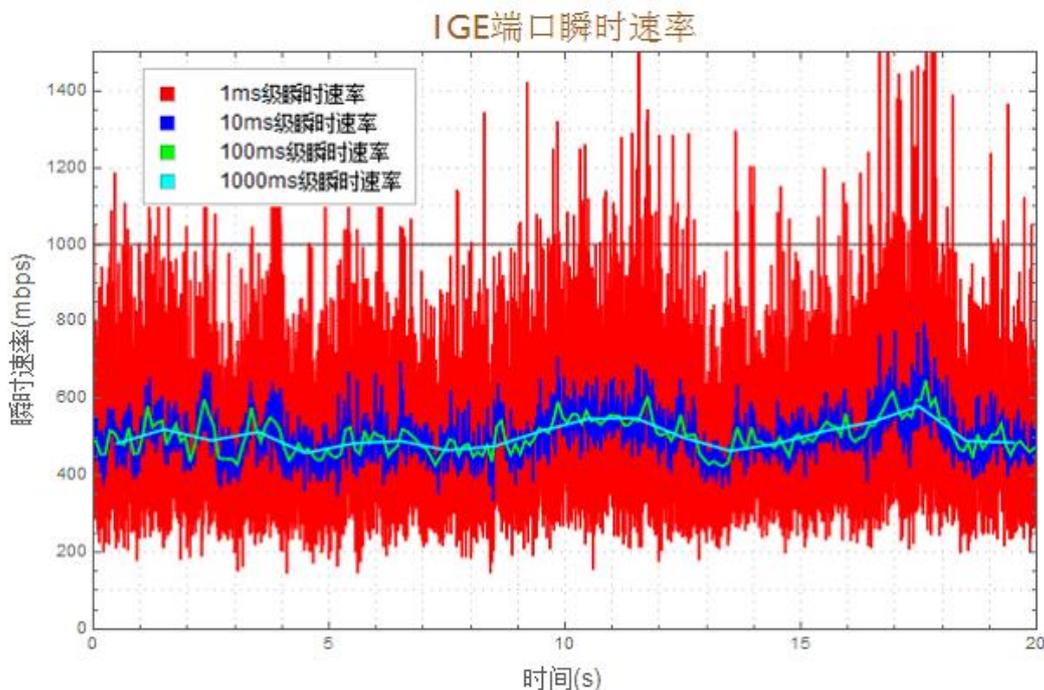


图 6 GE 端口瞬时速率图

从流量分析情况来看，相同速率端口的流量特征基本类似。现网某条 1GE 端口的瞬时速率如图所示，可见毫秒级的瞬时速率相比于平均速率高出了数倍，其中毫秒级速率高于 1Gbps 的部分都需要端口的缓存加以解决，否则会产生丢包。

从设备缓存能力的角度来看，现网路由器设备的缓存能力通常在几十到百毫秒级别，而交换机设备的缓存能力通常仅在毫秒级别。因而从理论上讲，路由器设备对于几十到百毫秒

级别的速率突发是有可能抵御的(不产生丢包)，而交换机设备仅对于毫秒级别的速率突发有可能抵御，若速率突发持续数个毫秒，则必然会引起交换机设备的数据包丢弃。

经分析，各种端口的突发总体情况如下：

- 端口速率越高,突发速率的绝对量也越高,但相对的突发比例越低,流量的波动性越小;
- 端口带宽提升对于端口缓存能力的要求低于线性提升关系;

具体来看，通常情况 1G/10G 端口的突发情况如下：

- 相比于端口的平均速率(分钟级),1G 端口的秒级速率突发大约会相对上浮至 115%左右;
- 相比于端口的平均速率(分钟级),10G 端口的秒级速率突发大约会相对上浮至 110%左右;
- 相比于端口的平均速率(分钟级),1G/10G 端口的毫秒级速率突发大约会相对上浮至 400%左右。

