



VBR 视频在 IPTV 点播业务中的应用 *

罗传飞^{1,2}, 施唯佳¹, 肖 晴³

(1. 中国电信股份有限公司上海研究院 上海 200122;

2. 中国电信 IPTV 实验室 上海 200122;

3. 中国电信股份有限公司上海分公司 上海 200120)

摘 要:通过对 VBR 视频流量进行工程建模,结合 IPTV 用户点播时间间隔分析聚合 VBR 视频流量特性,研究表明在兼容现有终端和平台系统的情况下,即使不采用任何视频平滑处理,在 IPTV 点播业务中通过应用大规模 VBR 视频流的统计随机特性进行自我平均(self-average)也可获得 30%~50%的统计增益,并通过大规模现场试验验证了 VBR 视频自平均特性在 IPTV 点播业务中的可行性和有效性。

关键词: IPTV;可变比特率;自我平均;统计增益

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.05.003

Application of Variable Bit Rate Video in IPTV on Demand Services

Luo Chuanfei^{1,2}, Shi Weijia¹, Xiao Qing³

(1. Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China;

2. IPTV Lab of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China;

3. Shanghai Branch of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: Based on the engineering model for VBR video traffic, the flow characteristics of VBR video based on user requested arriving time interval was analyzed. Studies show that in compatible with the existing IPTV terminal and platform system, even without the use of any video smoothing technology, self-average can be obtained 30%~50% statistical gain through using statistical random characteristics of large scale VBR video traffic in IPTV on demand business. The feasibility and effectiveness of VBR video “self-average” characteristics in the application of IPTV on demand services were verified.

Key words: IPTV, VBR, self-average, statistical gain

1 引言

视频本身具有变化的特征,且编码器采用一系列压缩编码算法,使得从视频编码器输出的码流是 VBR(可变比特率)的,H.264 JVT-G012 在 VBR 和 CBR(恒定比特率)两

种情形下进行试验,所有视频测试序列的平均 PSNR 改善 2 dB 以上。因此无论从视频编码质量还是从网络利用率、存储和 CDN 成本的角度考虑,VBR 编码和传输都比 CBR 具有更大优势^[1]。然而由于数字电视传输信道通常是固定带宽的,因此应用于数字电视内容的编码和传输通常采用

* 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No. 2012AA011703, No.2014AA015201),国家自然科学基金资助项目(No.61102100)

CBR。IPTV 传输信道基于 IP 网络,具备 VBR 特性,但是由于在宽带接入发展初期接入带宽有限,限制了 VBR 的性能和使用,同时节目内容来自于数字电视,因此 IPTV 自然也采用 CBR 方式。

随着用户对视听娱乐要求的不断提高,用户的视频体验将从标清(标准清晰度)时代进入高清(高清晰度)和超高清(超高清晰度)时代,高清电视步入全面发展阶段。与标清的节目相比,高清的节目具有更高的分辨率、更大的可视角度、更精确的亮度和彩色还原,可带来更强的视觉冲击和沉浸效果。另一方面,随着“宽带中国”国家战略的实施,运营商开始进行“光网城市”带宽提速,以光纤到户为核心,构建“百兆入户、千兆(吉比特)进楼”的高性能网络,积极推动以 PON 为基础的 FTTx 网络建设,网络接入带宽和原来相比已经得到极大的提升^[2]。

随着“宽带中国·光网城市”的建设,用户接入带宽逐步向 10 Mbit/s、20 Mbit/s 甚至 100 Mbit/s 等高速带宽演进。网络接入带宽的提升放宽了对 VBR 峰值的限制,互联网电视通过 VBR 视频编码等技术以相对较低的码率提供高质量视频服务(如 4 Mbit/s 的平均码率承载高清节目)。IPTV 系统也从标清开始进入高清化服务,采用 8~12 Mbit/s CBR,需要对原标清系统(包括网络带宽、存储、CDN 服务能力)扩容升级 4~6 倍。利用 CBR 编码提供高清服务无疑需要更大的内容存储、网络带宽和 CDN 能力,从而造成业务成本的上升。而 VBR 技术不管是为 IPTV 提供低码率高清视频服务以进一步提升 IPTV 视频服务体验,还是降低 IPTV 业务运营成本,在技术上都提供了一个新的选择。

