

一种 IP 城域网设计研究

卜祥强¹, 姜伟², 韩彬³

(1. 洛阳市质量技术监督检验测试中心, 河南 洛阳 471003;

2. 郑州财经学院, 郑州 450000; 3. 河南省信息咨询设计研究有限公司, 郑州 450000)

摘要: 随着互联网产业的快速发展, 国内 IP 城域网承载宽带用户数及网络建设规模近几年均发展较快, 设备规模庞大且型号繁多, 存在设备更新换代较快、业务需求多样化且建设工期较紧张等问题, 给 IP 城域网的建设扩容提出了难题。通过研究电信运营商宽带 IP 城域网的整体网络架构现状, 定义相关网络参数, 抽象出流量预测模型, 从中继带宽及业务端口能力需求方面分析 IP 城域网网络能力, 并给出中继带宽能力预测的理论参数模型及网络能力判定结论和整个 IP 城域网中继带宽及业务端口的扩容门限。

关键词: IP 城域网; 中继带宽; 网络参数

Design and Research of IP Metropolitan Area Network

Bu Xiangqiang¹, Jiang Wei², Han Bin³

(1. Luoyang Bureau of Quality and Technical Supervision, Luoyang 471003, China;

2. Zhengzhou Institute of Finance and Economics, Zhengzhou 450000, China;

3. Henan Information Consulting Design Research Limited Company, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The number of broadband users and network construction scale in recent years the rapid development of domestic bearing IP metropolitan area network equipment scale and various types with the rapid development of the Internet industry, the equipment is large and various, and there are many problems such as rapid upgrading of equipment, diversification of business needs and tight construction period. This is a difficult problem for the construction and expansion of IP metropolitan area network. The overall network structure of the status quo of telecom operators of broadband IP network is investigated, defines the relevant network parameters, an abstract analysis of network traffic prediction model, analyzes the capacity of IP metropolitan area network from the aspects of trunk bandwidth and business port capacity requirements, gives the theoretical parameter model and network capacity decision conclusion for the prediction of relay bandwidth capacity, calculates the entire IP metropolitan area network relay bandwidth and the expansion threshold of service port.

Keywords: IP metropolitan area network; relay bandwidth; network parameter

0 引言

目前国家对互联网越来越重视, 今年的政府工作报告更是明确提出了“互联网+”的行动计划, 要求支持推动移动互联网、云计算、大数据、物联网等新一代互联网技术与各行各业应用相结合, 促进电子商务、工业互联网和互联网金融等新业态的发展, 随着各行业对于互联网为核心的信息经济对于新常态下经济增长与转型的引领和带动作用的认可, 也为通信行业带来了崭新的机遇^[1]。

互联网+十多产业应用的推广, 势必要求运营商提出更加优良的网络以支撑满足各类产业应用的推广和普及, 助力国家经济的转型和发展。作为各类网络中比较基础的 IP 城域网, 也势必必要进行更为系统有效的优化和扩容, 满足各 IP 城域网是承载 IP 语音、视频、数据的多业务承载网络, 涉及区域范围广, 覆盖面大, 是国家信息化发展的重要基础网络, 也是运营商建设宽带精品网络目标中非常重要的环节^[2]。

在全球 ICT 产业快速发展的今天, 全世界各发达国家都把信息化战略提升到国家战略, 宽带建设更是成为信息化水平提升的重要因素, 宽带网络已经成为全球各国政府促进经济发展, 提高国家信息化水平的重要建设项, 我国也明确提出“宽

带中国”战略及实施方案, 并要求加快“互联网+”的行动计划进度。

随着智慧家庭、高清视频、在线游戏、IPTV 及 4 K 电视等高带宽应用业务的增多, 国内三大运营商急需重新定位 IP 城域网网络发展目标, 明确网络建设方向, 确保网络建设投资的效益最大化。同时, 由于 IDC 业务应用发展迅猛, 其对于 IP 城域网的承载需求不断增加且突发性较大, 给 IP 城域网的建设扩容优化提出难题。在此情况下, 电信运营商一般通过增加 IP 城域网骨干节点、升级网络设备平台能力(由最初的 10 G/20 G 升级为 40 G/100 G/400 G)以及加快平台演进步伐(1T 平台测试阶段)等方式优化现有网络架构。但是, 由于国内 IP 城域网承载宽带用户数及网络建设规模近几年发展较快, 设备规模庞大且型号繁多, 存在设备更新换代较快、业务需求多样化且建设工期紧张、建设规模不能精准把控等问题。