## 4.2 现网丢包分析

本次在 3 个城域网以 5 分钟为周期采集了 BRAS、交换机等设备 MIB 数据，利用通过包数、丢弃包数等统计值计算设备端口、队列的丢包率。采集共涉及 BRAS 端口 800 余个，交换机端口 3000 余个，总数据量超过 700 万条，可认为满足统计学需求。采集的城域网暂未开启 QoS，设备采用默认缓存配置，因而针对现网丢包率的分析主要关注链路利用率。根据缓存能力的不同，对路由器和交换机设备分别进行分析。

### 4.2.1 现网路由器设备丢包分析

通过对现网大量路由器设备运行数据的分析，得到利用率对丢包率的影响，数据总量超过 100 万条。

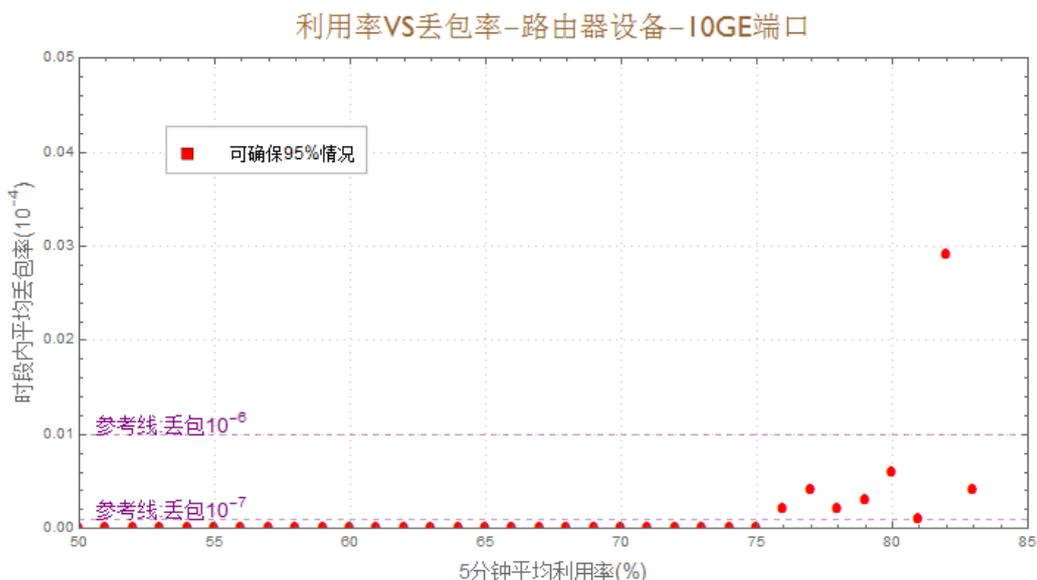


图 7 路由器 10GE 端口利用率-丢包率的关系图

注：“可确保 95%情况”指同一利用率区间（1%）下丢包率的 95%分位数

对于路由器 10G 端口而言，目前分析的数据平均利用率最高达到 83%左右，未能采集

到利用率更高时的数据，利用率对丢包率的影响如图所示。从统计情况来看，路由器 10G 端口在利用率 80%以下丢包率极低。对于利用率高于 80%的情况，该部分的现网数据量较少，暂不足以支撑给出统计结论，将通过仿真方式进行分析。