2 MPEG VBR 视频流量模型

图 1 显示了在网络实时捕获的一段《蜘蛛侠》H.264 VBR 视频流,若不考虑 GOP 间的短时自相关性,以秒为时间尺度,VBR 视频流存在比较大的随机突发性。同时,从图中码率的变化与视频片段的对比分析,可以看出场景的变化往往导致码率的剧烈变化,因此整个视频流序列可以看成由许多个独立的场景以及场景间的随机迁移组成,而每个场景都可以看成一个独立的平稳随机过程,时间为 8~10 s,这与其他 H.264 VBR 视频流所作的分析也基本吻合。

对 MPEG VBR 视频流统计特性的分析和建模,最早在参考文献[3,4]中提及,Rose 和 Melamed 都独立地对 VBR 视频流进行了研究,参考文献[5]在综合二者研究成果的同时,对 VBR 视频流统计特性进行了完整的分析和研究,提出了一种基于视频分段和场景聚类的 Markov 链调制转移模型。

对一般 MPEG 视频流(包括 H.264,因为它和其他 MPEG 标准一样,也是采用变换编码和预测编码的混合编码结构,H.264 在混合编码的框架下引入了更精细化的编码方式,提高了编码效率),现有流量模型主要可分为 3 类:基于 Markov 过程的;基于 TES 过程的;基于自相似过程的。以上模型在 VBR 流量生成和经验数据拟合中都可应用于排队系统分析和网络性能仿真。然而,这些模型在实际应用中均存在一定的问题,例如有的模型是基于视频帧或者在 GOP 基础上进行的,在应用于 VBR 聚合视频流量分析上难以获得基于秒以上的时间尺度的统计信息。有的