在此背景下, 如何精准把控网络建设投资及规模、提高设计服务效率及质量等要求, 对于建设单位和设计服务支撑单位都是非常必要的^[3]。

本项目针对性研究电信运营商 IP 城域网网络建设过程所必须的关键环节, 通过理论分析和实践应用相结合的方法, 为运营商 IP 城域网的网络建设和优化提供思路和建议。

1 IP 城域网整体网络架构

城域网(Metropolitan Area Network)是在一个城市范围内所建立的计算机通信网, 城域网络分为 3 个层次: 核心层、

收稿日期: 2017-08-18; 修回日期: 2017-09-28。

作者简介: 卜祥强(1981-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事计算机网络、自动化及通信等方向的研究。

汇聚层和接入层。

核心层主要提供高带宽的业务承载和传输，完成和已有网络的互联互通，其特征为宽带传输和高速调度。

汇聚层的主要功能是给业务接入节点提供用户业务数据的汇聚和分发处理，同时要实现业务的服务等级分类。

接入层利用多种接入技术，进行带宽和业务分配，实现用户的接入，接入节点设备完成多业务的复用和传输^[4]。

2 IP 城域网业务及流量分析

IP 城域网主要承载公众/企业数据类业务、视频类业务和部分语音类业务，各业务对城域网要求不同，多业务融合承载对城域网结构、QOS、组播、认证、安全、带宽等多方面均提出了要求。

在网络流量研究历史上，人们先后提出了自相似性、长程依赖性、尺度性等几个含义非常接近但又存在区别的概念。这些概念不仅反映了网络流量特征的不同侧面，而且也折射出研究者对网络流量认识的逐步深化过程。

从网络性能分析可知，突发性或者叫结团现象是网络流量最显著的特征。通过分析泊松型的流量过程可以发现，只是在短时间出现结团象。通过分析较长时间，结团就被显著地平滑掉了。

在设计一个服务器或者其它缓存排队系统时，需要考虑这种长时间的平滑作用。因此网络流量的到达是平滑的，所以我们只需要设置中等大小的缓存。也可以这样理解，虽然网络流量可能会在短时期内积聚起来，但在长时间内，又可以很快排空缓存。

为了分析城域网网络流量的构成，在 IP 城域网网络拓扑结构图的基础上，综合考虑各种典型的流量源（服务器和业务终端）后，形成如图 1 所示的城域网网络流量构成示意图^[5]。

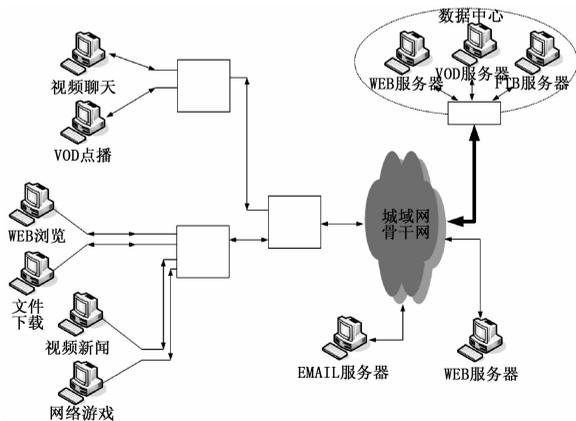


图 1 IP 城域网网络流量构成示意图

3 城域网网络数学计算模型

目前，各大运营商都在积极进行光改和宽带提速，借助 IP 城域网现网部分数据定义相关参数，抽象出数学计算模型，从理论上给出各网络层中继带宽能力及业务端口能力的需求分析，分析整个 IP 城域网中继带宽及业务端口的扩容门限。

通过分析可知 IP 城域网网络目标架构是向着扁平化、集群化及粗颗粒度带宽方向演进，IP 网络承载的流量也具有带宽高、突发性及聚合性强等特点，并且城域网各网络层级所具有特定的流量特征。

为了便于数学计算模型的分析，有必要定义参数。对于各大运营商，从网管报表数据上，可以统计所有现有宽带网络网关（BNG）设备上联中继的总峰值流量和最大并发用户数，现有宽带网络网关上联总峰值流量/最大并发用户数即为平均宽带用户峰值速率。光改和宽带提速完成以后用户带宽会必然增加，可以设定包含宽带提速峰值增量后的平均用户峰值速率 v ，不包含提速增量的平均用户峰值速率记为 w 。忙时用户集中系数等于每日最忙的 1 小时内在线用户占总用户的比例，设为 u 。