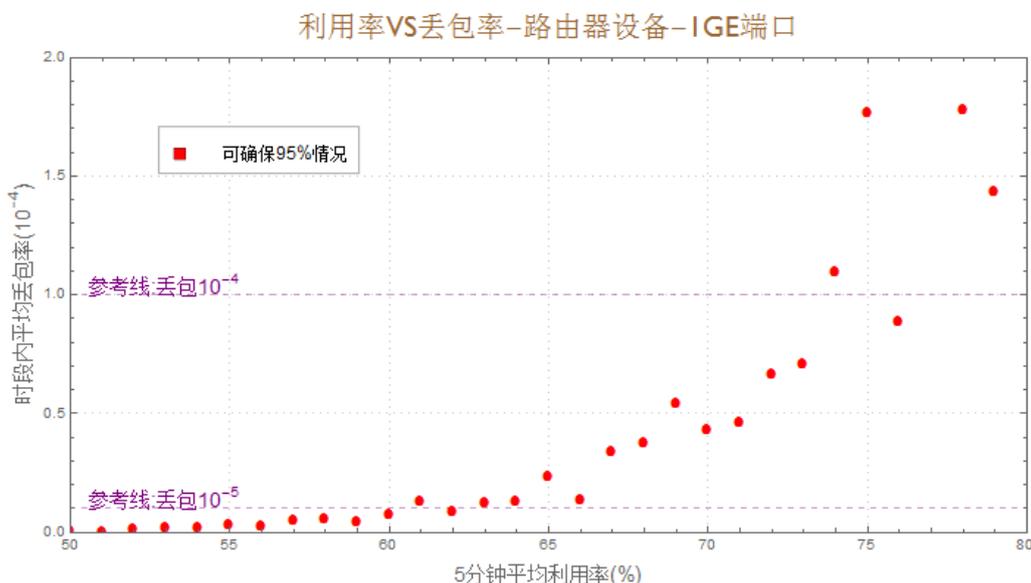


图 8 路由器 GE 端口利用率-丢包率的关系图

对于路由器 1G 端口而言，利用率对丢包率的影响如图所示，可概括为以下几点：

- 链路利用率对丢包率有极为明显的影响；
- 路由器 1G 端口，保持利用率低于 70%，可确保 95%的情况下丢包率不超过  $10^{-4}$ ，该丢包率应足以支持当前的普通 4K 视频业务；
- 路由器 1G 端口，保持利用率低于 60%，可确保 95%的情况下丢包率不超过  $10^{-5}$ ，该丢包率应能够支持未来的 8K/高清 VR 视频业务。

#### 4.2.2 现网交换机设备丢包分析

通过对现网大量交换机设备运行数据的分析，得到利用率对丢包率的影响，数据总量超过 600 万条。

对于交换机 10G 端口而言，目前分析的数据平均利用率最高达到 50%左右，完全未发现丢包发生，可认为目前交换机 10G 端口在利用率 50%以下时没有丢包。对于利用率高于 50%的情况，暂无该部分的现网数据支撑，将通过仿真方式进行分析。

对于交换机 1G 端口而言，利用率对丢包率的影响如图所示，可概括为以下几点：

- 链路利用率对丢包率有极为明显的影响；
- 交换机 1G 端口几乎不可能仅通过控制利用率的方式，保障  $10^{-5}$ 级别的丢包率，该丢包率通常被理解为未来 8K/高清 VR 视频业务对网络质量的要求；
- 交换机 1G 端口，保持利用率低于 32%，可确保 95%的情况下丢包率不超过  $10^{-4}$ ，该丢包率应足以支持当前的普通 4K 视频业务。



图 9 交换机 GE 端口利用率-丢包率的关系图

### 4.3 缓存能力与丢包的仿真分析

增大端口队列的缓存能够有效的对突发流量进行暂存,使其在队列中等待转发而非被直接丢弃,从而降低丢包率。但由于缓存属于板卡的物理资源,总容量有限,因而需要规划缓存的分配和使用,使得在有限资源下达到最佳效果。