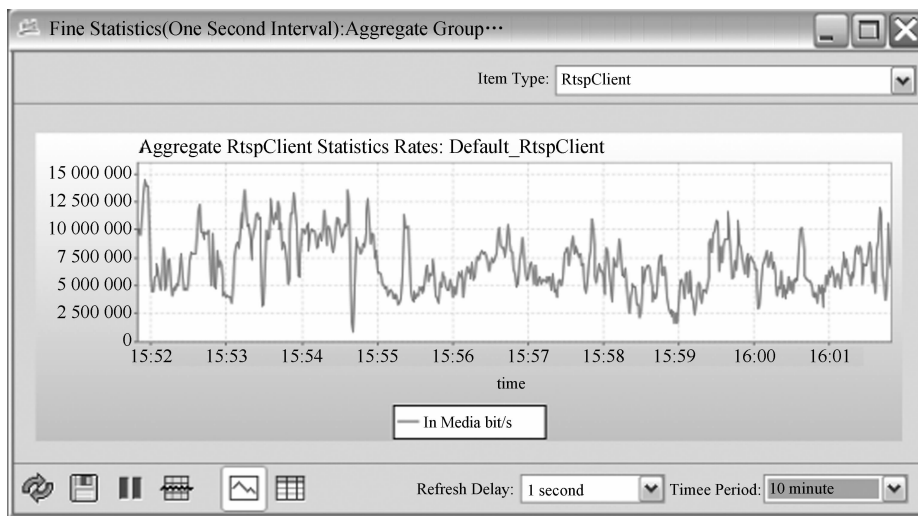


图 1 H.264 VBR 视频流量



模型则存在相当高的计算复杂度,难以应用到实际的系统分析中。

3 IPTV 点播业务聚合 VBR 视频总流量建模

图 2 显示了一个典型 H.264 压缩的 VBR 视频流特征,视频流码率的突发与时间的关系和场景的变化相当明显,变化不大的视频场景造成了较低的编码码率,场景变化剧烈的地方产生的编码码率也增加得很明显。VBR 视频流的平均码率约为 6 Mbit/s,但峰值码率可高达 15 Mbit/s,峰值码率和平均码率之比受时间的影响相当大,从 0.3 变化到接近 3 倍,这使得流媒体服务器计算预留 VBR 视频流的资源相当困难。但是,编码码率变化的随机性也为聚合 VBR 视频流共享带宽创造了机会,VBR 视频流之间的峰值和谷值交错有效地形成“自我平均”的作用^[6],如图 3 所示。点播业务所依赖的 CDN 和存储都可以受益于这种自我平均特性,同样的 CDN 带宽能力可以提供更多的并发 VBR 流服务,同样的存储空间可以容纳更多的 VBR 编码节目量。

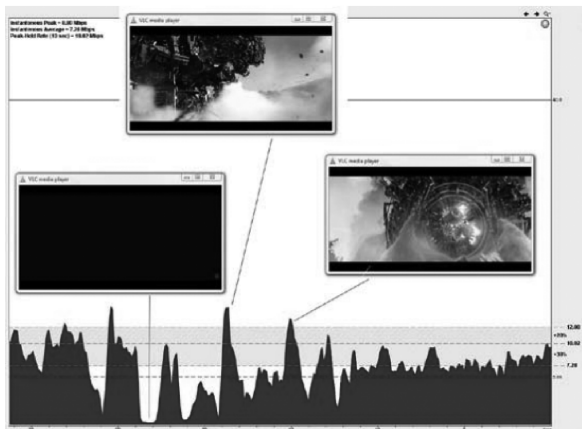


图 2 H.264 VBR 视频码率变动与视频场景的关系

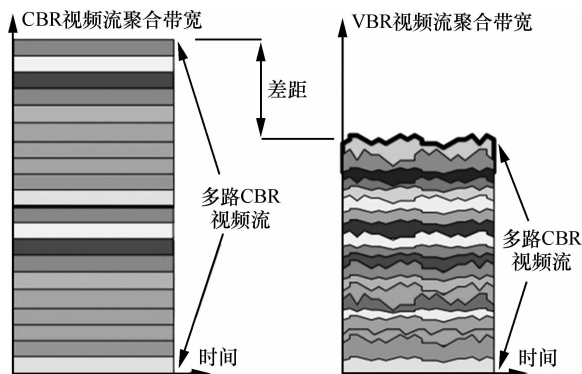


图 3 多路聚合 CBR 和 VBR 视频流的对比^[7]

利用视频场景变化的随机性实现可变码率码流自我平均作用并不是一个新概念,所有广播类电视频道都可以通过 VBR 编码和传输,但是都需要额外的视频统计复用处理,通过统计复用和码率控制使几个电视频道可以同时由一个相对狭窄的数字电视下行频点进行传输。然而 Gbit/s 和 10 Gbit/s IP 网络可以提供更宽的内容传输管道,使得多路聚合的 VBR 视频流无需额外的视频统计复用处理和视频平滑处理,就能充分利用其码率变化的统计随机特性达到“自我平均”的作用。在 IPTV 点播业务中应用这种特性,由于无需额外的视频处理,可以在兼容 IPTV 现有传输系统和终端设备的前提下,获得 VBR 视频额外的统计增益。

在 IPTV 点播业务中应用大规模 VBR 视频流的统计随机特性进行自我平均,需要在理论上回答几个关键问题。

- 如何描述单个和聚合的 VBR 视频流量?影响 VBR 视频流量自我平均的因素是什么?
- 如何计算自我平均特性带来的统计增益?需要什么样的新带宽规划和资源预留原则来保障聚合的 VBR 流量?