3.1 接入层上联中继带宽能力分析

接入层为 IP 城域网网络架构的最底层，是流量源源头的引入层，考虑到全部光改结束后，用户全部以光纤方式接入网络，宽带接入速率提升的瓶颈被打破，用户使用带宽必然呈爆发性增长，开通不同类型业务的用户形成一个个独立的流量源，它们均随机产生而具有某种流量特征，经光缆链路汇聚至光线路终端（OLT）设备^[6]。

光网改造使得网络质量、能力得到大幅提高，用户体验得到大幅提升，运营口碑得到提高，必然相应带来用户的大幅增长，而接入层上联中继带宽能力的大小直接影响着用户的上网速率和网络感知质量。为满足用户增长、带宽提速的要求，有必要对接入层 OLT 上联带宽进行升级，我们从理论上对接入层上联中继带宽能力需求进行分析^[7-8]。

1) 上联带宽计算模型：

$$V_{\text{上联}} = (n \times u \times v + n \times \text{IPTV 渗透率} \times \text{IPTV 并发率} \times \text{IPTV 点播比率} \times \text{IPTV 并发带宽} + \text{IPTV 直播流带宽}) / \text{中继带宽利用率}$$

视频以 IPTV 业务为主考， n 表示 OLT 承载用户，中继带宽利用率一般取定小于 70%。

2) IPTV 用户速率测算：

IPTV 直播流带宽：和直播频道总数及直播频道中的标清和高清频道数量均有关。假定直播频道数量总数为 m ，其中 m_1 个标清频道、 m_2 个高清频道、 $m - m_1 - m_2$ 个 4 K 频道。标清、高清和 4 K 视频进行相应的压缩编码后，每个标清视频带宽 2~3 M，每个高清视频带宽 8~10 M，每个 4 K 视频 30~50 M。取定标清带宽 3 M，高清带宽 10 M，4 K 带宽 30 M。

$$\text{IPTV 直播流带宽} = m_1 \times 3 + m_2 \times 10 + (m - m_1 - m_2) \times 30$$

$$\text{IPTV 并发带宽} = 3 \times n_1 + 10 \times n_2 + 30 \times n_3。$$

其中： n_1 、 n_2 和 n_3 为标清、高清和 4 K 节目源比例， $n_1 + n_2 + n_3 = 1$ 。

因此，结合现网中的数据，我们可以算出各个宽带建议最大承载用户数模型。

为了方便理解，我们下面以表格的形式给出接入层上联中继带宽模型。

假定 IPTV 各参数设置如表 1 所示。

表 1 参数设置表

参数			
项目	标清	高清	4K
点播占比/%	60	30	10
带宽/M	3	10	50
直播频道数	130	40	0

对应的 OLT 上联 BNG 的中继带宽模型如表 2 所示。

3.2 业务控制层上联中继带宽能力分析

光改及宽带提速后, 业务控制层单台 BNG 设备至核心层中继带宽能力分析如下:

3.2.1 不考虑 IPTV、OTT 等高带宽新应用业务增加中继流量

光改增量 = (新增加用户 × 平均用户峰值带宽 + 原有用户 × 提速峰值增量带宽) × u = (新增加用户 × w + 原有用户 × ($v-w$)) × u

参数模型取定如下:

1) 光改增量:

光改和宽带提速后增加的宽带用户上联中继峰值流量。

表 2 中断宽带模型

项目	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	备注
OLT 宽带用户	1000	1000	1000	4000	可调参数, 模型对应参数为 m
IPTV 渗透率	30%	44%	52%	52%	可调参数
IPTV 用户并发率	70%	70%	70%	70%	业务模型数据
IPTV 点播占并发用户比率	30%	30%	30%	30%	业务模型数据
IPTV 点播并发平均每用户带宽	9.8	9.8	9.8	9.8	业务模型数据
重点城市 (OLT-BNG) IPTV 产生流量(M)	2197.4	2197.4	2197.4	4049.6	直播+点播, 模型对应下流量记为 x
其他城市 (OLT-BNG) IPTV 产生流量(M)	1407.4	1407.4	1407.4	3259.6	直播+点播, 模型对应下流量记为 y
平均宽带用户峰值速率	v	v	v	v	根据现有网管数据确定, 可调参数
忙时用户集中系数	u	u	u	u	根据现有网管数据确定, 可调参数
正常 OLT-BNG 普通宽带上网流量	$m * u$ $* v$				
OLT 至 BNG 流量之和	$m * u * v + x$	重点城市			
	$m * u * v + y$	其他城市			

2) 新增加流量:

新增加流量 = 新增加用户 × 平均用户峰值带宽 × 忙时用户集中系数 = 新增加用户 × $v * u$

对于单台 BNG 设备而言, 新增加流量即为: 光改新增用

4 核心层出口带宽能力分析

4.1 出口带宽计算模型

出口带宽 = 用户数 × (忙时用户集中系数 × 用户平均接入带宽 × 用户平均带宽占用率 × 平均出省流量比率) / 中继带宽利用率

业务参数模型参数说明如下:

1) 户平均接入带宽:

根据各电信运营商签约带宽速率统计报表, 按照宽带用户不同签约带宽的用户数, 依据各签约速率用户所占比例, 在相

户及正常业务发展用户共同增加的上联峰值流量。

新增加用户 = 平均单台 BNG 用户数 × 用户增加率

平均单台 BNG 用户数 = 现网总宽带用户数 / 现网总 BNG 设备数量

3) 原有增加流量:

原有增加流量 = 原有用户 × 提速峰值增量带宽 × u = 原有用户 × ($v-w$) × u

对于单台 BNG 设备而言, 原有增加流量即原有宽带用户增加的上联峰值流量。

考虑到流量负载均衡, 光改后 BNG 上联中继峰值利用率需取增加的平均值。

3.2.2 考虑 IPTV、OTT 等高带宽新应用业务增加中继流量

光改增量 = 新增加流量 + 原有增加流量 + IPTV/OTT 业务新增流量

IPTV/OTT 业务新增流量 = 用户数 × IPTV/OTT 渗透率 × IPTV/OTT 并发率 × 出本地流量占用率 × IPTV 带宽。

考虑到流量负载均衡, 光改后 BNG 上联中继峰值利用率需取增加的平均值。

为了简化理解, 我们下面以表格的形式给出业务控制层上联中继带宽模型。

假定 IPTV 各参数设置如表 3 所示。

表 3 参数设置表

参数			
项目	标清	高清	4K
点播占比/%	60	30	10
带宽/M	3	10	50
直播频道数	130	40	0
直播带宽/M		备注	
重点城市	1580	两份	OLT 为组播复制点, 两个厂家两个组播源
其他城市	790	一份	OLT 为组播复制点, 单个厂家单个组播源

对应的 BNG 上联 CR 的中继带宽模型如表 4 所示。

应区间内选定用户速率进行加权平均, 最后进行算术加权平均。

2) 均带宽占用率:

平均带宽占用率 = 忙时上网用户对带宽使用率。

该参数和各运营商宽带用户总体规模、用户使用行为及统计时间段有关, 总体来说, 目前暂未有影响用户使用行为的业务出现, 此占用率为用户正常上网行为的平均带宽占用率, 用户行为习惯大幅改变后, 此占用率可能会发生改变。

目前经验取值范围一般为 15%~30%。

3) 平均出省流量比率:

平均出省流量比率 = 用户出省访问流量占总流量的比例。

目前经验取值范围一般为 55%~70%。

4) 中继利用率:

根据电信企业相关标准规范, 目前运营商中继考核指标中继利用率一般要求不超过 75%。IP 城域网网络中继利用率设计负荷为 70%。

根据以上参数定义, 能够测算核心层出口带宽能力。

5 业务端口能力需求分析

根据以上分析的各层上联中继带宽能力需求参数模型, 结合各运营商 IP 城域网网络实际数据, 可以方便地针对接入层、业务控制层和核心层的设备进行业务端口能力分析, 确定该设

表 4 中继宽带模型

项目	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	备注
BNG 宽带用户	20000	20000	20000	40000	可调参数,模型对应记为 m
IPTV 渗透率	30%	44%	52%	52%	可调参数
IPTV 用户并发率	70%	70%	70%	70%	业务模型数据
IPTV 点播占并发用户比率	30%	30%	30%	30%	业务模型数据
IPTV 点播并发平均每用户带宽	9.8	980%	980%	980%	业务模型数据
边缘节点命中率	80%	80%	80%	80%	业务模型数据
区域节点命中率	20%	20%	20%	20%	业务模型数据
重点城市(BNG-CR)IPTV 产生流量(M)	4049.6	4049.6	4049.6	6519.2	有边缘节点部署,模型对应下流量记为 x_1
其他城市(BNG-CR)IPTV 产生流量(M)	3259.6	3259.6	3259.6	5729.2	有边缘节点部署,模型对应下流量记为 y_1
重点城市(BNG-CR)IPTV 产生流量(M)	13928	13928	13928	26276	无边缘节点部署,模型对应下流量记为 x_2
其他城市(BNG-CR)IPTV 产生流量(M)	13138	13138	13138	25486	无边缘节点部署,模型对应下流量记为 y_2
平均宽带用户峰值速率	v	v	v	v	根据现有网管数据确定
忙时用户集中系数	u	u	u	u	根据现有网管数据确定
正常普通宽带上网流量	$m * u * v$				
BNG 至 CR 流量之和	$m * u * v + x_1$	重点城市,有边缘节点			
	$m * u * v + y_1$	重点城市,无边缘节点			
	$m * u * v + x_2$	其他城市,有边缘节点			
	$m * u * v + y_2$	重点城市,无边缘节点			