为定量研究利用率、缓存大小对丢包率的影响,采用了随机回放真实业务流的方式,生成各种不同流量的仿真包流,并加载到不同缓存大小的端口上,进而得到详细的丢包数据。

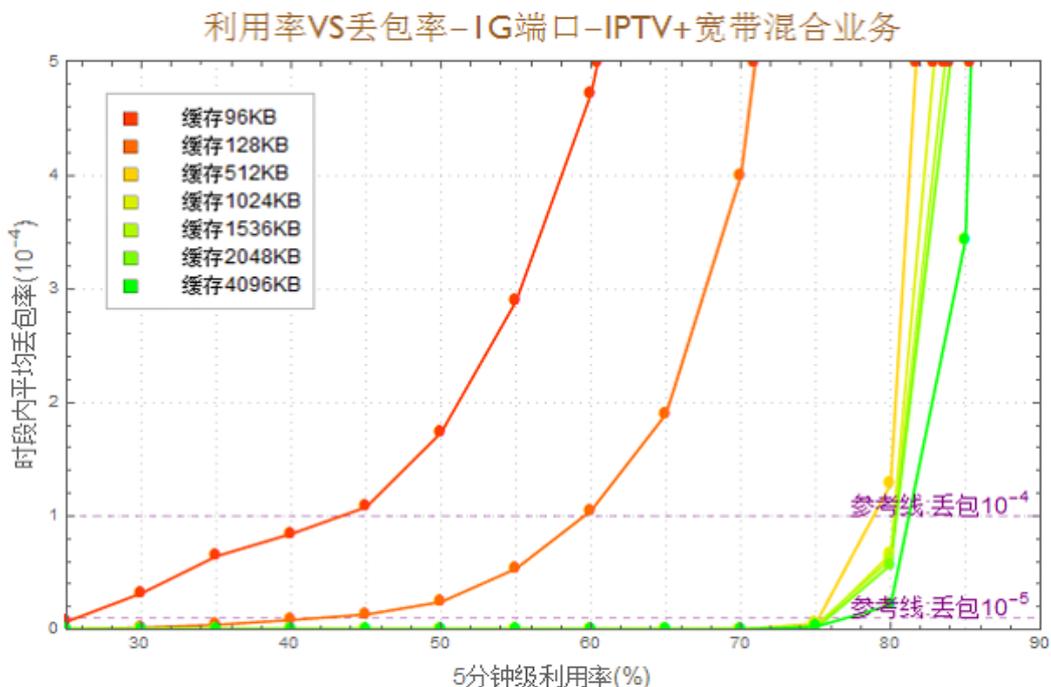


图 10 GE 端口利用率-丢包率关系图

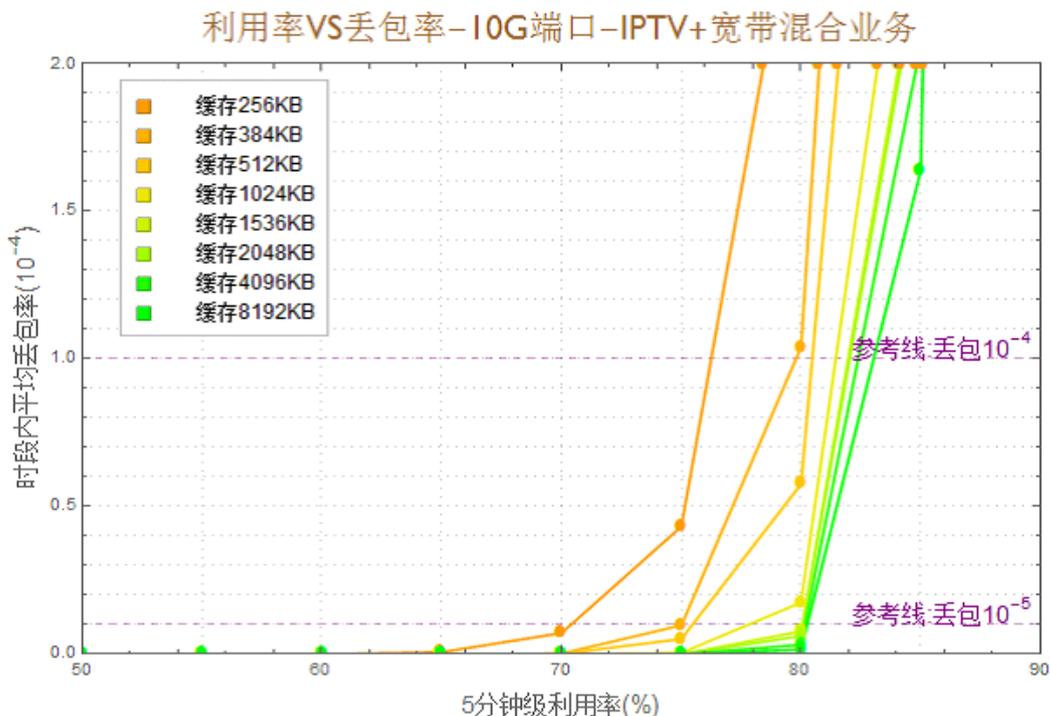


图 11 10GE 端口利用率-丢包率关系图

1G/10G 端口不同利用率、不同缓存配置条件下的丢包率如图所示。从丢包率方面来看：

- 在相同流量下，增大端口的队列缓存，能够非常有效的降低拥塞丢包，因而增大缓存能够提升端口的扩容门限；
- 在缓存较大时，丢包率主要是受到利用率的影响，高利用率时增大缓存虽然能够降低同流量下的丢包率，但远没有利用率变化的影响明显，使得继续增大缓存并不能继续提升扩容门限；
- 在端口带宽上升时，其所需要的缓存容量并非是线性上升的，甚至并不一定是上升的，因而对设备缓存能力的要求不应按照其带宽放大系数直接扩大。

在时延方面，增大端口的队列缓存会使得最大转发时延的增大，从而引起平均时延的增长。不过在中低利用率情况下，由于丢包量较小，队尾高时延包数量也很小，因而增大队列缓存对平均时延的影响并不明显，数据显示利用率低于 60%时缓存对平均时延的影响基本可以忽略。

#### 4.4 分析结果适用性说明

上述分析研究，尽量采用了贴近现网真实环境的方式。其中仿真分析都是利用现网实际业务流进行的模拟，现网测试都涉及多地市、多时间段、多测试端口，数据量也符合统计学要求。但是，也不排除在某些特殊场景或特殊业务比例下，实际网络性能与本文的预期值有一定偏差。

此外，本质上网络流量特征与业务类型、业务占比、用户接入速率等因素相关，随着业务及流量的不断变化，需长期持续研究分析对网络质量的需求及影响。