如本文第 2 节所述,已有大量的研究对单个 VBR 视频流量进行建模,可以采用基于视频分段和场景聚类的 Markov 链调制转移模型描述单个 VBR 视频流量,统计表明绝大多数场景的持续时间在 20 s 以内,尽管研究发现 VBR 流量存在长相关和自相似特性,当滞后的场景数超过 5 个时,即使对同一场景类,如图 4 所示其正的自相关性也基本上消失^[8]。

假设 n 个 IPTV 用户点播的 VBR 视频流量为 $X_1, X_2, \dots, X_n$, 记期望 $E(X_i)=m_i$, 方差 $D(X_i)=S_i^2$, $i=1, 2, \dots, n$, n 个 IPTV 用户点播聚合的总流量为 $X=X_1+X_2+\dots+X_n$, 根据 X_i 独立同分布和数学期望以及方差的性质: $E(X)=m=m_1+m_2+\dots+m_n$, $D(X)=S^2=S_1^2+S_2^2+\dots+S_n^2$, 则当 n 足够大 ($n>20$) 时, 根据广义中心极限定理, n 个 IPTV 用户点播聚合的 VBR 总流量的概率分布趋于正态或高斯 $X \sim N(m, S^2)$ 分布, 根据 $X \sim N(m, S^2)$ 高斯正态分布可以为实际应用部署提供带宽规划、资源预留的定性分析依据。

4 现场试验过程和结果

为了发挥宽带提速的优势,结合 VBR 视频编码传输实现 IPTV“提质量、降码率、省成本”的目标,在上海电信开展基于 VBR 视频编码与传输的 IPTV 点播现场试验。试

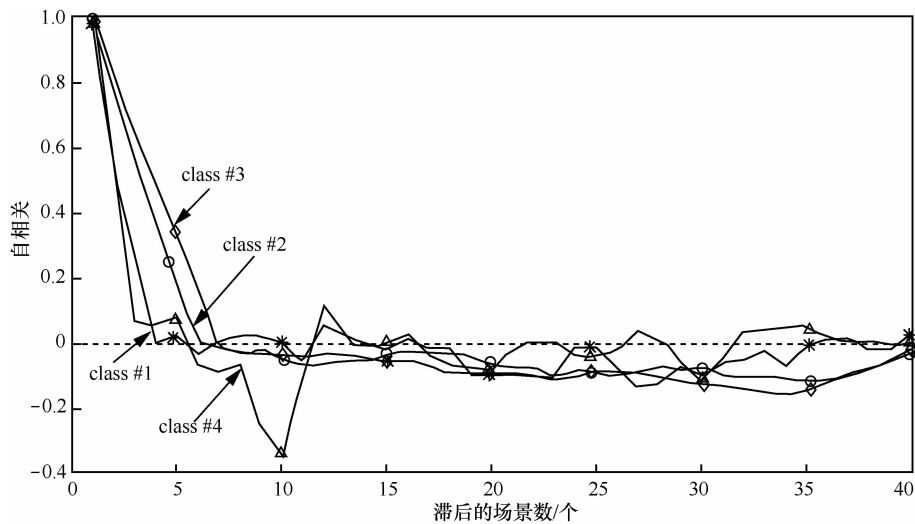


图 4 4 类场景的持续个数自相关曲线示意^[8]

验方案采用 VBR 编码方式, 结合离线多次编码和码率控制技术, 峰值码率和平均码率之比控制在 2~3 倍, 在同样视频质量下, VBR 平均码率比 CBR 降低了 30%~50%, 试验方案采用 RTSP/RTP 实时流协议, 网络传输码率严格按照 VBR 编码码率进行, 因此兼容了原来采用 CBR 方式的节目和现网机顶盒, 平台和流服务通过纯软件升级, 无需硬件投资。