备是否满足现有中继接入需求,根据该设备端口现状,结合需求,可以很简单准确地给出端口扩容需求。

6 IP 城域网网络能力判定

6.1 中继带宽能力

通过以上建立数学模型分析,可知:

1) 不考虑 IPTV、OTT 等高带宽新应用业务时,现有各层设备上联中继链路峰值带宽利用率在 X 门限以下时可以满足光改及宽带提速要求,大于 X 时需要考虑在该层设备的上联中继进行扩容改造。

2) 考虑 IPTV、OTT 等高带宽新应用业务时,现有各层设备上联中继链路峰值带宽利用率在 Y 以下时可以满足光改及宽带提速要求,大于 Y 时需要考虑该层设备的上联中继进行扩容改造。

3) 根据各运营商现网数据,可以统计出现网需要进行上联中继带宽扩容的各层设备数量。

6.2 X、Y 计算方法

根据以上分析的各层参数模型,可以计算出增加流量结果,计算光改和宽带提速后各层上联中继峰值流量增加率,考虑流量均衡,取超出比例的一半,加上 X/Y 之和不大于中 70%。

6.3 业务端口能力

根据各层上联中继带宽能力需求参数模型,结合各运营商 IP 城域网网络实际数据,可以方便地针对接入层、业务控制层和核心层的设备进行业务端口能力分析,确定该设备是否满足现有中继接入需求,根据该设备端口现状,结合需求,可以很简单准确地给出业务端口能力需求。给出整个 IP 城域网中继带宽及业务端口的扩容门限。

7 结束语

通过对数据、语音和视频类业务对 IP 城域网承载能力的要求进行了分析,把常见流量应用特征与网络流量的自相似性、长程依赖性和突发性特性对照对应,分析了网络流量构成、网络流量特性对网络性能的影响、网络流量的建模方法及

网络流量演进的趋势。结合 IP 城域网现网部分数据和实际网络定义相关参数,抽象提取出核心层、业务控制层及接入层中继带宽能力测算模型,从理论上给出各网络层中继带宽能力及业务端口能力的需求分析,从中继带宽及业务端口能力需求方面分析 IP 城域网网络能力,并给出了中继带宽能力预测的理论参数模型及网络能力判定结论,提出了整个 IP 城域网中继带宽及业务端口的扩容门限,提高了设计效率和准确性。

本文研究内容在宽带中国和光改背景下有利于电信运营商宽带 IP 城域网网络的结构优化,增强对用户业务的控制管理能力,减少维护管理成本,提升客户满意度,对国家信息化的发展、实现“宽带中国”及“互联网+”战略目标、改善通信服务质量、推动国民经济的发展也有积极的影响。

参考文献:

- [1] 修文群, 赵宏建, 等. 宽带城域网建设与管理 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 李成忠, 邓朝健, 等. 计算机网络优化设计研究 [J]. 西安交通大学学报, 2000.
- [3] 刘亮, 白金牛, 邢俊凤. 计算机网络可靠性的优化设计探究 [J]. 电子测试, 2013; 78-79.
- [4] 杨策. 计算机网络中流量监测技术 [J]. 长安大学学报, 2009.
- [5] 文银娟. 计算机网络可靠性优化设计问题的研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2015 (4): 169-170.
- [6] Kershenbaum A, Chou W S. A unified algorithm for designing multidrop teleprocessing networks [J]. IEEE Trans. on Communications, 1974, 22 (11): 1762-1772.
- [7] 闵小屏. 面向 IPTV 业务的城域网改造扩容方案的设计 [M]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.
- [8] 潘启敬, 杨永高, 王宇. 计算机网络设计 CAD 系统研究 [J]. 计算机学报, 1993, 16 (7): 481-487.
- [9] 蔡宣三. 最优化与最优控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1982.
- [10] 毛京丽. 宽带 IP 网络 [M]. 北京: 人民邮电出版社.
- [11] 刁在筠. 运筹学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [12] 徐向辉, 陈运清, 毛东峰, 等. 城域网组网技术与业务运营 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.