## 5 总结

### 大带宽视频的承载要求方面：

大带宽视频业务在满足用户高体验要求的同时，也对承载网络提出了新的要求：

- 目前普通 4K 视频对单节点的丢包率要求约在  $10^{-4}$  左右（双向时延 20ms 情况下）；
- 未来 8K/高清 VR 视频对单节点的丢包率要求会大幅度提升，约在  $10^{-5}$  左右（双向时延 20ms 情况下）。

### 网络丢包的监测方面：

大带宽视频业务对丢包率要求的提升，相应地对网络质量监测提出了更高的要求：

- Ping 测试作为现网主要的丢包率测试手段，将难以满足大带宽视频对丢包率的监测需求，丢包统计基本不可能在单次测试中达到  $10^{-4}$  甚至  $10^{-5}$  级别；
- 建议将基于设备 MIB 数据分析网络丢包率作为常态化监测手段；

### 网络拥塞因素方面：

网络拥塞是造成网络丢包的主要因素之一，网络负荷高、大端口打小端口、多端口打一端口等是造成网络拥塞的主要原因。

### 流量突发方面：

网络流量具有较强的波动性，突发流量会使得端口的瞬时速率在极短时间内远远超出其观测速率，进而引发拥塞。

- 端口速率越高，突发速率的绝对量也越高，但相对的突发比例越低，流量的波动性越小；
- 从现网数据分析来看，相比于端口平均速率(分钟级)，1G 端口的秒级突发约会相对上浮至 115%左右，10G 端口的秒级突发约会相对上浮至 110%左右；
- 从现网数据分析来看，相比于端口平均速率(分钟级)，1G/10G 端口的毫秒级突发约会相对上浮至 400%左右。

### 网络负载对网络丢包的影响方面：

网络负载是决定网络拥塞的主要问题之一。对于各种端口带宽、缓存能力、业务类型而言，不同的仅是利用率对拥塞的影响程度。具体定量来看，为了满足当前普通 4K 视频及未来 8K/高清 VR 视频业务，各级设备的利用率情况应保证（双向时延 20ms 情况下）：