图 5 显示了现场试验播放的《白昼冷光》1080P 高清 VBR 视频流码率分布的直方图, 统计表明该节目的码率概率分布可以采用对数正态分布进行拟合, 平均值为 6.5 Mbit/s, 峰值码率和平均码率之比控制在 3 倍之内, 标

准方差为 2~3。

图 6 显示了现场试验采用的《白昼冷光》1080P 高清 VBR 视频流的自相关曲线。统计表明当时间间隔在 120 s 以上, VBR 视频流的自相关性逐步降低到 0.2 以内, 进一步验证了当场景时延超过 5 个时, 即使对同一场景类, 其自相关性也基本上消失^[7]。对人类行为动力学的研究表明, 人类行为时间间隔分布存在满足反比幂函数的胖尾^[9], 为了进一步观察不同用户点播同一个 VBR 视频流的时间间隔, 并评估其相关性, 随机统计了不同流媒体服务器用户访问的时间间隔分布, IPTV 点播业务用户服务访问时间间隔符合 Weibull 分布, 在 2 000 个并发用户访问过程中,

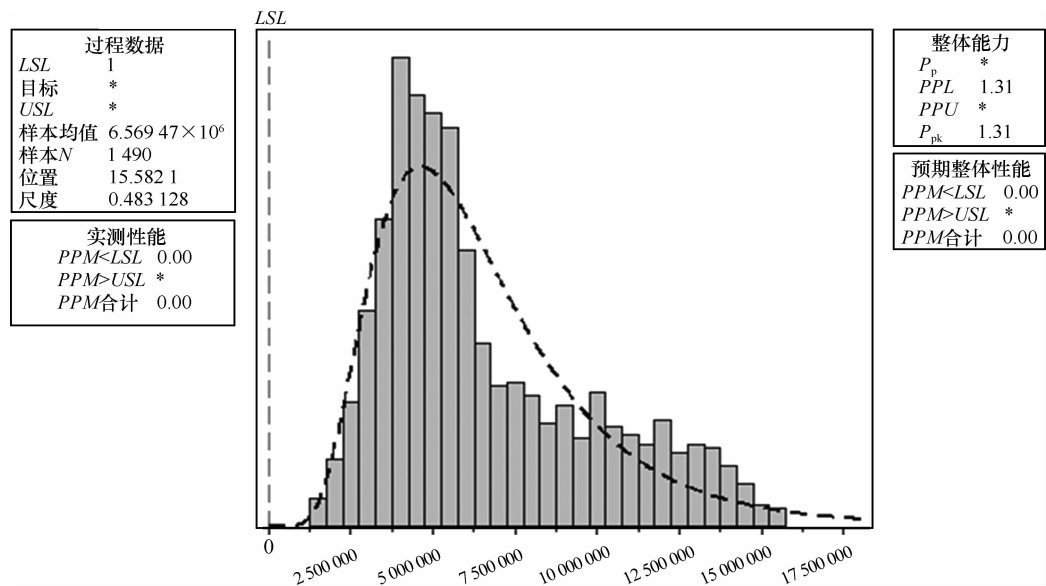


图 5 H.264 1080P 高清 VBR 视频码率直方图

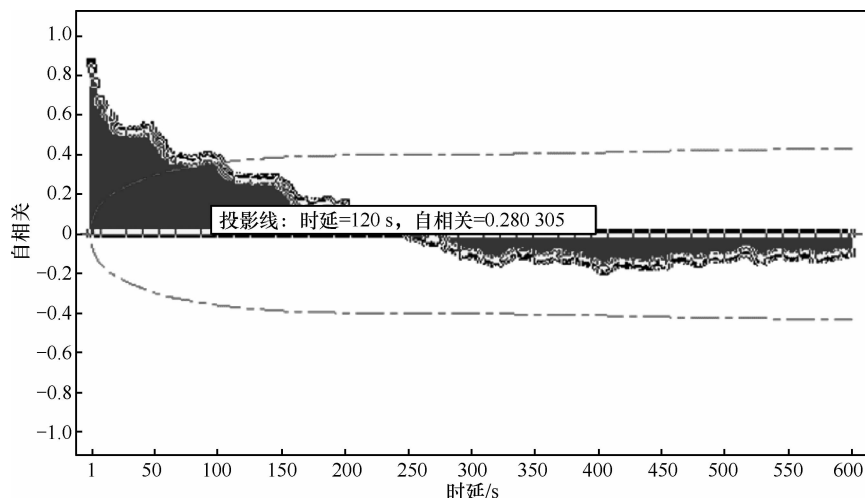


图6 H.264 1080P 高清 VBR 视频流的自相关曲线

平均间隔大于 200 s。

图7显示了现场试验采用的《白昼冷光》和《蝙蝠侠》1080P 高清 VBR 视频流的互相关曲线。统计表明两个不同 VBR 视频流之间的相关性低于 0.2, 因此不同用户点播的 VBR 视频流可以认为是独立同分布的随机过程。

图8显示了100个IPTV用户根据用户实际访问流媒体服务器的时间间隔同时点播60个不同VBR节目所产生的聚合视频流量。测试长达10h,经过每个视频流随机的峰值和谷值合成,即使没有经过额外的视频平滑处理,所有VBR视频流的波峰与波谷都被自我平均,自我平均后的聚合视频流的峰值和平均值之比由单VBR视频流的3倍降低到1.14倍。图9显示对长达10h的聚合视频流量的分布进行正态性检验,可以看到,拟合的正态分布的密度曲线几

乎是个标准钟形,可以认为数据是正态分布的。

5 结果分析

通过在上海电信IPTV现网进行VBR点播业务的大规模试验测试,在编码端结合多次编码和VBR码率控制,设置高清1080P节目平均码率为4~6 Mbit/s,峰值码率和平均码率之比控制在2~3倍,测试表明可以达到同样节目CBR编码在8~12 Mbit/s的视频质量。尽管VBR视频流存在长时依赖和自相似特性,但是针对大量的VBR节目视频流的测试表明当时延间隔达到120 s时,单个VBR视频流自相关性降低到0.2以内,两个不同的VBR视频流之间的相关性也低于0.2,因此可以根据中心极限定理,采用高斯正态模型对聚合VBR总流量进行建模。同时根据