- 路由器/交换机 10G 端口在当前缺省配置下，70%利用率以下基本可不考虑丢包；
- 为满足当前普通 4K 视频的要求，建议路由器 1G 端口保持利用率低于 70%；

- 为满足当前普通 4K 视频的要求，建议交换机 1G 端口保持利用率低于 32%；
- 为满足未来 8K/高清 VR 视频的要求，建议路由器 1G 端口保持利用率低于 60%；
- 为满足未来 8K/高清 VR 视频的要求，交换机 1G 端口基本不可能仅通过控制利用率的方式保障其丢包率要求，必须要通过划分 QoS 队列的方式进行针对性保障。

#### 端口缓存对网络丢包的影响方面：

队列缓存能够有效对突发流量进行暂存，使其在队列中等待发送而非直接丢弃，因而增大端口缓存以及分队列独立使用缓存，都能够有效控制丢包：

- 增大端口的队列缓存，能够非常有效的降低拥塞丢包；
- 增大缓存能够降低端口的扩容门限，但增大到一定程度后，其虽能继续降低丢包，但对于扩容门限几乎不再有影响；
- 在端口带宽上升时，其对缓存能力的需求低于线性上升的关系，甚至并不一定是上升的；
- 划分 QoS 队列，能够有效的针对特定业务控制丢包，不过在总缓存能力一定的条件下，其效果可以理解为指定业务间丢包率的转移，而并不能降低总丢包率。

#### 未来网络发展方面：

为满足大带宽视频业务发展需求，未来网络能力应在服务侧、网络侧、用户侧等各方面进行提升：

- 服务侧方面，CDN 下沉将会是未来主要发展方向之一。CDN 节点越贴近用户，则用户获取服务所经过的节点数越少，从而延时、丢包率都会有所降低；
- 网络侧方面，网络扁平化是未来主要发展方向之一。扁平化的组网模式、削减网络层级能够有效的降低端到端传输中的潜在故障点，不但有利于降低时延、丢包，还会降低网络故障定位的复杂性；
- 用户侧方面，家庭组网性能的提升也将是未来主要发展方向之一。未来高质量视频等大带宽业务，以及智能家居的入网，必然会触及家用路由器的无线速率、端口速率等各方面的物理性能瓶颈；
- 维护与管理方面，更精准的监测网络实际运行情况，更自动化、智能化的管理设备，将能够有效提升运维能力和效率；
- 业务规划方面，区分业务的网络性能保障将会是未来发展趋势。业务的不断发展必然会产生一些具有超高网络质量要求的特殊业务，如 8K、VR 等，业务混跑的模式将在未来难以满足这些特殊业务的特殊网络质量需求，需要通过特殊的机制对其进行针对性保障。

## 参考文献

1. 《中国宽带普及状况报告》，宽带联盟，2017Q2
2. Cisco VNI Forecast Widge, 2017
3. 《4K 视频送需求研究》，CCSA, 2016 年 10 月

## 附录 术语和缩略语

AR	Augmented Reality	增强现实
BRAS	Broadband Remote Access Server	宽带远程接入服务器
CDN	Content Delivery Network	内容分发网络
CR	Core Router	核心路由器
FTTH	Fiber To The Home	光纤到户
LAN	Local Area Network	局域网
MDU	Multiple Dwelling Unit	多用户居住单元
MIB	Management Information Base	管理信息库
MSS	Maximum Segment Size	最大报文段尺寸
NAT	Network Address Translation	网络地址转换
OLT	Optical Line Terminal	光线路终端
ONU	Optical Network Unit	光网络单元
QoS	Quality of Service	服务质量
RTT	Round Trip Time	双向时延
SR	Service Router	业务路由器
SW	switch	交换机
TCP	Transmission Control Protocol	传输控制协议
VR	Virtual Reality	虚拟现实
WRED	Weighted Random Early Detection	加权随机早期检测