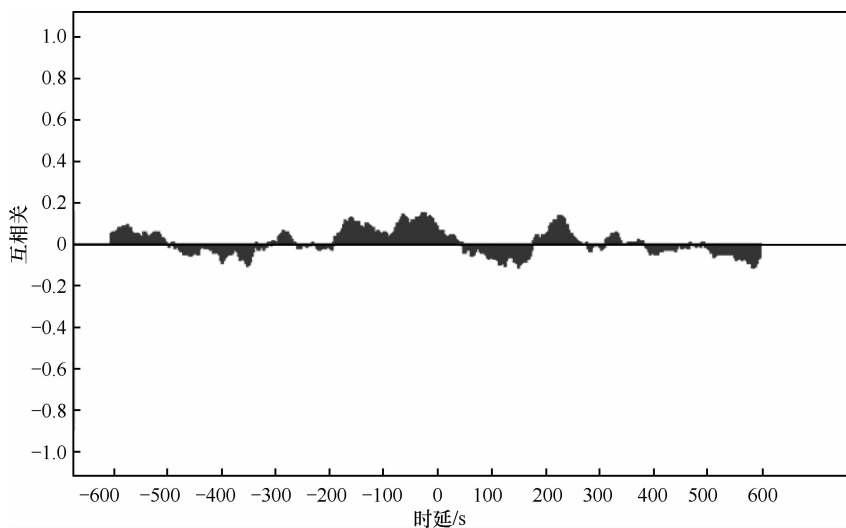


图7 H.264 1080P 高清 VBR 视频流的互相关曲线

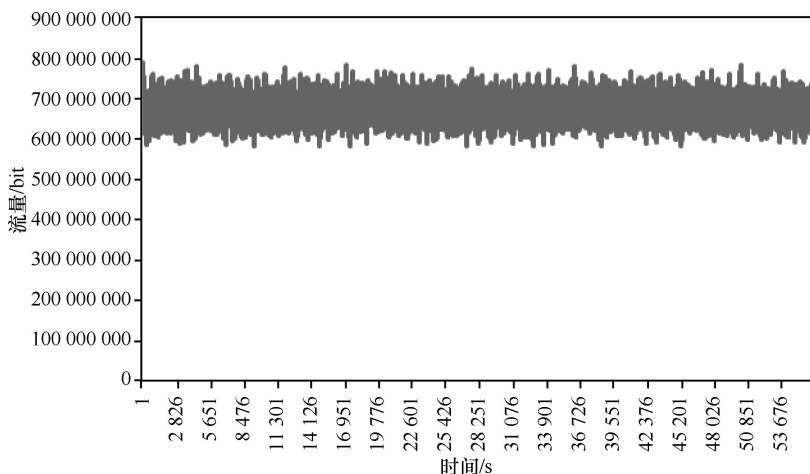


图 8 100 个用户点播 60 个 VBR 节目产生的总流量

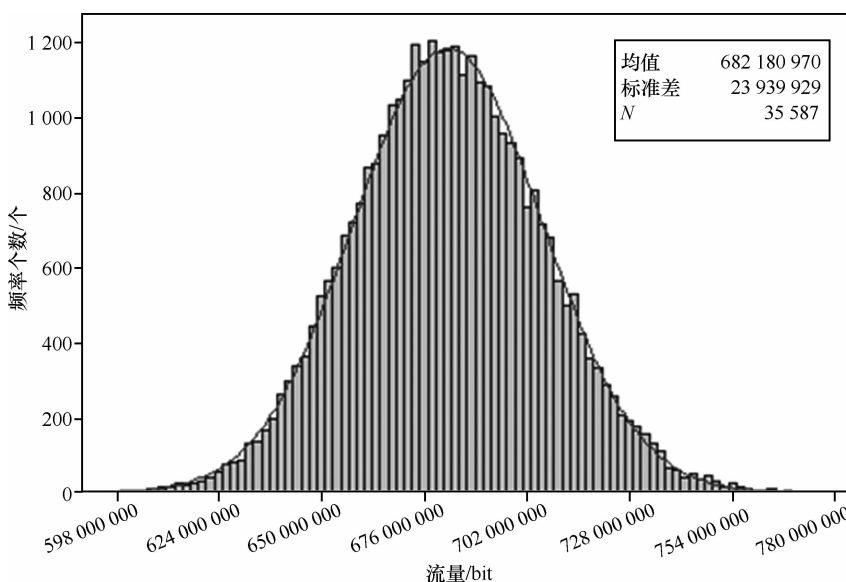


图 9 100 个用户点播 60 个 VBR 节目产生的总流量的正态性检验

IPTV 用户现网访问流媒体服务器的时间间隔进行长达 10 h 的请求测试,也表明自我平均后产生的聚合 VBR 视频流量峰值和平均值之比由单 VBR 视频流的 3 倍降低到 1.14 倍,对聚合视频总流量的分布检验也符合正态分布。因此,在 IPTV 点播业务中采用 VBR 编码视频可以有效地提高原系统 CDN、存储的服务能力,降低核心网络的流量,可以在兼容 IPTV 现有传输系统和终端设备的前提下,通过高斯正态模型计算聚合 VBR 视频流自我平均带来的统计增益,为带宽规划和 CDN 能力部署提供计算依据。

通过在上海电信 IPTV 现网进行 VBR 点播业务的大规模试验,根据 IPTV 用户现网访问流媒体服务器的时间间隔,分别测试了 100 个用户、1 000 个用户和 2 000 个用

户并发的 VBR 聚合总流量,测试与试验表明相对于原采用 CBR 视频方式,在用户接入带宽高于 VBR 视频峰值的条件下,采用 VBR 视频方式具有以下优点:

- 在同样服务质量和并发用户数下,可降低 30%~50% 核心网汇聚流量;
- 在同样服务质量和节目数量下,可降低 30%~50% 系统所需存储;
- 在同样服务质量和系统资源下,可增加 20%~40% 并发用户数。

6 结束语

随着国务院“宽带中国·光网城市”的推进和落实,宽



带用户接入带宽达到 100 Mbit/s, 宽带大提速将推动更多的信息消费应用需求, 尤其是高清视频点播的快速普及, 通过研究 VBR 视频的流量特性和在 IPTV 系统进行大规模现场试验, 结合宽带提速放宽了对 VBR 峰值的限制, 为 IPTV 高清化实现“提质量、降码率、省成本”提供了一个结合宽带提速和 VBR 的应用方案。

致谢 本文的研究工作在中国电信 IPTV 实验室完成, 在此表示衷心的感谢!

参考文献

- 1 Lakhsman T V, Ogega A, Reibman A R. VBR video: trade-offs and potentials. Proceedings of IEEE, 1998, 86(5): 962~973
- 2 宽带中国战略公布: 2015 年城市家庭网速 20 Mbit/s. <http://news.qq.com/a/20130817/005970.htm>
- 3 Rose O. Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems. Proceedings of the 20th Annual Conference on Local Computer Networks, Minneapolis, MN, 1995: 397~406
- 4 Avramova Z. Multiplexing gain of capped VBR video. Proceedings of Workshop on QoS and Traffic Control, Paris France, 2005
- 5 Huang T Y, Sun S X. Statistical characteristics and model of MPEG VBR video stream. Chinese Journal of Computers, 2001, 24(9): 1002~1008
- 6 汪秉宏, 韩筱璞. 人类行为的动力学与统计力学研究. 物理,

2010, 39(1): 28~37

- 7 Bugajski M. Use of variable bit rate video in digital CATV interactive services. Broadband, 2009(2)
- 8 黄天云. 视频流量分析与 QoS 管理. 成都: 电子科技大学出版社, 2007

[作者简介]

罗传飞, 男, 博士, 中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师, 主要研究方向为视音频信号处理。



施唯佳, 男, 中国电信股份有限公司上海研究院高级产品经理, 主要研究方向为以三网融合为重点领域的 IPTV、OTT TV 等视讯业务系统、机顶盒终端等方面相关技术及产品研发。



肖晴, 女, 博士, 中国电信股份有限公司上海分公司教授级高级工程师, 主要研究方向为 IPTV 及视频服务。

(收稿日期: 2014-04-15)

(上接第 19 页)

取长补短, 走融合发展之路, 是视频技术发展的必然趋势。

参考文献

- 1 陈珏奇, 刘峰. 流媒体传输技术. 计算机技术与发展, 2012(3)
- 2 中国电信集团公司. IPTV 业务系统技术规范 V3.0 系列规范, 2011

[作者简介]



施唯佳, 男, 中国电信股份有限公司上海研究院高级产品经理, 主要研究方向为以三网融合为重点领域的 IPTV、OTT TV 等视讯业务系统、机顶盒终端等方面相关技术及产品研发。



蒋力, 女, 中国电信股份有限公司上海研究院副总工程师, 负责以 IPTV 为主的视频领域的工作, 在 IPTV、视频增值应用、多屏互动、移动流媒体、OTT TV 等方面有着扎实的技术研究和积累。



贾立鼎, 女, 中国电信股份有限公司上海研究院产品开发高级工程师, 主要研究方向为 IPTV、终端。

(收稿日期: 2014-04-23)